



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE  
MICROPLÁSTICOS DE TAMAÑO 0.5 mm a  
5 mm EN SEDIMENTOS COSTEROS DEL  
NORTE DEL CARIBE MEXICANO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA  
TIERRA

P R E S E N T A :

EDITH XIADANI CASTRO ZARATE



DIRECTORA DE TESIS:  
DRA VIVIANE SOLÍS WOLFOWITZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I. Datos del alumno

Castro  
Zárate  
Edith Xiadani  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Ciencias  
Ciencias de la Tierra  
311318308

II. Datos de la tutora

Dra.  
Solís  
Wolfowitz  
Viviane

III. Datos del presidente

Dr.  
Jhon Selvamony  
Armstrong Altrin Sam

IV. Datos de la vocal

Dra.  
Rodriguez  
Vargas  
Claudia Dení

V. Datos del suplente

Dr.  
Merino  
Ibarra  
Martín

VI. Datos del suplente

Dr.  
Arellano  
Aguilar  
Rodolfo Omar

VII. Datos del Trabajo Escrito

ANÁLISIS CUANTITATIVO DE MICROPLÁSTICOS DE TAMAÑO 0.5 mm a 5mm EN SEDIMENTOS  
COSTEROS DEL NORTE DEL CARIBE MEXICANO  
67 p.  
2019

Eben-ezer  
<< Hasta aquí nos ha ayudado Jehová >>  
1 Samuel 7:12

## AGRADECIMIENTOS

### Institucionales

A la Universidad Nacional Autónoma de México. Especialmente a la ENP 5 José Vasconcelos, la Facultad de Ciencias y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Gracias por la formación académica, profesional y de vida que cada una me otorgó.

A la Dra Vivianne Solís Weiss. Gracias por la oportunidad de trabajar y aprender de usted. Le agradezco profundamente por acogerme para realizar este proyecto de vida, por su generosidad para solventar muchos de los gastos que representó, y por su generosidad en tiempo y paciencia para guiarme en este proceso.

A la M.C. Izchel Romana Gómez Hernández. Gracias, porque sin tu trabajo esta investigación no hubiera sido posible.

A la Dra Claudia Dení Rodríguez Vargas y a la M.C. Ivette Ruíz Boijseauneau. Gracias por la oportunidad de aprender de ustedes desde etapas tempranas de mi formación universitaria y por también guiarme en esta etapa final.

Al M.C. Mario Martínez Mayén y al Laboratorio de Parasitología Marina del ICMYL. Muchas gracias por tu tiempo, paciencia, enseñanzas y generosidad. Gracias por el espacio y material que nos facilitaste para trabajar en este proyecto. Gracias por las palabras de aliento y por el rico café que siempre compartiste con nosotras.

A la Dra Morelia Camacho Cervantes y al Laboratorio de Ecología de Especies Invasoras.

Al M.C. Margarito Álvarez Rubio. Gracias por brindarme su tiempo y conocimientos en estadística.

A mis revisores de tesis: Dr Armstrong Altrin Sam Jhon Selvamony, Dra Claudia Dení Rodríguez Vargas, Dr Martín Merino Ibarra, Dr. Rodolfo Omar Arellano Aguilar, Hidrobiólogo Fermín Sergio Castillo Sandoval y M.C. Ivette Ruíz Boijseauneau. Gracias por su tiempo y comentarios para moldear este trabajo.

Al Dr Jorge Humberto Limón Pacheco. Gracias profesor, porque sin usted mi formación académica no sería la misma. Sus clases cambiaron mi vida para bien. Fue un honor tomar clases con usted.

A Virginia Téllez Alcantar. Mi compañera de investigación y proyecto, y mi amiga. Gracias por todo tu apoyo y tu tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

### Personales

<<Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos.

Amén>>

Romanos 11:36

Gracias mi Dios por tu gracia infinita.

A mis padres Ulises Omar Castro Herrera y Edith Zárate Reyes. Porque son mis héroes. Porque son mi ejemplo. Porque son el amor de Dios representado en mi vida. Porque me amaron desde antes de que yo naciera y me han guiado hasta convertirme en la persona que soy hoy. Gracias por apoyarme completamente en mis estudios durante toda mi vida y por todos los sacrificios que hicieron por preferir darnos todo a mis hermanas y a mi. Mami, papito, gracias porque ustedes me enseñaron todo primero. Hay tanto que podría agradecerles...que ni siquiera tengo las palabras para hacerlo. Gracias por ser los padres más maravillosos del universo. Mi logro es suyo.

GRACIAS

A mis hermanitas, Alitzel Giselle y Georgina Nitzarindani. Son una hermosa bendición en mi vida. Gracias Nitza por ser mi hermanita bebé y por ser el arte de mi vida. Sin tu chispa loquita nuestra familia no sería igual. Gracias Ali por ser mas sabia que yo en muchos sentidos, gracias por tu ejemplo y por tu compañía. Gracias a ambas por su amor y por tenerme paciencia cuando ni yo me la tengo.

A mi mejor amigo y pareja, Eduardo Dávila. Gracias porque en muchos sentidos fuiste quien más de cerca me acompañó en todas las cosas que implicó este proyecto. Gracias por todas las veces que fuiste a altas horas de la noche por mi al laboratorio, o que me esperaste despierto a que terminara. Gracias por darme ánimos cuando más lo necesité. Gracias por darme consejos en todo lo que podías. En realidad todo lo anterior, no solo ahora, sino desde que estamos juntos. Te amo.

A mi tía Gigi. Gracias por todo tu cariño y apoyo. Gracias porque desde pequeña me sembraste el amar los libros. Y gracias porque en más de una ocasión me apoyaste si algo me hacía falta para la escuela o aventuras locas que quise emprender. La *invasión alienígena* ha llegado lejos.

A mi abuelita Gisela. Por todo su amor y atenciones en apoyo a mis papás cuando era pequeña. Eres una parte importante del proceso que culmino ahora.

A mi abuelito Jorge. Por sus pláticas y por motivarme a seguir descubriendo el mundo, recordándome siempre que “lo difícil se supera con seriedad, disciplina y necesidad de intenciones” JZ, 2015.

A mis abuelos Josefina e Israel. Gracias abuelitos porque siempre me han dado su apoyo y cariño incondicional. Por todos los poemas y canciones que mi abuelito me ha escrito y por todas las comidas deliciosas que mi abuelita me ha preparado para consentirme. Gracias por sus *centavitos para el refresco*, siempre me sirvieron para mucho más que eso.

A toda mi familia: Zárate Reyes, Gamboa Zárate y Zinzer Zárate; Castro Cardona, Castro Lozada y Gallegos Castro. Gracias por todo su cariño, apoyo y sus oraciones a lo largo de mi vida.

A JP. Mi hermano. Gracias Juanpi por tu amistad desde que estamos en secundaria. Eres una persona muy importante en mi vida. Gracias por siempre estar conmigo de una forma u otra. Te quiero muchísimo.

A David Mateos. Gracias por tu amistad, por tu tiempo para ayudarme cuando no entendía números o cuando ya los había embarrado bastante, y por compartir más de una taza de café conmigo.

A la Hot Pyroclastic Spot Squad. A Flor Durán, Ixchel Fajardo, Marco Albarrán, Alfredo Zubillaga y Jesús Luna. Mi familia extendida. Mis Terrólogos favoritos. Gracias por las risas, las tristezas y los sustos compartidos durante la carrera. Gracias por esas horas de estudio hasta que nos corrían de la biblioteca, por las desveladas y pijamadas para estudiar y resolver exámenes...o retas de videojuegos...Gracias por su paciencia para explicarme algo cuando no entendía. Gracias por sus pláticas, aliento y consejos siempre que los necesité, gracias por escucharme, gracias por abrazarme. Gracias también por su confianza y por abrirme su corazón. Gracias por todas las experiencias en las prácticas de campo, todas fueron increíbles porque las compartí con ustedes. Gracias por las locuras... como exponer dos horas seguidas sobre atolones y explosiones nucleares, escalar las paredes en casa de Marco o pensar que era buena idea cazar ranas a media noche en la mitad de la jungla veracruzana (a.k.a ataque del PumaVaca) Los llevo en mi corazón para siempre.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
1.1 CONTEXTO MUNDIAL Y DE PRODUCCIÓN DEL PLÁSTICO	9
1.2 INGRESO DEL PLÁSTICO AL AMBIENTE MARINO Y AL SEDIMENTO	10
1.3 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LOS MICROPLÁSTICOS	12
1.4 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	14
1.4.1 ESTUDIOS PREVIOS SOBRE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS COSTEROS Y RIESGOS PARA LA FAUNA MARINA	14
1.4.2 FAUNA DE LA ZONA NORTE DEL CARIBE MEXICANO E INTERACCIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS CON LA FAUNA MARINA.	17
1.4.3 CARACTERÍSTICAS SOCIOCULTURALES DE LA ZONA NORTE DEL CARIBE MEXICANO	21
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>24</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVOS PARTICULARES	24
<b>3. HIPÓTESIS</b>	<b>24</b>
<b>4. METODOLOGÍA</b>	<b>25</b>
4.1 AREA DE ESTUDIO	25
4.1.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
4.1.2 CLIMA	27
4.1.3 CARACTERÍSTICAS DEL MAR CARIBE	27
4.2 FASE 1	28
4.2.1 MUESTREO Y SUBZONIFICACIÓN.	28
4.3 FASE 2	33
4.3.1 PESAJE DE LA MUESTRA EN HÚMEDO	33
4.3.2 SECADO DE LAS MUESTRAS	34
4.3.3 PESAJE DE LA MUESTRA EN SECO	34
4.3.4 SEPARACIÓN POR TAMAÑO DE GRANO	34
4.3.5 PESAJE DE LA FRACCIÓN DE ESTUDIO	35
4.3.6 EXTRACCIÓN DE MP DE LA FRACCIÓN A . CUANTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN	35
4.3.7 PESAJE DE MICROPLÁSTICOS	37
4.3.8 MEDICIÓN DE MICROPLÁSTICOS	37
4.4 FASE 3.	38
4.4.1 ANÁLISIS DE DATOS	38
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>39</b>
5.1 ANÁLISIS DIFERENCIAL DE MP EN LOS NIVELES SUBMAREAL E INTERMAREAL	39
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS DE ACUERDO A SU PESO, LA CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA, COLOR, DIMENSIONES, Y ABUNDANCIA.	41

5.2.1 PESO	41
5.2.2 COLOR	43
5.2.3 DIMENSIONES	44
5.2.4 ABUNDANCIA	45
<b>5.3 ANÁLISIS POR SUBZONA DE MUESTREO</b>	<b>50</b>
<b>6. CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>54</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>56</b>
<b>8. REFERENCIAS</b>	<b>57</b>

## RESUMEN

Los MP son un contaminante emergente de origen antropogénico y de alta relevancia internacional. Hoy en día hay un auge en su estudio y monitoreo, pero los avances en el tema han sido lentos. Existen evidencias de presencia de MP en sedimentos someros de ambientes marinos incluso en zonas prístinas o con políticas estrictas sobre el manejo de los residuos. En México existe muy poca información sobre microplásticos en sedimentos costeros. Este trabajo aporta información valiosa hasta ahora desconocida sobre el estado de la contaminación por microplásticos en la Zona Norte del Caribe Mexicano.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los microplásticos de tamaño 0.05 mm a 5 mm en el sedimento costero de la Zona Norte del Caribe Mexicano, caracterizando las partículas recuperadas de acuerdo a la clasificación morfológica, color, dimensiones, abundancia y peso. Una vez obtenido lo anterior, se buscó comparar los datos de la zona submareal con la zona intermareal del perfil de la playa. Para ello, se estudiaron diecinueve localidades ubicadas en las ciudades de Playa del Carmen, Puerto Morelos, Cancún, Isla Mujeres y Holbox.

Se recuperaron microplásticos tipo fibra, película, esfera y fragmento, siendo predominantes las fibras. Asimismo, el promedio más alto de longitud del microplástico se presentó en las fibras. Los color más abundante fue el transparente. La zona con mayor abundancia y variedad de microplásticos recuperados fue Holbox. El peso de los microplásticos no refleja la realidad de la contaminación del sedimento costero debido a este tipo de contaminante emergente. Aunque se observa una diferencia entre los datos de la zona intermareal y la zona submareal, no es estadísticamente significativa.

Debido a que la mayor cantidad de microplásticos encontrados son fibras, se le puede atribuir principalmente a las descargas de drenaje o aguas residuales a la costa, y no a la fragmentación de macroplásticos, la contaminación por MP en el sedimento costero de la zona de estudio. Debido al color predominante que se encontró en los microplásticos en este estudio, es pertinente sospechar que exista ingestión de microplásticos por parte la fauna marina.

Este estudio proporciona bases para investigaciones posteriores e invita a analizar factores como el origen de los microplásticos, su ruta de transporte y los polímeros con que están fabricados los microplásticos que se encuentran con mayor abundancia.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son polímeros orgánicos a base de carbono, generalmente sintetizados a partir de petroquímicos. Son livianos, poco costosos, durables, fuertes, resistentes a la corrosión y diseñados para ser desechados. En todo el mundo se usan pletóricamente en el empaque de productos alimenticios, farmacéuticos, cosméticos, detergentes y químicos (Shah, Hasan, Hameed, & Ahmed, 2008; Wessel, Lockridge, Battiste, & Cebrian, 2016)Tienden a ser quebradizos y fragmentarse en pedazos más pequeños si se exponen a radiación UV (Moore, 2008).

## 1.1 Contexto mundial y de producción del plástico

Hace más de medio siglo, los polímeros sintéticos (o “plásticos” en sentido general), comenzaron a sustituir materiales naturales en cada aspecto de la vida cotidiana en nuestra sociedad, y hoy en día se han hecho indispensables. Lo anterior conlleva a la definición actual de que vivimos la “Era del Plástico”, donde casi todo contiene este material. Hasta mediados del siglo XX, la mayor parte de la basura que se generaba, era orgánica, pero una vez que los plásticos se introdujeron y debido a su enorme éxito a nivel mundial, la basura y desechos de este tipo comenzaron a acumularse debido a la resistencia a la corrosión, intemperismo y biodegradación que los polímeros sintéticos poseen.

Los polímeros que más abundan son el HDPE (Polietileno de alta densidad), LDPE (Polietileno de baja densidad), PVC (Cloruro de polivinilo), PS (Poliestireno), PP y PET, los cuales conforman aproximadamente el 90% de la producción mundial de plástico y también se cuentan entre los polímeros recurrentes en el ambiente marino (Andrady, 2011).

China ostenta el mayor porcentaje de producción total de plástico, (29%). Junto con el resto de Asia, en su totalidad componen el 50% de la producción mundial del mismo. Otro porcentaje representativo lo sostienen Europa con un 19% y los países pertenecientes al TLCAN (Estados Unidos, Canadá y México) con otro 18%, sumando el 87% de la producción mundial de plástico (PlasticsEurope, 2018) (Figura 1.1).

La producción anual de plástico se ha incrementado considerablemente a medida que pasa el tiempo. En los años cincuenta del siglo pasado, se generaban aproximadamente 1.5 millones de toneladas al año, y para el año 2013 se generaron 299 millones de toneladas (Li, Tse, & Fok, 2016). En el año 2016 se produjeron 335 millones de toneladas de plástico a nivel mundial (Figura 1.1), sin contemplarse la producción de fibras de PET (Tereftalato de Polietileno), PA (Poliamidas), y PP (Polipropileno) (PlasticsEurope, 2018). Como referencia, a nivel mundial se produjeron 959.1 millones de toneladas de maíz en el mismo año (FIRA,

2016) es decir, el equivalente a 1/3 de la producción mundial de maíz fue la producción de un material sintético de corta vida útil y largo proceso de degradación.

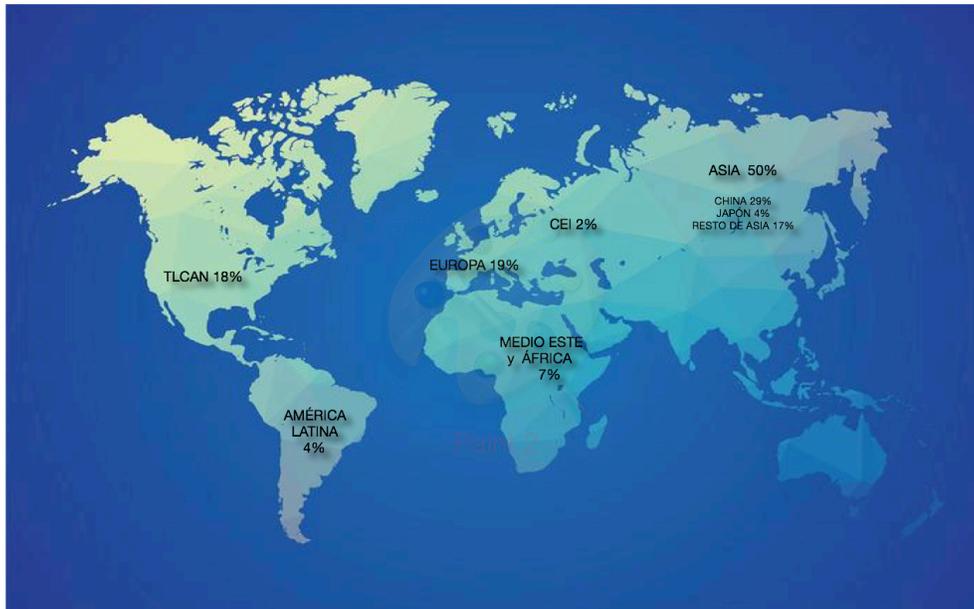


Figura 1.1 Producción Mundial de Plástico en Porcentaje para el año 2016.

Si bien el plástico ha demostrado ser altamente versátil en nuestro estilo de vida, su uso indiscriminado y su persistencia en el ambiente representan un problema. La vida útil del plástico es generalmente corta, y una vez desechados, es muy pequeño el porcentaje que es reciclado o reutilizado. El reciclaje del plástico es aún poco exitoso, la mayor cantidad de plástico llega a los depósitos de basura, o “se pierde” en su trayecto hacia ellos. La degradación del plástico es un proceso sumamente lento. Mientras que un producto de origen orgánico puede degradarse en 3 o 4 semanas, un objeto compuesto de plástico puede demorar hasta 500 años (Segura, Noguez, & Espín, 2007).

## 1.2 Ingreso del plástico al ambiente marino y al sedimento

El plástico puede potencialmente afectar tanto directa como indirectamente los diversos ecosistemas de nuestro planeta y también presentar impactos negativos en la calidad escénica. La contaminación por plásticos es un problema global que representa una de las más graves formas de contaminación en costas, cuerpos de agua dulce y océanos.

El plástico puede ser transportado irresponsablemente por el ser humano, o por la fuerza mecánica del agua y el viento, y trasladarse grandes distancias desde su origen, almacenándose en zonas de depósito donde no existe la energía necesaria para que su

transporte continúe. Una vez depositados permanecerán un largo tiempo virtualmente sin cambios, ya que su naturaleza de manufactura, los hace resistentes a la degradación.

La mayor parte de la basura y desechos que llegan al mar tienen un origen terrestre. Las tres principales fuentes de entrada de plásticos al ambiente marino son actividades domésticas, industriales y derivadas de la pesca. Las fuentes de plástico se reparten de modo general en un 80% de fuentes terrestres y en un 20% en de fuentes marítimas (Li et al., 2016).

**Cuadro 1.1** Tipos de plástico que se encuentran en ambientes marinos, densidad, porcentajes de producción y ejemplos (Andrady, 2011; Li et al., 2016).

Tipo de plástico y código de identificación	Densidad (g L <sup>-1</sup> )	Porcentaje de Producción*	Productos de origen más común.
Polietileno de baja densidad 	0.91-0.93	17.7%	Bolsas de Plástico, anillos de six-pack, botellas, redes, popotes
Polietileno de alta densidad 	0.94	12.3%	Envases de jugo y leche
Polipropileno 	0.85-0.83	19%	Cuerda, tapas de botellas, redes
Poliestireno 	1.05	67%	Utensilios plásticos, contenedores alimenticios. Espumado: flotadores, vasos
Nylon 	1.1	-	Redes, trampas, cerdas de cepillos dentales, molduras automotrices
Tereftalato de polietileno 	1.37	7.4%	Botellas para líquidos bebibles, contenedores para microondas.
Poli-vinil cloruro 	1.38	10%	Vasos, botellas, películas
Acetato de celulosa 	1.2	-	Filtros para cigarro.

\* Plastics Europe Market Research Group y Conversion Market & Strategy GmbH (Plastics Europe, 2017).

<sup>1</sup> Plastic Task Force Report (Ecology Center, 1996)

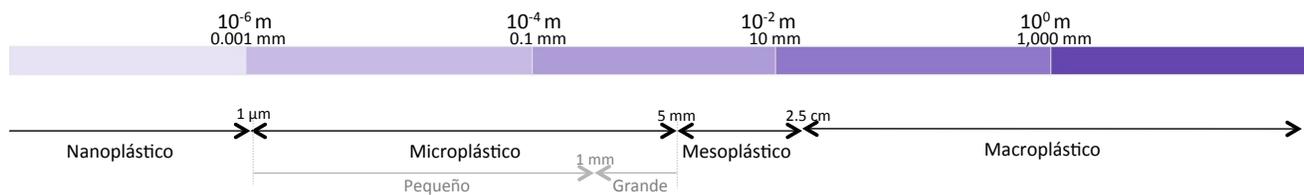
Es bien sabido que los giros oceánicos son *hot spots* de contaminación por plásticos (Álvarez-Muñoz, Llorca, Blasco, & Barceló, 2016). La basura plástica puede ser transportada por corrientes oceánicas, viento, remolinos, la topografía costera y rutas de comercio, que determinan su distribución y abundancia (Alomar, Estarellas, & Deudero, 2016; Li et al., 2016). Aunado a esto, los desechos de basura acumulados en barrancas, laderas de ríos y calles representan una problemática adicional. De acuerdo con algunas estimaciones, en México un 30% de la basura va directamente a los sitios antes señalados, y de los plásticos desechados en los sistemas de recolección de basura, solo el 12% es recolectado correctamente (Segura et al., 2007). En muchas ocasiones, la degradación a la intemperie del plástico consiste en su fragmentación hacia pedazos muy pequeños que se denominan

microplásticos, los cuales se ha demostrado que se acumulan considerablemente en los mares y playas (Segura et al., 2007).

Los microplásticos causan múltiples riesgos al ambiente y es por esta razón que proyectos de protección ambiental como son el Marine Debris Program of the US National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) ha incluido este tipo de fragmentos como una forma emergente de contaminación (Avio, Gorbi, & Regoli, 2017).

### 1.3 Definición y Características Fisicoquímicas de los Microplásticos

Los microplásticos son un contaminante emergente de origen antropogénico que consiste en partículas de plástico de tamaño por definición inferior a 5 mm de diámetro (Arthur et al., 2009; Alomar et al., 2016; Álvarez-Muñoz, 2016) (Figura 1.2).



**Figura 1.2** Tamaños de Partícula. Nomenclatura de fragmentos de plástico de acuerdo con su tamaño propuesta por la MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (2013)

El consenso sobre el rango del tamaño de partícula y la fracción a la que pertenecen aun se debate en la literatura. En el caso de los microplásticos, el consenso general es que su límite superior sean los 5 mm (Figura 1.3) (Alomar et al., 2016; Álvarez-Muñoz et al., 2016; Arthur, Baker, & Bamford, 2009), sin embargo el inferior varía dependiendo el autor, sus objetivos de estudio y la metodología. En este trabajo se toma el límite superior de 5 mm y como inferior 0.05 mm, lo cual corresponde a la fracción de microplásticos propuesta por la MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (2013) (Galgani et al., 2014). Sin embargo no abarca toda la fracción denominada “pequeña” de MP, ya que ésta fracción abarca hasta los 0.001 mm, y en este estudio se trabajó con partículas de hasta con 0.05 mm.

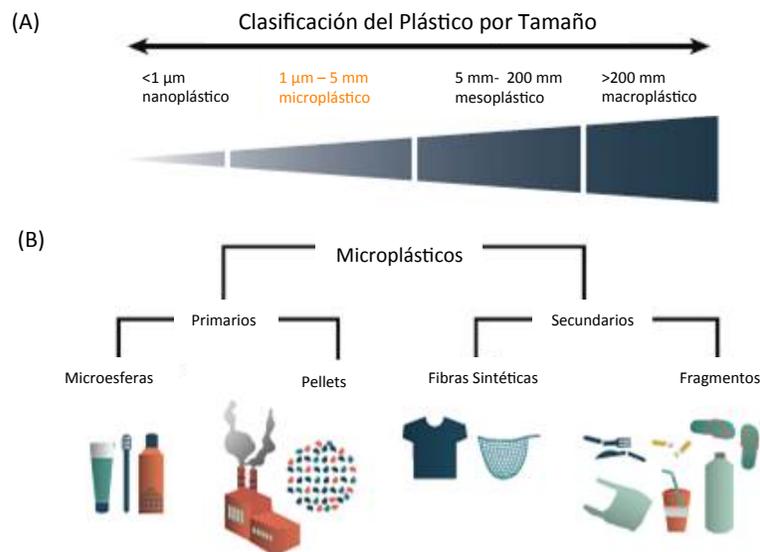
Los microplásticos (MP) pueden clasificarse y agruparse principalmente tomando como criterio dos parámetros: forma y origen. A continuación, se explican estos dos tipos de clasificaciones.

Por su forma, principalmente los MP se identifican como esferas, pellets, fragmentos irregulares, fibras, gránulos y películas (traducido del inglés “films”) (Alomar et al., 2016; Van Cauwenberghe, Devriese, Galgani, Robbens, & Janssen, 2015; Wright, Thompson, & Galloway, 2013). Las razones por las que un MP puede presentar las características de

alguna de las categorías antes mencionadas, es muy variada, pues está en función de los procesos que haya sufrido el objeto o su material de origen.

Por su origen, los MP se clasifican en primarios y secundarios (Figura 1.3 A y B) (Cole, Lindeque, Halsband, & Galloway, 2011; Li et al., 2016; Ryan, Moore, van Franeker, & Moloney, 2009). Los microplásticos primarios son aquellos que desde su manufactura tienen dimensiones desde microscópicas hasta <5mm. Estos pueden ser precursores de otros productos o para uso directo como abrasivos (Alomar et al., 2016): por ejemplo, en la industria cosmética y doméstica. Además, son utilizados como vectores de medicamentos (Germanov, Marshall, Bejder, Fossi, & Loneragan, 2018).

Por otro lado, los MP secundarios son aquellos que resultan de la degradación mecánica, química o fotocatalítica de macroplásticos tanto en tierra como en el medio marino, incluyendo fibras provenientes de la industria textil (Alomar et al., 2016; Li et al., 2016).



**Figura 1.3** Clasificación de los Microplásticos según su origen. (Modificado de Germanov et al., 2018)

Los MP con una densidad mayor que la del agua de mar ( $1.02\ \text{g/cm}^3$ ) tienden a hundirse y acumularse en el sedimento, mientras que los de menor densidad tienden a flotar en la columna de agua y la superficie (Cuadro 1.1).

Una razón por la que MP de densidad menor a la del agua pueden llegar a sedimentar es el Biofouling de procariontes, eucariontes o invertebrados (Alomar et al., 2016; Andrady, 2011) el cual consiste en la adhesión de los grupos de organismos mencionados al plástico y su consecuente hundimiento debido al aumento de masa del objeto (Figura 1.4).

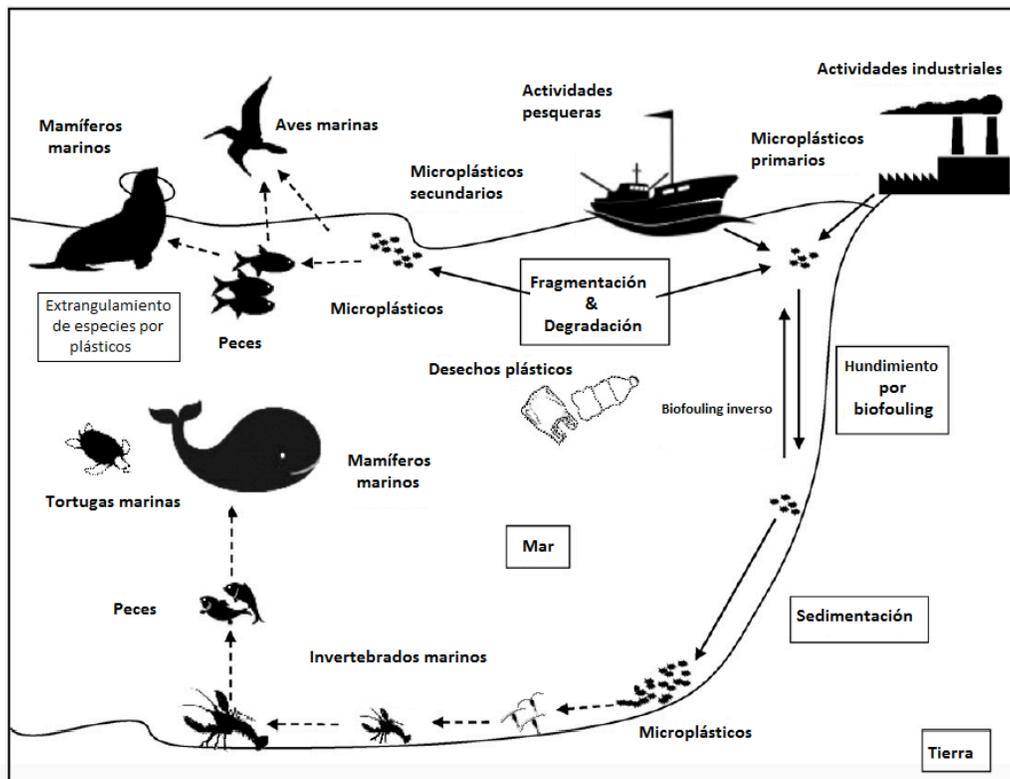


Figura 1.4 Esquema del origen y movilización de MP en el medio marino y su interacción biológica. (Li et al., 2016).

El Intemperismo es el proceso más relevante para la fragmentación de los plásticos, y las playas son el sitio ideal para su fragmentación, ya que proveen de intemperismo químico y mecánico (abrasión, oleaje y turbulencia) (Arthur et al., 2009; Barnes, Galgani, Thompson, & Barlaz, 2009). El segundo proceso más importante es la fotodegradación debida al sol, porque la radiación UV oxida y rompe los enlaces químicos de los polímeros (Barnes et al., 2009).

## 1.4 Antecedentes y Justificación

### 1.4.1 Estudios previos sobre microplásticos en sedimentos costeros y riesgos para la fauna marina

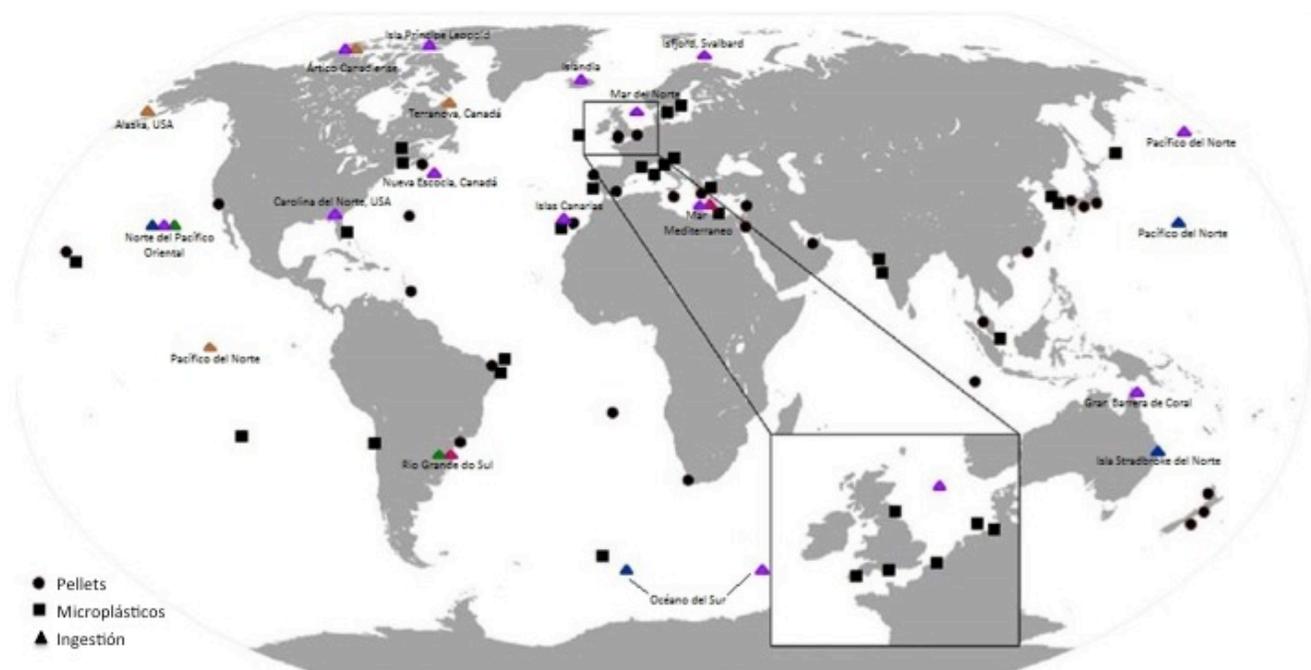
Los MP son un tema de alta relevancia internacional. Hoy en día hay un auge en su estudio y monitoreo, pero los avances en el tema han sido lentos. Los primeros registros de MP en la superficie de la columna de agua datan de la década de 1970 (Carpenter, Anderson, Harvey, Miklas, & Peck, 1972), mientras que los primeros análisis de MP en sedimentos se dieron a conocer en 2004 (Thompson et al., 2004).

Los microplásticos entran al ambiente marino por diversas vías, que pueden ser directas o indirectas. Por ejemplo, aguas residuales que se descargan al océano, escorrentía terrestre o la degradación de desechos plásticos de mayor tamaño (macroplásticos) que son transportados al mar en caso de condiciones climáticas adversas, desde puntos de deposición de basura tanto legales como clandestinos, o por su deposición directa en la costa o el mar (Alomar et al., 2016)

Otro factor que es relevante según los análisis realizados, es la presencia de desembocaduras de ríos como fuente de MP para el ambiente marino. En sedimentos del río Sain Laurent en Canadá se detectaron mayores concentraciones de MP en las áreas influenciadas por descargas de aguas dulces al mar, al igual que se detectaron altas concentraciones de microesferas de plástico en sedimentos para las cuales se sugiere tienen su origen en efluentes de drenaje tanto municipales como industriales (Castañeda, Avlijas, Simard, & Ricciardi, 2014).

Los MP tipo fibra son una fuente importante de contaminación. Éstas son indicadoras de descarga de aguas residuales al ambiente marino (Browne et al., 2011), e indican que las prendas sintéticas de la industria textil son una fuente importante de contaminación (Alomar et al., 2016). La mayoría de las fibras plásticas son de polyester o acrílico; una sola prenda de vestir en un solo ciclo de lavado puede desprender hasta 1900 fibras (Browne et al., 2011).

De 2004 a la fecha el estudio de los MP se ha ido incrementando enormemente (Figura 1.5). Los artículos sobre microplásticos en sedimentos que se han publicado en distintos medios científicos, refieren en sus investigaciones la abundancia y distribución de éstos, las concentraciones de exposición dados en el medio natural y sus efectos con la intención de establecer estándares confiables sobre las técnicas de extracción de MP más apropiadas (Van Cauwenberghe et al., 2015)



**Figura 1.5** Distribución geográfica del estudio de microplásticos en sedimento. Los círculos corresponden a estudios sobre la presencia de pellets con resinas industriales y los cuadrados representan estudios con otros tipos de microplásticos como objetivo de estudio. Los triángulos corresponden a estudios sobre ingestión de MP en familias de aves (Morado: Procellariidae, Azul: Hydrobatidae, Verde: Diomedidae, Rosa: Laridae, Naranja: Alcidae) (Modificado de Van Cauwenberghe et al., 2015 y Li et al., 2016).

Existen evidencias de presencia de MP en sedimentos someros de ambientes marinos incluso en zonas prístinas o con políticas estrictas sobre el manejo de los residuos (Alomar et al., 2016) y hasta en sedimentos de mar profundo; Fischer, Elsner, Brenke, Schwabe, and Brandt (2015) y Van Cauwenberghe et al., (2015), reportan hasta 2,000 partículas por m<sup>2</sup> en sedimentos a 5, 000 m de profundidad en el área de la trinchera Kuril-Kamchatka (noroeste del Pacífico).

Existen más evidencias de concentraciones o mediciones de MP encontrados en sedimentos provenientes de ambientes costeros que de plataformas continentales (Alomar et al., 2016; Claessens, Meester, Landuyt, Clerck, & Janssen, 2011). En sedimentos costeros, se han encontrado MP de polipropileno, polietileno, poliamidas (nylon), acrílico, poliéster y otros, con abundancias variables, reportándose registros de 3 a 5 Kg/km<sup>2</sup> y hasta 30kg/km<sup>2</sup> (Segura et al., 2007)

#### **1.4.2 Fauna de la Zona Norte del Caribe Mexicano e Interacción de los Microplásticos con la fauna marina.**

En la zona de estudio hay una interacción entre dos ecosistemas diferentes, ya que es la zona de transición entre el Mar Caribe y el Golfo de México, por lo que hay especies representativas típicas tanto del MC como el GM.

De modo general los ecosistemas arrecifales se caracterizan por altas tasas de producción primaria, alta diversidad de flora y fauna, y un alto intercambio de nutrientes y organismos con ambientes cercanos (CONANP, 2016).

Cerca de la zona de estudio se encuentran diversos arrecifes de coral que forman parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano. La biomasa de peces que se estima para el Sistema Arrecifal Mesoamericano es de 205 t/km<sup>2</sup>, similar a lo registrado en la Gran Barrera Arrecifal de Australia (CONANP, 2016; de la Lanza Espino, 2004). Por lo anterior, los ecosistemas que se desarrollan en el Caribe Mexicano son de alta importancia biológica. Muchos se encuentran bajo alguna categoría de Área Natural Protegida.

Geológicamente, la riqueza biológica de la zona se explica por la rugosidad del fondo marino, el cual favorece la presencia de una mayor cantidad de nichos que funcionan como hábitat potencial e inducen la presencia de mayor diversidad de organismos (CONANP, 2016). Se ha observado que la estructura de la comunidad de peces es influenciada significativamente por la cercanía de manglares, arrecifes y pastos marinos, y que incluso la biomasa de especímenes adultos se duplica si su hábitat está conectado con el manglar, por lo que la complejidad topográfica del bentos es propia de áreas con alta riqueza de especies y asociadas a hábitats complejos (CONANP, 2016)

Sobre la Plataforma del Caribe Mexicano existen al menos once arrecifes de aguas someras: Puerto Morelos, Punta Maroma, Cozumel (que posee tres formaciones diferentes) Xpu-Ha, Xcalak y Banco Chinchorro, entre otros (Bezaury-Creel et al., 2011).

En la zona de la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano, donde se encuentra la zona de estudio, existen más de 580 especies de peces, lo que equivale al 26% del total nacional y al 3% del total mundial. 143 de las especies registradas son exclusivamente asociadas a los arrecifes (CONANP, 2016).

La vegetación original de la zona corresponde a Selva Mediana Subperenifolia, Selva Mediana Subcaducifolia, Tular y Manglar. Las especies más representativas de flora son el Mangle rojo (*Rhizophora mangle*), Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*), Mangle negro (*Avicennia germinans*), Mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), y *Thrinax radiata* o Palma chit. (SIMEC, 2017).

En cuanto a la fauna, las especies más representativas son el Coral cuerno de alce (*Acropora palmata*), Coral (*Orbicella faveolata*), Coral pétreo (*Diploria strigosa*), Coral de fuego aplanado (*Millepora complanata*), Coral estrella (*Porites astreoides*), Coral masivo (*Siderastrea siderea*), Coral (*Agaricia spp.*), Tortuga caguama (*Caretta caretta*), Tortuga verde (*Chelonia mydas*), Tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*), Abanico de mar (*Plexaura homomalla*), Coral (*Plexaurella dichotoma*), Coral cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*), Cocodrilo de pantano (*Crocodylus moreletii*), Garza roja (*Egretta rufescens*), Aguillilla negra menor (*Buteogallus anthracinus*) (SIMEC, 2017).

Los factores que afectan la biodisponibilidad de los MP son: tamaño, densidad, forma, carga, color, agregación y abundancia (Kach & Ward, 2008; Wright et al., 2013). De los anteriores, son el tamaño y la densidad los dos factores que en mayor proporción determinan si los organismos marinos tendrán interacción con los MP o no, ya que la densidad determinará si los MP estarán en suspensión o si se depositarán en el suelo marino, mientras que por su tamaño y similitud con las partículas de sedimento, pueden ser ingeridos incidentalmente por una amplia gama de organismos (Van Cauwenberghe et al., 2015).

En el cuadro 1.2 se mencionan algunas especies marinas para las cuales existe registro de la ingesta de MP en estudios realizados en diversas partes del mundo.

**Cuadro 1.2** Ingestión de microplástico por diversos organismos (Modificado de Li et al., 2016).

Especie	Ubicación	No. de muestra	Ocurrencia	Material Ingerido	Tamaño del Plástico	Referencia
<i>Clupea spp., Eutrigla gurnardus, Merlangius merlangus, Melanogrammus aeglefinus, Trachurus trachurus, Gadus morhua.</i>	Mar del Norte	566	2.6%	-	0.04 mm a 4.8 mm	(Foekema et al., 2013)
Delfín Franciscano; <i>Pontoporia blainvillei</i>	Costa Norte de Argentina	106	28%	Remanentes de empaques (64.3%) Remanentes de pesca (35.7%)	0.2 cm a 11.4 cm	(Denuncio et al., 2011)
<i>Merlangius merlangus, Micromesistius poutassou, Trachurus trachurus, Trisopterus minutus, Zeus faber, Aspitrigla cuculus, Callionymus lyra, Cepola macrophthalma, Buglossisium luteum y Microchirus variegates</i>	Canal de la Mancha	504	36.5%	Seda artificial; material celulósico semi sintético (58%) y poliamida (35%)	0.13 mm a 14.3 mm	(Lusher, McHugh, & Thompson, 2013)
Anchoa; <i>Stolephorus commersonii</i>	Alappuzha, India	16	37.5%	-	1.14 mm a 2.5 mm	(Kripa et al., 2014)
<i>Cololabis saira, Hygophum reinhardtii,</i>	Pacífico Norte	670	35%	Fragmentos (94%) Películas (3%) Cordel	1mm a 2.79 mm	(Boerger, Lattin, &

<i>Loweina interrupta</i> , <i>Myctophum aurolaternatum</i> , <i>Symbolophorus californiensis</i>				de pesca (2%) filamentos trenzados, caucho y espuma de poliestireno (<1%).		Moore, 2010)
<i>Lampris sp. (big eye)</i>	Pacífico Norte	115	29%	-	49.1 mm (±71.1)	(Choy & Drazen, 2013)
<i>Camarón Café; Crangon crangon</i>	Mar del Norte, Bélgica	110	63%	Fibras (95%) Películas (5%)	300 μm a 1,000 μm	(Devriese et al., 2015)
<i>Mejillón azul (Mytilus edulis)</i>	Bélgica, Países Bajos	45	100%	Fibras	300 μm a 1,000 μm	(De Witte et al., 2014)
<i>Percebes Cuello de Ganso (Lepas spp.)</i>	Giro subtropical del Pacífico Norte.	385	33.5%	Fragmentos (99%) monofilamentos (1%)	0.609 mm a 6.770 mm	(Goldstein & Goodwin, 2013)

Entre 2 mm y 0.5 mm de tamaño los MP tienen un tamaño disponible para organismos detritívoros como: camarones, cladóceros, ciliados, copépodos, holoturias, rotíferos, poliquetos (y sus larvas) (Alomar et al., 2016; ), con potenciales implicaciones negativas en la cadena trófica (Setälä, Fleming-Lehtinen, & Lehtiniemi, 2014; Wright et al., 2013)

Algunos de los animales que ingieren plástico regularmente en su dieta, pueden acumularlo en su tracto digestivo, lo cual puede generar daño del individuo, ya sea por lesiones directas en su tracto digestivo o por translocación de MP a otros órganos y tejidos (Browne, Dissanayake, Galloway, Lowe, & C Thompson, 2008; Van Cauwenberghe et al., 2015).

Si bien algunos experimentos sobre los efectos de consumo de MP se realizan bajo condiciones de laboratorio, con un solo tipo o tamaño de partícula y con dosis mucho más altas que las encontradas en la naturaleza (Amaya Márquez, 2016; Gómez Hernandez, 2016), se han registrado efectos como: decremento energético, reducción o inhibición de la actividad de filtrado o alimentación, translocación al sistema circulatorio, respuestas inflamatorias y defectos de desarrollo, además de la transferencia trófica y su consecuente impacto en las redes tróficas (Van Cauwenberghe et al., 2015).

Los MP pueden tener también efectos indirectos en los organismos. Pueden actuar como fuente de adsorción de contaminantes orgánicos (Figura 1.6), y convertirse en vectores de sustancias como DDT, PCB's, PAH's y compuestos fenólicos poco solubles en agua (Mato et al., 2001; Rios, Moore, & Jones, 2007; Segura et al., 2007) incluso llegando a presentar 10<sup>6</sup> veces la concentración de estos contaminantes en el agua circundante, ya que la erosión y degradación de las capas superficiales de los MP (mayor área de adherencia, cambios de

polaridad) incrementan la eficiencia de adsorción de sustancias tóxicas (Fotopoulou & Karapanagioti, 2012).

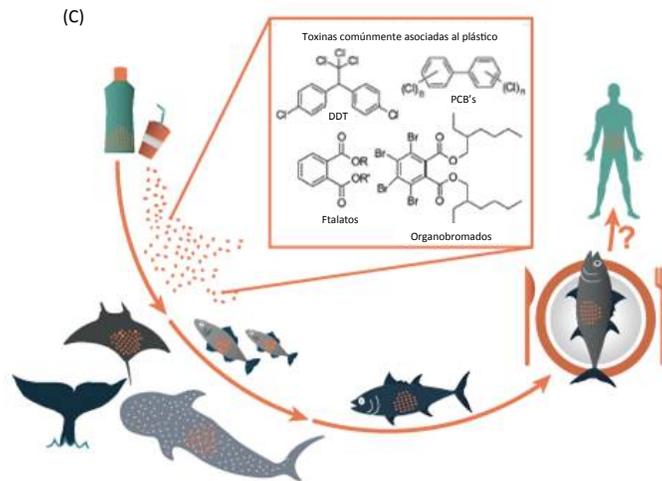


Figura 1.6 Macromoléculas orgánicas encontradas en MP, ejemplos. (Modificado de Germanov et al., 2018)

Otro tipo de contaminantes químicos que se puede encontrar en los MP son monómeros residuales de las reacciones de polimerización que originan al plástico, y muchos de ellos son tóxicos, provocando efectos mutagénicos y carcinógenos (Van Cauwenberghe et al., 2015)

Los MP también pueden actuar como vector de bacterias al servir como sustrato para su transporte, debido a las condiciones que provee su superficie hidrófoba, que estimula la rápida formación de biopelículas (Zettler, Mincer, & Amaral-Zettler, 2013). Una vez formadas las biopelículas, es posible que se adhieran organismos epiplásticos como diatomeas, ciliados (Reisser, Proietti, Shaw, & Pattiaratchi, 2014a) y otros patógenos de origen tanto animal como humano que potencialmente ponen en peligro la salud del ecosistema y las actividades económicas. Además, la adhesión de microorganismos a las biopelículas puede llegar a promover que ciertos organismos busquen alimentarse del MP recubierto, lo que a la larga tiene impacto en la red trófica (Reisser et al., 2014b; Van Cauwenberghe et al., 2015). Las consecuencias ecológicas de lo anterior aún se desconocen.

Si bien desconocemos aun muchos aspectos sobre la ingestión de MP por parte de la fauna marina, los organismos que habitan en el sedimento son excelentes bioindicadores de salud ecosistémica debido a su sensibilidad a perturbaciones en el medio (OSPAR, 2010). Algunos ejemplos de estos organismos son los equinodermos, poliquetos, crustáceos, bivalvos y peces demersales (Van Cauwenberghe et al., 2015).

En México existen muy pocos trabajos sobre basura plástica visible (macroplásticos) o MP. Sobre macroplásticos, podemos citar el trabajo de Lara-Domínguez, Villalobos Zapata, Rivera Arriaga, Vera Herrera y Álvarez Guillén (1994) y Silva-Iñiguez & W Fisher (2003) en

costas de Campeche y de Baja California, respectivamente. Al ser tamaños tan diferentes, su comportamiento en las playas también lo es, así como su dispersión, descomposición y tratamiento. Sobre microplásticos podemos citar a Retama et al. (2016) quienes trabajaron en costas de las bahías de Huatulco, México, pero con MP tipo fibra únicamente.

Se observó también, en los diversos trabajos recientes sobre el tema, que la metodología para el estudio de los MP no está estandarizada. Existen resultados de estudios realizados en nuestro continente con los que este trabajo no se pueden comparar debido a su metodología. A continuación se mencionan algunos: en las costas del Noroeste de Brasil se encontraron densidades promedio de 82.1 piezas por m<sup>2</sup> (Santos, Friedrich, & Ivar do Sul, 2009). En Hawaii se midieron MP en un rango de partículas de 0.25-10 mm en cantidades de 3.3% del sedimento en peso en playas altamente contaminadas (Carson, Colbert, Kaylor, & McDermid, 2011), y otros (Ivar do Sul & Costa, 2007), y en México, en las bahías de Huatulco, se encontraron hasta 69 fibras en 30 gramos de sedimento (rango de longitud de los MP analizados en Huatulco: 0.004266 μm– 4.491 μm, mientras que en este trabajo se analizó el rango 500 μm a 5,000 μm equivalente a 0.05 mm a 5 mm) (Retama et al., 2016).

#### **4.1.3 Características socioculturales de la Zona Norte del Caribe Mexicano**

El estado de Quintana Roo es el destino turístico más importante de México. Ahí se recibe el mayor flujo de visitantes nacionales y extranjeros, flujo que se concentra principalmente en los municipios de Benito Juárez, Puerto Morelos, Cozumel e Isla Mujeres.

El turismo se concentra principalmente en el Corredor Cancún-Tulum o “Riviera Maya” comprendiendo aproximadamente 120 km de playa donde operan numerosos complejos turísticos hoteleros, y toda la infraestructura acompañante, muy completa y moderna de servicios de comida, servicios de marinas y deportes acuáticos, centros comerciales y parques de atracciones (Daltabuit Godás, Valenzuela Valdivieso, & Cisneros Reyes, 2007; PED-QR, 2017). En Cancún únicamente la llamada Zona Hotelera tiene una longitud de 23 km, probablemente la más larga del mundo (Solis-Weiss, com. pers.)

A partir de la década de los 90’s la actividad económica de Quintana Roo se vio dominada por el turismo. El turismo se convirtió en un tema fundamental en las políticas del estado y se integró en el plan estatal de desarrollo debido a su importancia estratégica. “Consolidar a Quintana Roo como un destino competitivo y líder de la actividad turística y que como motor del desarrollo económico y social del estado genere bienestar para todos” es uno de los objetivos eje de la legislación estatal (Daltabuit Godás et al., 2007; PED-QR, 2017).

El arribo de cruceros se ha incrementado exponencialmente, pasando de 429 cruceros en 1985 a 1571 cruceros en 1999 y 2,286 cruceros en 2017, colocándose como el destino

número uno de cruceros a nivel internacional (PED-QR, 2017). En 1997 se tenían registrados 124 hoteles con aproximadamente 5, 000 habitaciones en el Corredor Turístico (Daltabuit Godás et al., 2007) mientras que en 2017 se tienen registrados 931 hoteles con un total de 88, 280 habitaciones (SECTUR, 2017). En 2016 se registraron 16, 065, 321 visitantes al estado de Quintana Roo, mientras que en 2017 se registraron 16, 911, 163. Aproximadamente dos terceras partes de total de turistas en el estado de Quintana Roo son de origen extranjero (SECTUR, 2017).

El PIB de Quintana Roo en 2016 fue de 302 mil millones de pesos en 2016. El 86% del total provino del comercio y hoteles. Con estas cifras, Quintana Roo aporta el 1.6% del PIB nacional (SE, 2016).

La gran riqueza y diversidad de ecosistemas que caracteriza el estado de Quintana Roo así como su belleza natural son los principales factores del éxito del turismo. Como más del 90% de la población del estado trabaja de modo directo o indirecto para el turismo, este constituye el principal factor de afectación ambiental y social en el estado.

Los principales problemas generados por esta actividad son: el vertimiento de desechos de origen urbano sin tratamiento, o resultado de la deforestación, directamente al mar, la modificación y reducción de ecosistemas acuáticos y costeros por cambios en la morfología litoral (destrucción de arrecifes, lagunas, dunas y desaparición de especies), la deforestación de la franja costera (sobre todo humedales y manglares) para desarrollo de la infraestructura turística y asentamientos urbanos, degradación de la calidad del agua (contaminación de mantos freáticos y sistemas lagunares entre otros (Córdoba y Ordóñez & García de Fuentes, 2003).

Otro problema es la migración en el estado de Quintana Roo. Esta migración es inducida principalmente por las oportunidades de empleo que ofrece la industria turística, pero ha ocurrido de modo desordenado y sin previsión de servicios básicos a la población; por ello, el crecimiento demográfico tiene un alto impacto ambiental en la calidad del agua debido a la falta de drenaje adecuado y plantas de tratamiento de aguas negras, además del manejo inadecuado de la basura (Daltabuit Godás et al., 2007).

No existe aún consenso sobre los factores que determinan la presencia-ausencia de MP en los ambientes costeros y la disparidad de resultados entre estudios ocasionan controversia debido a que en algunos existen MP en mayor cantidad en zonas prístinas, mientras que en otros estudios ocurre a la inversa (Alomar et al., 2016; Van Cauwenberghe et al., 2015). Sin embargo Browne et al. (2011) y Claessens et al. (2011) han comprobado que en puertos o en áreas densamente pobladas con intensa actividad humana parece haber una mayor contaminación por MP, evidenciada por un mayor número de partículas presentes. Así mismo, existe evidencia de mayor presencia de microplásticos en zonas costeras que en mar

profundo, porque son las actividades antropogénicas la principal fuente de microplásticos en el ambiente marino (Barnes et al., 2009; Dubaish & Liebezeit, 2013; Li et al., 2016). De acuerdo con Browne et al. (2011), existe una relación positiva entre la densidad de población de una zona y los MP presentes en sus playas; a nivel mundial parece existir una mayor abundancia de MP si la densidad de población aumenta.

Las costas de Quintana Roo son una zona expuesta a factores de estrés de origen antropogénico que tienen un impacto en los sistemas costeros. Ejemplos de factores de estrés son: el turismo, el crecimiento de los asentamientos humanos, y la falta de infraestructura para el manejo de residuos sólidos urbanos y aguas residuales. Son vulnerables ante la contaminación por microplásticos debido a la alta biodiversidad de la zona y las diversas dinámicas de natalidad y crecimiento temprano de mamíferos, reptiles, aves y peces, por lo cual este trabajo aporta información valiosa hasta ahora desconocida sobre el estado de la contaminación por microplásticos en la Zona Norte del Caribe Mexicano (ZNCM).

## **2. OBJETIVO**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar los microplásticos (0.05 mm a 5 mm) presentes en sedimentos costeros en la zona norte del Caribe Mexicano.

### **2.2 Objetivos Particulares**

1. Caracterizar las diferentes partículas de microplásticos presentes de acuerdo a la clasificación morfológica, color, dimensiones, abundancia y peso.
2. Comparar de acuerdo con el peso, la abundancia y el tipo de MP presentes, los microplásticos existentes en las playas del N de Quintana Roo tanto en la zona intermareal como en la submareal en las playas de la zona de estudio.

## **3. HIPÓTESIS**

-Debido a que la Zona Norte del Caribe Mexicano es una zona muy turística y con desarrollo urbano muy activo, se espera encontrar partículas de microplástico (0.05mm – 5 mm) en el sedimento del submareal e intermareal de las costas

- Se espera que la abundancia de microplásticos sea mayor en el intermareal que en el submareal, ya que existe una migración tierra adentro de los microplásticos dirigida por la densidad de los polímeros y el arrastre del viento

## 4. METODOLOGÍA

La metodología implementada para este trabajo se basó en la realizada por Alomar et al. (2016). Las actividades que se llevaron a cabo se esquematizan en la Figura 4.1. De modo general, la metodología se dividió en tres fases, la fase 1 realizada en Quintana Roo, México, y las fases 2 y 3 realizadas en la Ciudad de México.

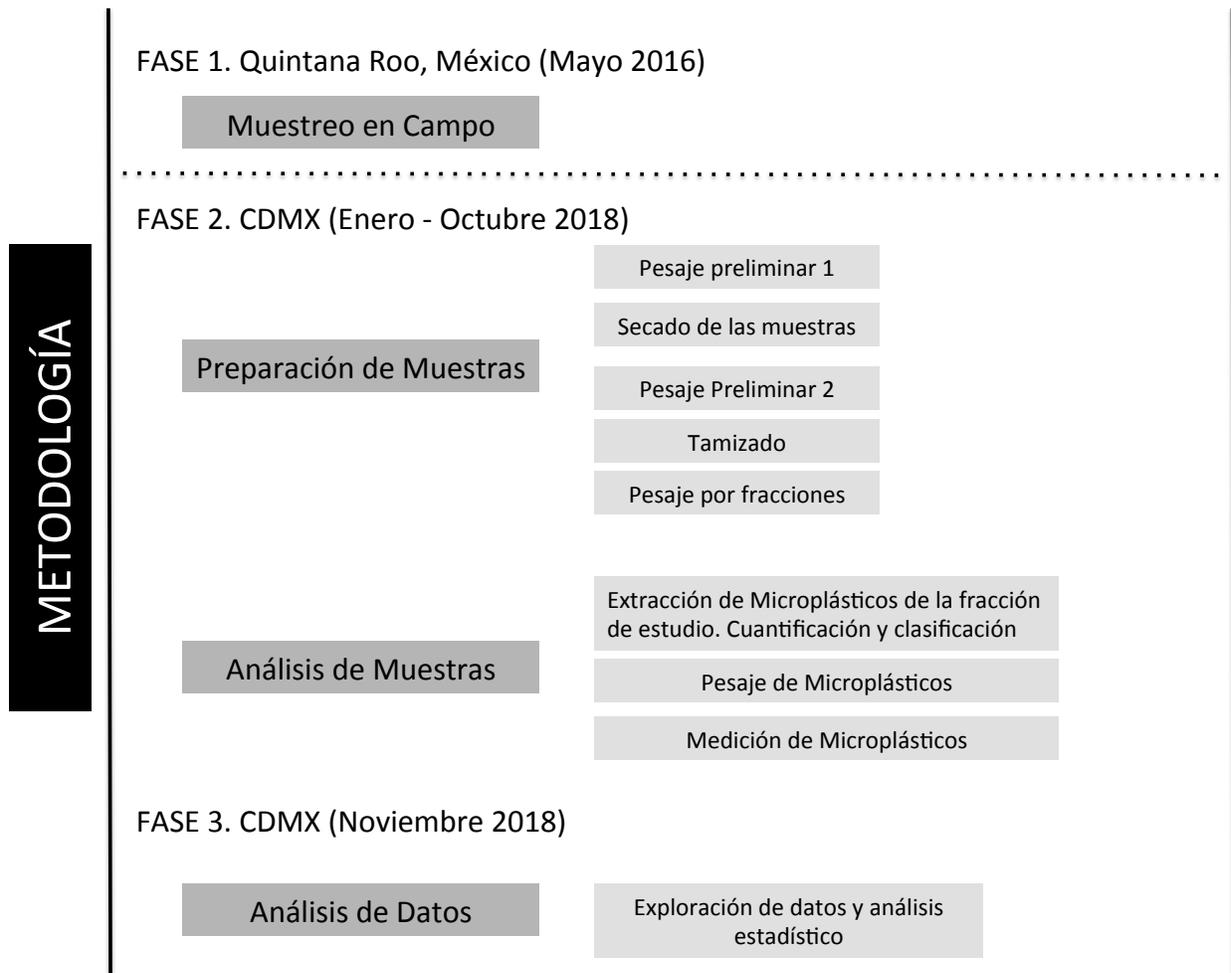


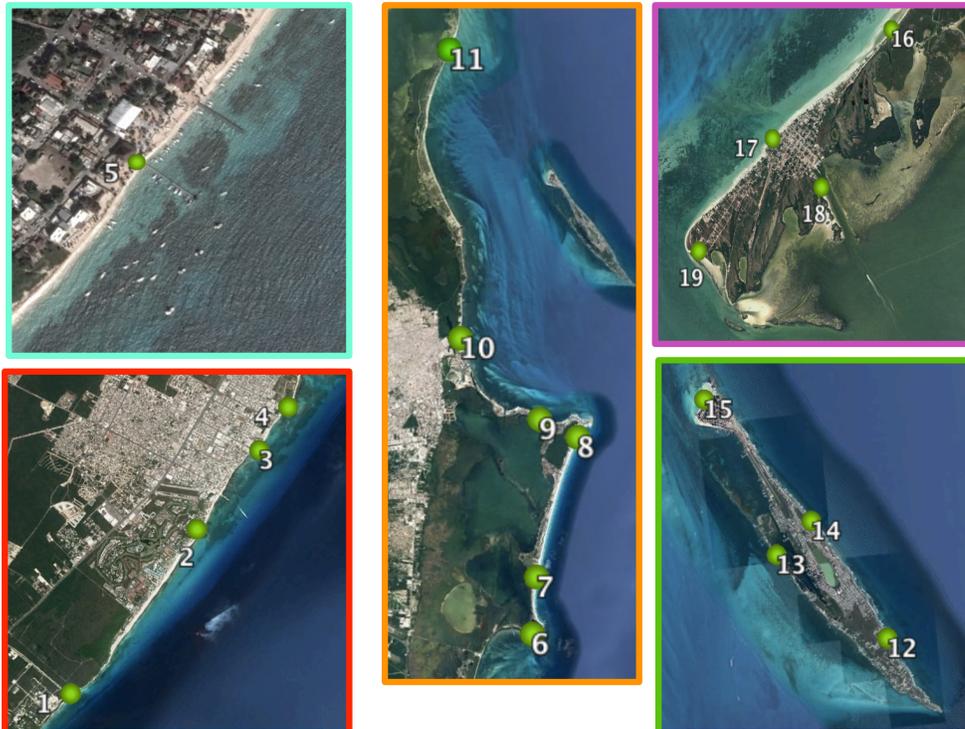
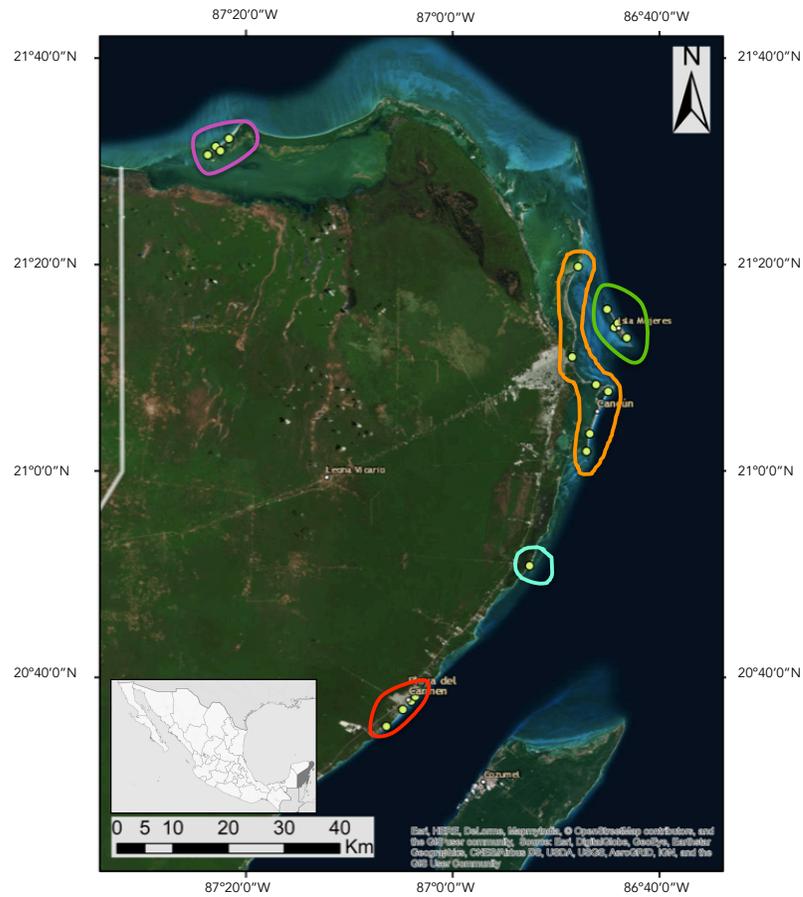
Figura 4.1 Esquema general de la metodología.

A continuación se describe el área de estudio y posteriormente se detalla cada parte de la metodología.

### 4.1 AREA DE ESTUDIO

#### 4.1.1 Ubicación del área de estudio

El trabajo se realizó sobre la línea de costa en la Zona Norte del Caribe Mexicano, que para este proyecto quedó delimitada entre las latitudes 20° 35.249' N y 21° 32.206' N y la longitudes 87° 23.705' O y 86° 44.006' O.



**Figura 4.2** Mapa del área de muestreo y localidades de muestreo. Las coordenadas exactas de las localidades de muestreo se pueden consultar en el Cuadro A1 en anexos. Las localidades están ordenadas (1-19) de sur a norte. Rojo: Playa del Carmen, Azul: Puerto Morelos Naranja: Cancún, Verde: Isla Mujeres, Magenta: Holbox

#### **4.1.2 Clima**

La zona se caracteriza físicamente por un clima Aw, tropical-subhúmedo con lluvias en verano e invierno, y con gran aporte de sedimentos fluviales (IG-UNAM, 2013; Wilkinson et al., 2009 ). La temperatura promedio es de 26°C, con máximas de 28.3°C. El Caribe Mexicano (CM) se caracteriza por la predominante presencia de vientos de componente Sur-Este, y vientos que vienen del norte en época invernal y se ubica en la zona de los vientos alisios del norte, los cuales en el CM tienen una velocidad promedio de 5 m/s (IG-UNAM, 2013; Merino & Otero, 1991).

Los periodos de lluvia son estacionales y ocurren tormentas tropicales y huracanes. La temporada de lluvias es en verano, de junio a octubre con máximas en septiembre de 104.2 mm/mes en promedio. (CONANP, 2016). La precipitación media varía entre 1,300 mm a 1,500 mm anualmente. La temporada de huracanes en el Caribe Mexicano es de junio a noviembre y la época de nortes que también se acompaña de lluvias abundantes y frentes fríos, va de noviembre a marzo, mientras que la época de secas es en abril y mayo (Rodríguez-Martínez et al., 2010).

#### **4.1.3 Características del Mar Caribe**

El Mar Caribe (MC) pertenece al Océano Atlántico en su región occidental y cuenta con una extensión de 2.8 millones de km<sup>2</sup>. Es un mar semi-cerrado donde el intercambio de masas de agua entre el MC y el Océano Atlántico central es limitado. Esta característica se debe a la fisiografía de la barrera topográfica que el Arco Antillano representa (CONABIO, 2007; CONANP, 2016).

La zona de trabajo se encuadra de la siguiente manera: en el ambiente marino, se localiza sobre la Ecorregión Marina Nivel II "Plataforma del Caribe Mesoamericano", la cual se caracteriza por una fisiografía de mares someros, con arrecifes de coral. En el ambiente costero se localiza en las ecorregiones terrestres nivel II "Planicie y Lomerios de la Península de Yucatán" y Planicie Noroccidental de la Península de Yucatán". Estas ecorregiones terrestres se caracterizan por las interacciones entre mar y tierra firme, y su biodiversidad asociada al pastizal, manglar y dunas costeras, donde también existen playas de anidación de tortugas marinas y vegetación asociada a la selva mediana subcaducifolia y subperenifolia, además de la selva baja caducifolia (CONABIO, 2012; SEMARNAT, 2013).

Asimismo, los puntos de muestreo se encuentran dentro de diversas Áreas Naturales Protegidas, como son la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano, las Áreas de Protección de Flora y Fauna Yum Balam y Manglares de Nichupté , y los Parques Nacionales: Isla Contoy, Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, y el Sitio RAMSAR Arrecife de Puerto Morelos (CONANP, 2016).

El Mar Caribe posee una topografía compleja. Tiene una plataforma continental reducida. La plataforma del Caribe Mexicano se caracteriza por 2 canales paralelos a la línea de costa: el Canal de Cozumel y el Canal de Yucatán. Otra de sus características es su angostura; a la altura de Cancún mide 20 km de ancho y tan solo 1 km a la altura de Sian Ka'an; asimismo, tiene una profundidad

mínima de 0 metros y máxima de 500 metros. En esta Plataforma suceden procesos de erosión y acreción de la línea de costa. En cuanto a su profundidad, el Caribe Mexicano tiene 7, 535 m en la fosa de las Caimán y sobrepasa los 3, 600 m en el 50% de su extensión (CONABIO, 2007; CONANP, 2016).

La corriente dominante del Mar Caribe es la Corriente del Caribe . Esta corriente circula de sur a norte, paralela a la línea de costa del estado de Quintana Roo. La corriente se forma por la unión de la Corriente Ecuatorial del Norte, la Corriente de Brasil y la Corriente de Guayanas, que penetran entre los estrechos de las Antillas Menores, donde se calienta. La temperatura superficial promedio del MC es de 25.5°C en invierno y de 28°C en verano (Wilkinson et al., 2009 ). En el estrato superficial de 0 a 50 metros de profundidad, los valores de oxígeno disuelto son de 4.6 mL/L, con un 35.91 g/L a 36.69 g/L de salinidad, y de <0.01mg/m<sup>3</sup> a 0.17 mg/m<sup>3</sup> de clorofila A (de la Lanza Espino, 2004). Las aguas del Mar Caribe abandonan la región por el Canal de Yucatán en dirección al Golfo de México y hacia la Florida.

La corriente del Caribe cambia de nombre al pasar por el Canal de Yucatán, y recibe el nombre de Corriente de Yucatán, la cual se conoce como una de las más dinámicas e intensas del planeta. La velocidad promedio de la Corriente de Yucatán es de 1.5 m/s, pero en los meses de abril a noviembre se incrementa la velocidad por encima de 2 m/s, mientras que en invierno posee una velocidad promedio de 0.9 m/s (CONABIO, 2007; CONANP, 2016).

En el Caribe mexicano se presenta una estratificación hidrológica relativa con bajo nivel de nutrientes y alta salinidad superficial. No hay ríos ni surgencias que aporten nutrientes a la parte superior del mar (CONANP, 2016) pero se registran incrementos de nutrientes muy puntuales en el borde continental o a profundidades de 200 m (de la Lanza Espino, 2004) y al pasar por el canal de Yucatán, donde ocurre una surgencia debido a la dinámica de circulación y profundidad (CONABIO, 2007). Las aguas costeras en el Caribe Mexicano son oligotróficas, verticalmente estables y de elevada transparencia (Merino & Otero, 1991). La marea en el CM se caracteriza por ser de tipo mixto semidiurno de baja amplitud (CONANP, 2016), es decir, cada día ocurren dos bajamares y dos pleamares con una marcada diferencia de altura. No obstante, de acuerdo a las tablas de marea del CICESE la diferencia de altura de las mareas es de 30 cm (CICESE, 2016).

## **4.2 FASE 1**

### **4.2.1 Muestreo y subzonificación.**

La recolección de muestras se realizó del 17 al 23 de mayo del 2016 en las playas de Quintana Roo, México, como parte del Proyecto “Estudio de los Microplásticos Marinos y sus efectos en Invertebrados Marinos” del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos, dirigido por la Dra Vivianne Solís Weiss, perteneciente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UASA, UNAM.

El muestreo realizado fue por conveniencia, sobre todo ligado a la posibilidad de acceso a los sitios de muestreo. Se establecieron 19 localidades de muestreo sobre la línea de costa en la Zona Norte del Caribe Mexicano, iniciando al sur de Playa del Carmen y terminando en Holbox, en la frontera de la mezcla de aguas del Caribe y Golfo de México, que tradicionalmente se considera aún como parte del Caribe. que para este proyecto quedó delimitado entre la latitud 20° 35.249' N y 21° 32.206'N y la longitud 87° 23.705' O y 86° 44.006' O (Figura 4.2).

Las localidades de estudio se distribuyen a lo largo de cinco zonas principales: Playa del Carmen, Puerto Morelos, Cancún, Isla Mujeres y Holbox. Las localidades se agrupan de acuerdo a estas cinco subzonas de estudio para su análisis. A continuación se describe brevemente la caracterización de cada localidad por subzona

**Cuadro 4.1** Subzonas y localidades de muestreo.

Subzona	Localidad	Nombre de la Localidad de Muestreo
Playa del Carmen	1	Colegio Tepeyac
	2	Playacar
	3	Hotel Nuevo Porto
	4	Club de Playa Caníbal
Puerto Morelos	5	Puerto Morelos
Cancún	6	Club Med
	7	Playa Delfines
	8	Playa Chaac Mool
	9	Playa Tortugas
	10	Puerto Juárez
	11	Playa Blanca
Isla Mujeres	12	Sur
	13	Centro Oeste
	14	Centro Este
	15	Norte
Holbox	16	Este
	17	Centro Ciudad
	18	Puerto
	19	Oeste

## Playa del Carmen

La subzona Playa del Carmen se compone de cuatro localidades, Colegio Tepeyac, Playacar, Hotel Nuevo Porto y Playa Caníbal (ordenadas de sur a norte).

1. Colegio Tepeyac  
Playa en una bahía mediana y semicerrada. Aunque está protegida por la forma de la bahía, el oleaje es fuerte. Con muy poco sargazo y restos de vegetación. La pendiente de la playa presentaba un escalón a la altura de la línea de alta marea. Se podían ver afloraciones rocosas al sur.
2. Playacar  
Playa rectilínea de fuerte oleaje, orientada N-S. Es una zona residencial de alto nivel y no se observa basura en la playa, ni orgánica ni inorgánica. Hay pocas afloraciones rocosas.
3. Hotel Nuevo Porto  
Playa artificial con base rocosa que se encuentra al lado de un muelle grande de cemento, por lo que está un poco protegida. No se observa basura, pero el agua tiene una coloración un poco café. Oleaje débil
4. Playa Caníbal  
Playa rectilínea. No se observa basura en la playa pero se puede percibir que existen descargas de drenaje a la zona por el olor a heces fecales y la suciedad del agua. Oleaje débil.

## Puerto Morelos

La subzona de Puerto Morelos está representada solo por una localidad. El muestreo se hizo en la playa que está frente al restaurante Pelícanos, en el Centro de Puerto Morelos. Se trata de una playa muy concurrida. Es una playa rectilínea con orientación Norte-Sur, y con oleaje débil, protegida de la corriente y oleaje por la barrera arrecifal, que en ese lugar se encuentra a escasos 400 metros de la playa. Se observaron muchos restos vegetales de sargazo y fanerógamas, además de mucha basura plástica en el agua.

## Cancún

La subzona de Cancún se compone de seis localidades: Club Med, Playa Delfines, Playa Chac Mool, Playa Tortugas, Puerto Juárez y Playa Blanca (ordenadas de sur a norte).

1. Club Med  
Playa con pendiente poco pronunciada. El oleaje es débil. Se observa evidencia de limpieza por tractores. Hay restos orgánicos vegetales en la línea de alta marea.
2. Playa Delfines  
Playa con pendiente poco pronunciada, rectilínea, orientada de Norte a Sur. No se observa basura antropogénica aunque es una playa turística pública muy frecuentada

y por ello con limpieza organizada a diario de manera intensiva. Expuesta a oleaje fuerte perpendicular a la playa y con muy pocos restos de vegetación marina playada.

### 3. Playa Chac Mool

Playa rectilínea, orientada de Norte a Sur con oleaje fuerte que llega perpendicular a la playa. El espacio que ocupa la playa es amplio. Hay un escalón en la línea de alta marea.

### 4. Playa Tortugas

Playa orientada de Este a Oeste y por ende muy protegida de corriente y oleaje, con oleaje muy débil. El espacio que ocupa la playa está ocupado por un restaurante con mesas casi hasta donde llega el agua y mucha afluencia humana en este tipo de balneario. Además se observaron algas indicadoras de descarga de agua dulce al mar.

### 5. Puerto Juárez

También protegido de fuertes corrientes y oleaje por ser el lugar donde zarpan los ferrys con destino a Isla Mujeres, el sitio de muestreo, se ubicó a escasos metros al norte del embarcadero, por lo que está aun más protegido. No existe playa arenosa, sino acumulaciones ya fuertemente compactadas de restos vegetales que forman como una plataforma de casi un metro de alto contra la cual se estrellan las pequeñas olas y mucha basura plástica fragmentada de diversos tamaños. El oleaje es débil.

### 6. Playa Blanca

Playa rectilínea, orientada de Norte a Sur con pendiente poco pronunciada. El oleaje es fuerte debido a su exposición hacia el este y su posición como todas las playas así orientadas sin protección al embate de la corriente de Yucatán y a los vientos del este, norte y sureste que dominan la zona de estudio. Hay un club de playa con mesas casi hasta la línea de marea.

## Isla Mujeres

La subzona de Isla Mujeres se compone de cuatro localidades, Sur, Centro Este, Centro Oeste y Norte.

### 1. Sur

Playa angosta con afloración de rocas de gran tamaño y afiladas. Expuesta a oleaje muy fuerte. Se podían observar desechos plásticos y orgánicos acumulados entre las rocas

### 2. Centro Oeste

Playa despoblada y de difícil acceso. El oleaje es moderado La pendiente es pronunciada y hay algunas afloraciones rocosas. La basura orgánica visible era muy escasa.

### 3. Centro Este

Playa de poca anchura, con parches de arena y rodeada de afloraciones rocosas afiladas. Corriente y oleaje muy fuerte. Se podía observar basura acumulada en la playa, sobre todo entre las afloraciones rocosas.

4. Norte

Playa muy turística y concurrida, orientada Este-Oeste, por lo que está bastante protegida del embate de las olas y fuerza de la corriente de Yucatán. Su pendiente es casi nula, y el oleaje es débil. No se observó basura inorgánica ni orgánica, presumiblemente porque su carácter de playa muy concurrida por los turistas, obliga a tenerla muy limpia de basura macroplástica.

### Holbox

La subzona de Holbox se compone de cuatro localidades, Sur, Centro Este, Centro Oeste y Norte. Hay que notar que la península de Holbox está ya dentro del Golfo de México, ya en cierta manera al abrigo de la corriente de Yucatán y que está mayormente orientada este-oeste, contrariamente a las otras zonas de Caribe aquí estudiadas donde la mayoría se orientan de norte a Sur.

1. Centro ciudad

Playa rectilínea con orientación aproximada de este a oeste, con muy poca pendiente. Oleaje casi inexistente. Es la playa más turística de Holbox. Se podía observar tanto basura orgánica como desechos de origen antropogénico de todo tipo, aunque en cantidades reducidas, probablemente la acumulación correspondiente a ese día.

2. Puerto.

Playa angosta con muy poco oleaje, colocada al oeste del sitio donde atracan las lanchas que pasan de Chiquilá en el continente a la isla y también fuera del canal de navegación de las mismas. La pendiente es poco pronunciada y el manglar llega casi hasta la playa. Se observa basura orgánica (algas y de manglar) abundante. Hay abundantes pastos marinos también. La basura inorgánica es muy abundante, hay muchas botellas PET abandonadas.

3. Norte.

Playa rectilínea de orientación Este-Oeste, con muy poca pendiente. El oleaje es casi inexistente. Despoblada y con muy poca basura, tanto orgánica como inorgánica.

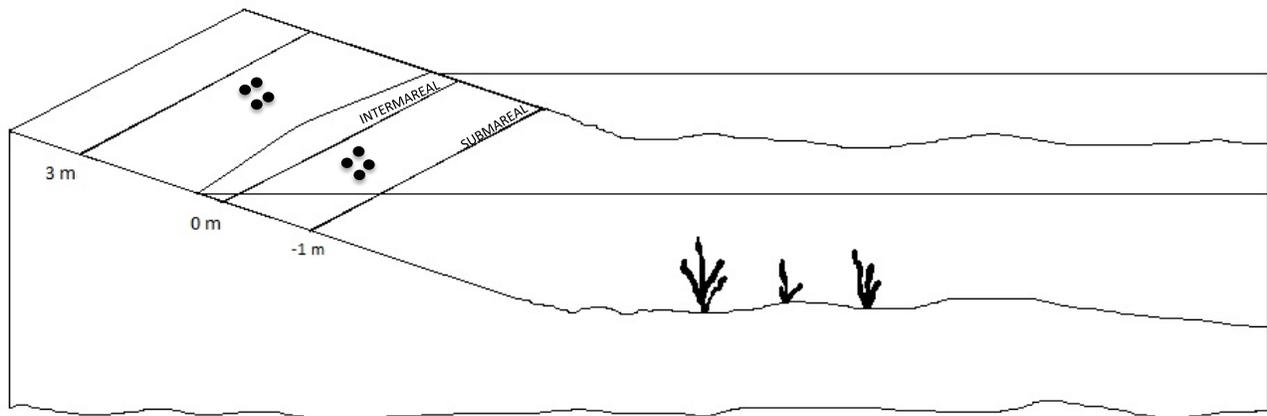
4. Oeste.

Playa que se encuentra en una bahía de curvatura poco cerrada y pendiente casi nula, con orientación norte sur, pero muy protegida y con corriente muy débil y oleaje casi inexistente. Está despoblada y la basura inorgánica en la playa es muy escasa. La vegetación está de tres a cinco metros de distancia de la línea de alta marea. Muy poca basura orgánica y se pueden ver algunos restos de pastos marinos.

En cada localidad se determinaron dos puntos de muestreo, uno en intermareal y uno en submareal. En cada punto de muestreo se tomaron cuatro réplicas con un nucleador de PVC

de 11 cm de diámetro por 7 cm de altura. Cada muestra-réplica consistió en un aproximado de 500 g.

En el caso del submareal, la profundidad de muestreo varía entre los 40 cm y los 90 cm debido a las particularidades de cada localidad. Solo en caso de adversidad debido al terreno o condiciones de marea y corrientes fuertes, se obtuvo una cantidad menor de sedimento.



**Figura 4.3** Representación esquemática de puntos de muestreo y réplicas.

El sedimento recolectado se fijó con alcohol al 70%, en bolsas plásticas reforzadas debidamente etiquetadas y selladas, que a su vez se almacenaron en cubetas de 20 L y fueron mantenidas a temperatura ambiente hasta su transporte a la Ciudad de México para su posterior análisis.

## **4.3 FASE 2**

### **4.3.1 Pesaje de la muestra en húmedo**

Las muestras se pesaron en cada fase del proceso para mantener un registro meticuloso de la muestra, con el fin de poder analizar el peso de los microplásticos.

Primero, cada muestra se homogeneizó en la bolsa con ayuda de una palita de madera, luego, de cada muestra de sedimento se tomó un volumen de 250 mL en vasos de precipitado y se vació el sedimento en charolas de aluminio de peso conocido para ser pesado. El primer pesaje fue de la muestra en húmedo con una balanza digital Scout Pro OHAUS con precisión de 0.01.

### **4.3.2 Secado de las muestras**

Una vez realizado el pesaje preliminar, las muestras se secaron en hornos eléctricos para poder manejar el sedimento en seco. El sedimento colocado en charolas de aluminio se dejó secar por un lapso de 24 hasta 96 horas, en función de la humedad particular de cada muestra. La temperatura de secado fue de 30°C a 45°C.

Con el fin de que la humedad fuese eliminada de la muestra con mayor facilidad, las muestras que presentaron una mayor cohesión de sedimento, mayor cantidad de materia orgánica o contenido de humedad, fueron homogeneizadas con ayuda de un palito de madera cada 24 horas una vez iniciado el secado, hasta que estuviesen completamente secas.

### **4.3.3 Pesaje de la muestra en seco**

Las muestras se pesaron en seco con ayuda de una balanza digital Scout Pro OHAUS.

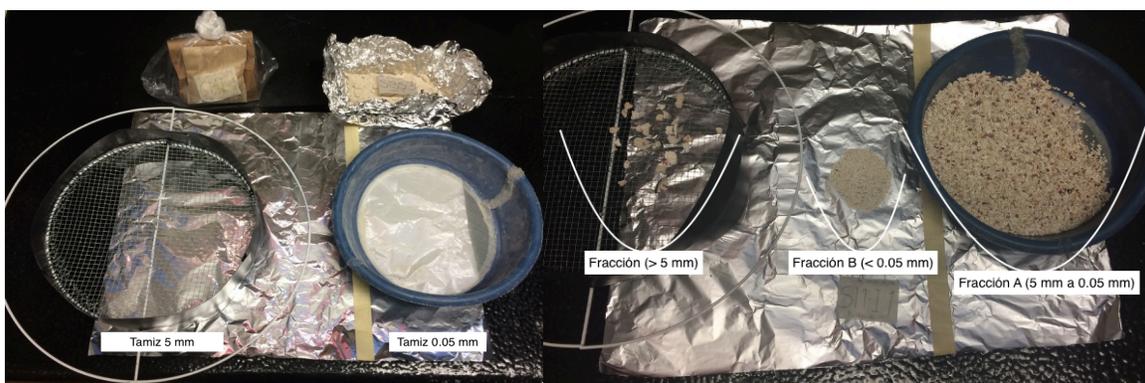
En algunos casos, debido a la humedad, las charolas de aluminio en que se colocaron inicialmente las muestras se vieron corroídas, por lo que se les reforzó con una segunda charola (igualmente de aluminio y peso conocido) para ser pesadas y evitar pérdida del sedimento.

Una vez pesadas, las muestras se mantuvieron en sus charolas, se colocaron dentro de bolsas de plástico y se almacenaron en cajas de cartón a temperatura ambiente.

### **4.3.4 Separación por tamaño de grano**

Las muestras se separaron en dos fracciones por medio de tamices, uno con abertura de malla de 5 mm y otro con abertura de malla de 0.05 mm (500 µm). Se nombró fracción A al sedimento de 5 mm a 0.05 mm y fracción B al sedimento de <0.05 mm (Figura 4.4). Todo el sedimento de tamaño superior a 5 mm fue descartado, para ser congruentes con la clasificación de MP de la MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter (2013).

El tiempo de tamizado varió en cada muestra debido a las características del sedimento de las diferentes localidades de muestreo. El tiempo reglamentario mínimo con cada tamiz fue de 1 minuto y solo en caso de que la totalidad de la muestra pasara a través del tamiz se redujo el tiempo.



**Figura 4.4.** Tamices y fracciones de sedimento.

Las fracciones A y B se almacenaron por separado en bolsas de papel estraza de peso conocido. Para facilitar el vaciado de la muestra a su correspondiente bolsa se utilizó un embudo de papel.

#### **4.3.5 Pesaje de la fracción de estudio**

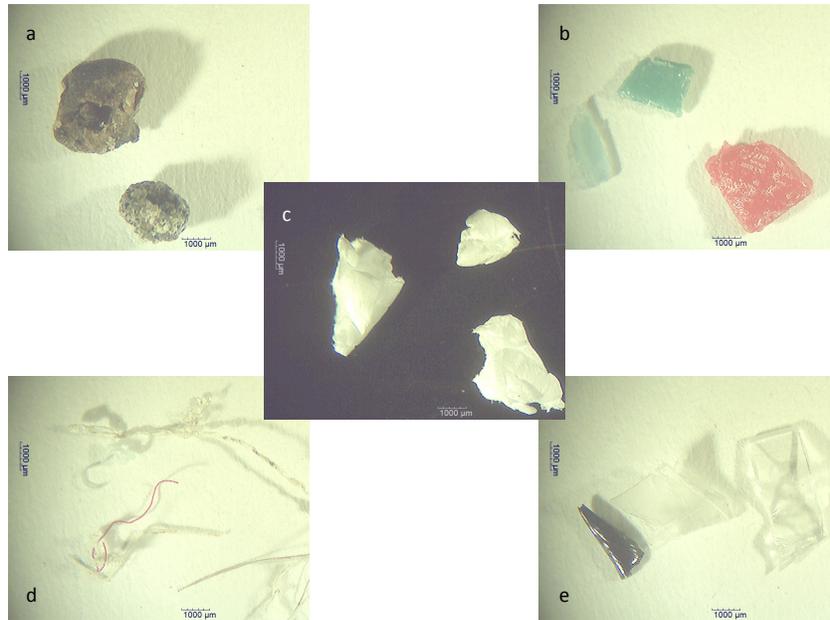
Se pesó por separado la fracción A y la fracción B de cada muestra con ayuda de una balanza analítica Explorer Pro OHAUS. En la presente investigación solo se trabajó con la fracción A (5 mm a 0.05 mm).

#### **4.3.6 Extracción de MP de la fracción A . Cuantificación y clasificación**

Se analizó visualmente la fracción A (5 mm a 0.05 mm) con ayuda de un microscopio estereoscópico Reichert Stereo Star 569.

La clasificación morfológica consistió en diferenciarlos en (Figura 4.5) (Alomar 2016).

- Fragmentos: Piezas con forma de polígonos regulares o irregulares.
- Esferas: Piezas esferoidales, semiesféricas y/o tipo pellet.
- Espuma: Piezas compresibles o acojinadas no compuestas de fibras.
- Fibras: Piezas tipo filamento.
- Películas: Piezas delgadas tipo lámina (Films), ya sean flexibles o rígidas



**Figura 4.5** Clasificación Morfológica de los MP. a: esferas, b: fragmentos, c: espuma, d: fibras, e: películas.

Las partículas de microplástico recobradas se cuantificaron, clasificaron y almacenaron en frascos de cristal de 5 mL (Figura 4.6). En algunos casos las partículas o fibras se fragmentaron al tratar de ser recobradas. En esos casos se contabilizó como "1" partícula o fibra antes de ser almacenada, aunque se encontrara en varios pedazos posteriormente.



**Figura 4.6** Extracción de MP y almacenaje.

En otros casos, las fibras o partículas no eran recobrables debido a su fragilidad o dimensiones, en estos casos se contabilizaron, pero no fue posible separarlas para pesarlas o medirlas.

Adicionalmente, se encontró vidrio en cantidades importantes en varias de las muestras. En este caso, los fragmentos de vidrio se cuantificaron y almacenaron también en frascos de vidrio de 5 mL. No fue necesaria una clasificación más detallada para las partículas de este material que se encontraron en la muestra.

### 4.3.7 Pesaje de Microplásticos

Las partículas y fibras de microplástico se pesaron con ayuda de una balanza analítica Explorer Pro OHAUS (Figura 4.8). Asimismo, se pesaron los fragmentos de vidrio.

Se pesaron en conjunto las piezas de microplástico recobrados en cada réplica y se realizó una sumatoria por localidad de muestreo.

En el caso de las fibras, muchas veces su peso era menor a 0.001 g, peso mínimo que registraba la balanza utilizada, aún pesando al mismo tiempo todas las fibras recobradas en la localidad. Para evitar un valor técnico de cero en estos casos, se hizo un submuestreo de fibras en todas las muestras de estudio, recuperando un total de 76, lo que corresponde a 4 fibras por cada sitio de muestreo, 2 de intermareal y 2 de submareal. Se obtuvo un promedio del peso de las fibras (0.000039 g) y este valor se asignó unitariamente en aquellos casos donde la balanza no era capaz de percibir el peso de las fibras recobradas.

### 4.3.8 Medición de Microplásticos

El diámetro mayor de las partículas o la longitud de las fibras de microplástico se midieron con ayuda de un microscopio OLYMPUS SZ40 y el programa Motic Images Plus 2.0. Con este programa se fotografió el MP encontrado en cada muestra y se realizó la medición digitalmente (Figura 4.7).



Figura 4.7 Equipo computarizado para la medición de MP

### **4.4 Fase 3.**

#### **4.4.1 Análisis de datos**

Para evaluar los microplásticos presentes en el Sedimento Costero de la zona norte del Caribe Mexicano, se obtuvo la abundancia, tanto absoluta como porcentual, de cada tipo de microplástico encontrado en la ZNCM así como el porcentaje de cada tipo de partículas de microplásticos de cada color registrado y las dimensiones mayor, menor y promedio del eje mayor de cada tipo de microplástico recuperado.

Se obtuvo el peso correspondiente a las partículas de microplástico, así como el peso relativo del microplástico con respecto al sedimento. Además, se hizo una extrapolación de la cantidad de partículas que se esperaba encontrar si se analizara 1 kg de sedimento en las playas de estudio.

Se realizó una prueba MANOVA para conocer si existe una diferencia significativa del contenido de microplásticos en sedimentos entre intermareal y submareal. Como análisis post-hoc se realizó una prueba de Tukey HSD ( $\alpha = 0.05$ ). Los datos se analizaron con ayuda del programa Statistica™ V6.

El alcance de este estudio no contempla determinar el origen, ruta de transporte del MP observado ni el tipo de plástico al que pertenecen las partículas recuperadas.

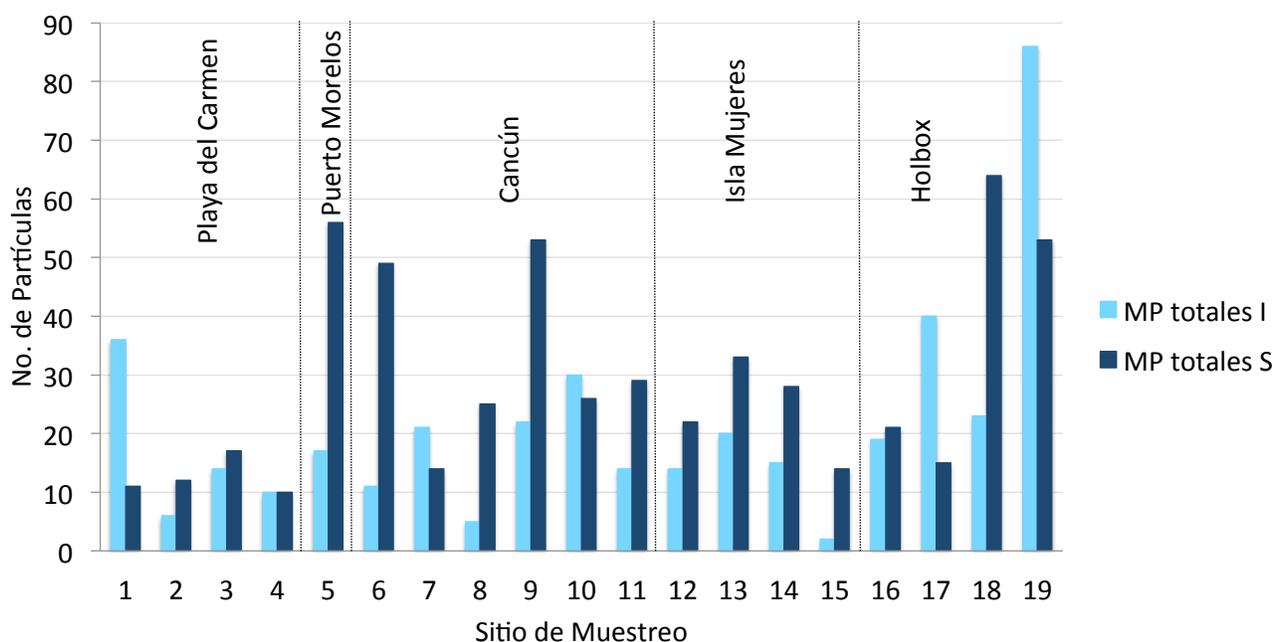
## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los datos obtenidos del análisis de las muestras. En toda la zona muestreada se encontraron microplásticos, tanto en la zona submareal como en la intermareal. Para este análisis, los microplásticos se clasificaron en fragmentos, esferas, espumas, fibras y películas, de acuerdo con la metodología de Alomar (2016). En general, las fibras y esferas son microplásticos primarios y los fragmentos y películas microplásticos secundarios. No se encontró ningún MP tipo espuma por lo que no aparece en ningún análisis.

Para facilitar la visualización de las diferentes subzonas del área de estudio, estas se dividieron en cinco: Playa del Carmen, Puerto Morelos, Cancún, Isla Mujeres y Holbox

### 5.1 Análisis diferencial de MP en los niveles submareal e intermareal

La abundancia de microplásticos encontrados en las zonas submareal e intermareal se observan de la siguiente manera: en los sitios 1 (Playa del Carmen, Colegio Tepeyac) y 19 (Holbox W) se obtuvo la mayor abundancia de microplásticos en el intermareal, pero, si se suman todos los sitios, la mayor abundancia de microplásticos se observó en el submareal (Figura 5.1).



**Figura 5.1** Comparación de la abundancia de microplásticos en las zonas submareal e intermareal por sitio de muestreo y subzona. I: intermareal. S: submareal

Las fibras en la zona intermareal presentan picos de abundancia en la localidad 1 (Playa del Carmen: Colegio Tepeyac) y 19 (Holbox W) pero por lo general su presencia es regular y relativamente baja, mientras que en la zona submareal su abundancia no sigue ningún patrón de distribución y resultó mayor que en el submareal, con especial representatividad en las localidades 5 (Puerto Morelos), 6 (Cancún: Club Med) y 9 (Cancún: Playa Tortugas) (Figura 5.2).

Los fragmentos están homogéneamente representados en el intermareal y submareal en los puntos de mayor representatividad, que son la localidad 10 (Cancún: Puerto Juárez) y 16 a 19 (Holbox: E, W, Centro Ciudad y Puerto). Las esferas tienen muy poca presencia a lo largo de las localidades de estudio; su punto más representativo es la localidad 18 (Holbox: Puerto) en el submareal. Por último, las películas presentan mayor abundancia en las localidades 16 a 19 (Holbox E, W, Centro Ciudad y Puerto) principalmente en el submareal (Figura 5.2).

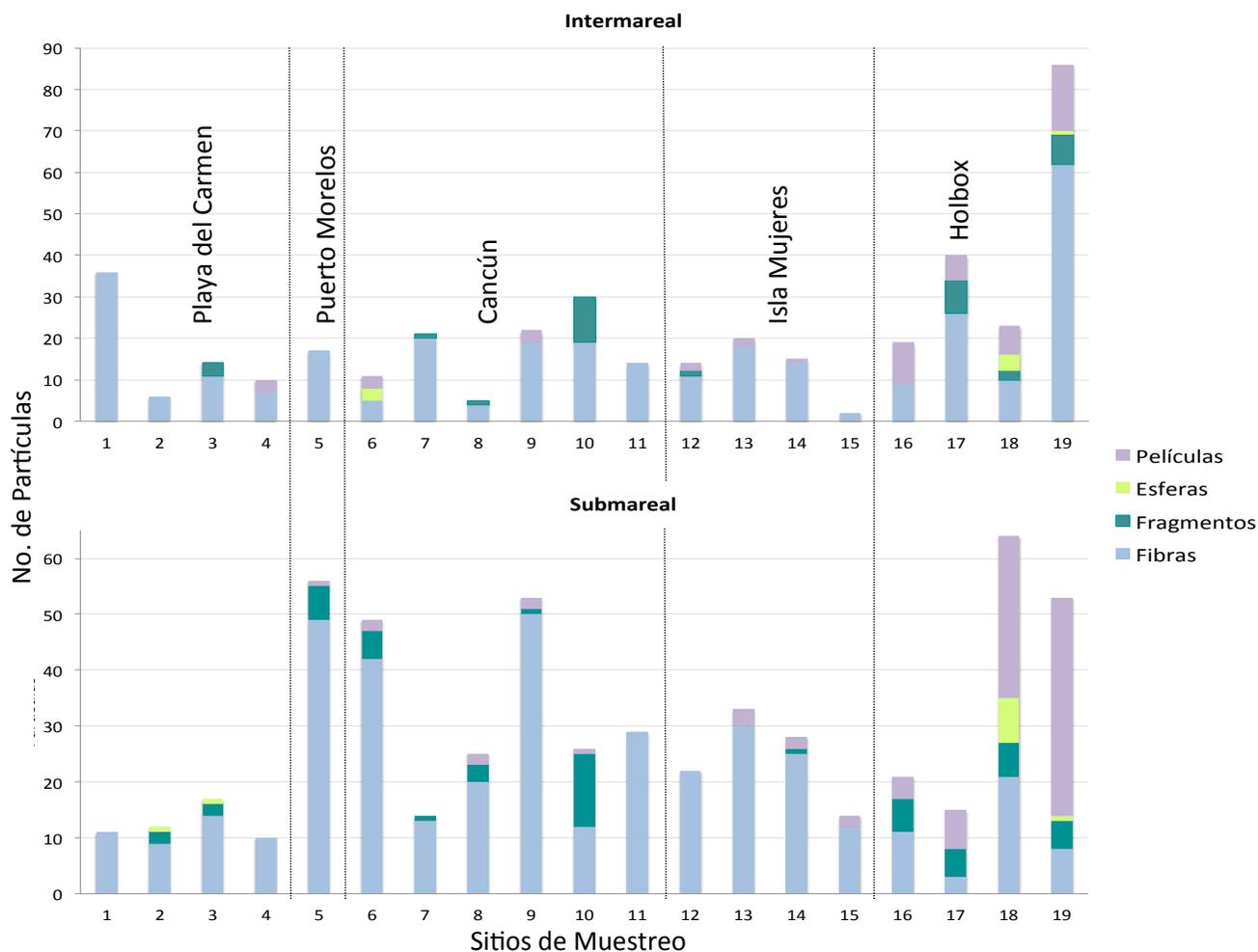


Figura 5.2 Abundancia observada de cada tipo de Microplástico por zona de la playa en cada sitio de muestreo y subzona.

Con la posible excepción de los sitios 16, 17, 18 y 19, no se observan diferencias sustanciales en la distribución de los MP. Los resultados estadísticos (MANOVA,  $F_{(7,126)} = 0.186$ ,  $p < 0.05$ ) indican que no existe una diferencia significativa entre los MP encontrados en el intermareal, y en el submareal, ya sea en términos de tipo de MP, abundancia de partículas o peso neto. Sin embargo, sí existe una diferencia significativa para los mismos parámetros entre las localidades de estudio (MANOVA,  $F_{(126,837)} = 0.0$ ,  $p < 0.05$ ).

## 5.2 Caracterización de los microplásticos de acuerdo a su peso, la clasificación morfológica, color, dimensiones, y abundancia.

### 5.2.1 Peso

Como se mencionó en la metodología, cada muestra recogida *in situ* tenía un volumen de 250 mL. Mediante el tratamiento previo al análisis, se eliminó la humedad de la muestra y la materia orgánica visible. Con esto, se obtuvo un volumen efectivo variable de arena que fue analizado en cada localidad. En el cuadro 5.3 se muestra un resumen global (es decir, sin distinguir entre las zonas submareal e intermareal) de lo observado de acuerdo con la composición de las muestras en términos del sedimento secado al horno y antes de tamizar, es decir incluyendo la arena y partículas de MP. En color verde se resaltan los valores más bajos, y en rojo los más altos.

**Cuadro 5.1** Resumen de la composición de las muestras: arena y microplásticos.

Sitio de Muestreo	Localidad	Arena Total (g)	Arena Fracción A (g)	MP (g)	Partículas MP	# $\frac{\#}{kg\ ss}$
1	Playa del Carmen. Colegio Tepeyac	2648.8	127.5	0.002	47	17.7±2.38
2	Playa del Carmen. Playacar	2527.5	77.4	0.009	18	7.1±0.59
3	Playa del Carmen. Hotel Nuevo Porto	2489.4	66.9	0.009	31	12.5±1.35
4	Playa del Carmen. Club de Playa Canibal	2572	23.9	0.003	20	7.8±0.97
5	Cancún. Puerto Morelos	1911.7	81.4	0.010	73	38.2±4.74
6	Cancún. Club Med	2837.5	929.9	0.026	60	21.1±3.38
7	Cancún. Playa Delfines	2677.9	206.5	0.003	35	13.1±1.35
8	Cancún. Playa Chaac Mool	2394.6	250.9	0.020	30	12.5±2.02
9	Cancún. Playa Tortugas	2812.3	51.7	0.017	75	26.7±2.07
10	Cancún. Puerto Juárez	2411.9	91.3	0.093	56	23.2±1.21
11	Cancún. Playa Blanca	2976	20.2	0.005	43	14.4±3.04
12	Isla Mujeres S	2292.2	386.5	0.008	36	15.7±1.07
13	Isla Mujeres Centro W	2076.9	393.5	0.004	53	25.5±3.12
14	Isla Mujeres Centro E	2779	613.8	0.005	43	15.5±1.87
15	Isla Mujeres N	2579.5	5.6	0.002	16	6.2±0.90

16	Holbox E	2319.1	144.5	0.028	40	17.2±1.80
17	Holbox Centro Ciudad	2126.3	616.9	0.037	55	25.9±2.40
18	Holbox Puerto	2306.8	228.0	0.024	87	37.7±4.31
19	Holbox W	1117.6	464.3	0.046	139	124.4±6.36

$\frac{\#}{kg\ ss}$  : piezas de MP por kilogramo de sedimento seco

En el cuadro anterior, la tercera columna muestra la suma del peso de todo el sedimento recolectado para cada sitio de muestreo, en seco y sin tamizar, mientras que la cuarta columna muestra el peso correspondiente a la fracción de análisis (Fracción A: 5 mm a 0.05 mm) ya tamizada.

La quinta columna muestra el peso en gramos del MP encontrado en cada sitio mientras que la sexta columna muestra cuantas partículas de MP se estima que existen por cada kilo de sedimento en seco en las playas de la zona de estudio de acuerdo con lo observado en este estudio.

En Abundancia, en Holbox W se observa el valor más alto, mientras que el más bajo se presenta en Isla Mujeres N. Al contrastar con el peso de los MP, observamos que el peso más alto se observa en Puerto Juárez, mientras que el más bajo en Isla Mujeres Norte y Colegio Tepeyac (Playa del Carmen) (Cuadro 5.1).

Asimismo, en el cuadro 5.1 se observa que entre el peso más bajo registrado (Playa del Carmen, Colegio Tepeyac 0.002 g ) y el más alto (0.093) hay casi dos órdenes de magnitud de diferencia. Sin embargo entre el número mayor de partículas y el menor, (139 y 16) la diferencia es menos de un orden de magnitud (8.68). En general los pesos no conservan proporcionalidad con la abundancia de partículas.

Por lo anterior, todo indica que considerar el peso como un indicador, llevaría a conclusiones erróneas. Por ejemplo, los fragmentos son relativamente pesados, mientras que las fibras son muy ligeras, por lo que el peso no da más que una idea aproximada poco confiable, sesgando los resultados hacia las zonas que tuvieran más MP pesados y no los sitios más contaminados por MP. Además los fragmentos son MP secundarios que se presentan una vez que su macroplástico de origen se fragmentó, mientras que las fibras son MP primarios que se depositaron directamente. Es decir, el origen y la abundancia dan más certeza en el análisis de efectos de contaminación del sitio por MP que el peso. Si se considerara el peso, se le daría mayor importancia a los fragmentos y esferas, en comparación con las fibras y las películas que quedarían muy por debajo, restándoles valor, siendo que las fibras son las más abundantes y quizás mejores indicadores. Contar cada partícula de MP es lo que resulta más confiable.

El peso del material recolectado no nos aporta información fidedigna sobre el estado de contaminación de los sitios analizados, aunque ciertas fuentes de información (Carson et al., 2011) los tomaron como base de su estudio sobre el tema. En cambio, el conteo directo del material, por ejemplo las fibras (que son las más ligeras) nos dan una muy buena apreciación del estado de contaminación de las playas.

### 5.2.2 Color

En el cuadro 5.2 se muestran los porcentajes de cada tipo de partícula de Microplástico de cada color encontrado en la ZNCM. El color más abundante en fragmentos y esferas fue el negro, mientras que para fibras y películas fue un tono amarillo translúcido.

**Cuadro 5.2** Abundancia y Porcentaje de cada tipo de partículas de microplásticos de cada color registrado en la zona de estudio.

Tipo de MP		Transparente	Amarillo Translúcido	Azul	Rojo	Blanco	Amarillo	Negro	Gris	Verde	Rosa	Café	Naranja	Morado	Total
Fibras	Total	72	370	19	20	108	9	37	15	40	1	5	0	5	701
	%	10.3	52.8	2.7	2.9	15.4	1.3	5.3	2.1	5.7	0.1	0.7	0.0	0.7	100
Fragmentos	Total	3	5	17	1	12	2	42	1	2	2	2	1	0	90
	%	3.3	5.6	18.9	1.1	13.3	2.2	46.7	1.1	2.2	2.2	2.2	1.1	0.0	100
Películas	Total	32	58	2	0	27	3	11	1	0	0	12	1	0	147
	%	21.8	39.5	1.4	0.0	18.4	2.0	7.5	0.7	0.0	0.0	8.2	0.7	0	100
Esferas	Total	0	0	2	0	0	1	15	1	0	0	0	0	0	19
	%	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	5.3	78.9	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100

En cuanto a los fragmentos, el color negro constituye casi el 50% del total registrado y en las esferas, casi el 80% es negro, considerando que el total en este caso es muy bajo (19 partículas, de las cuales 15 fueron negras).

Es probable que el color amarillo translúcido fuera originalmente transparente, y que el MP adquiriera el tono amarillento por su exposición a la intemperie. Si se considera de este modo, agregando las dos categorías como transparentes de origen, los MP tipo fibra y película transparentes serían los más abundantes, con un 60% aproximadamente cada uno.

El color de los MP tiene un impacto en su disponibilidad a ser ingerido, debido a que un organismo puede confundirlo con su alimento (*prey ítem resemblance*), esto es, confundir MP con coloraciones opacas (y no translúcidas) de la gama amarillo, blanco y arena, con zooplankton (Carpenter et al., 1972; Wright et al., 2013).

La coloración de los MP encontrados en la ZNCM es relevante en términos de riesgo ecológico debido a que es probable que los organismos pudiesen estar ingiriendo MP por error al confundirlo con su alimento. Es necesario realizar estudios que aporten información al respecto.

### 5.2.3 Dimensiones

En el cuadro 5.3 se hace un resumen de las medidas de longitud de los MP encontrados en la ZNCM. Hay que recordar que el intervalo de sedimento estudiado está entre los 0.05 mm y 5 mm (500  $\mu$ m a 5,000  $\mu$ m).

Se puede observar que para cada tipo de MP, se recobraron partículas que tienen un eje con longitudes inferiores a 0.05 mm o superiores a 5 mm. Dado que la fracción de sedimento fue correctamente tamizada, se considera que el desacotamiento de las medidas está dado por la morfología o características volumétricas del MP.

Por ejemplo, las fibras pueden ser de diámetro muy inferior al de la malla del tamiz pero a la vez son de longitud variable y flexibles. Por eso, podrían estar superestimadas con respecto a los otros tipos de MP y subestimadas con respecto al total (puesto que no se consideran aquí las fracciones que pasaron a través del tamiz de malla de 0.05 mm).

Recuperamos fibras de hasta 24.4 mm de longitud, mientras que las más pequeñas fueron de 0.16 mm. En el caso de los fragmentos, los de longitud cercana o igual a 16.9 mm que lograron pasar el tamiz de 5 mm, o las películas (de longitud cercana o igual a 13.9 mm) fue porque eran mucho más largos que anchos.

**Cuadro 5.3** Dimensiones mayor, menor y promedio del eje mayor de cada tipo de MP registrado en la zona de estudio.

Tipo de MP	Longitud (mm)		
	Mayor	Menor	Promedio
Fragmentos	16.90	0.16	2.29 $\pm$ 2.11
Películas	13.91	0.35	2.40 $\pm$ 2.05
Esferas	3.54	0.42	1.61 $\pm$ 0.75
Fibras	24.48	0.16	3.03 $\pm$ 3.8

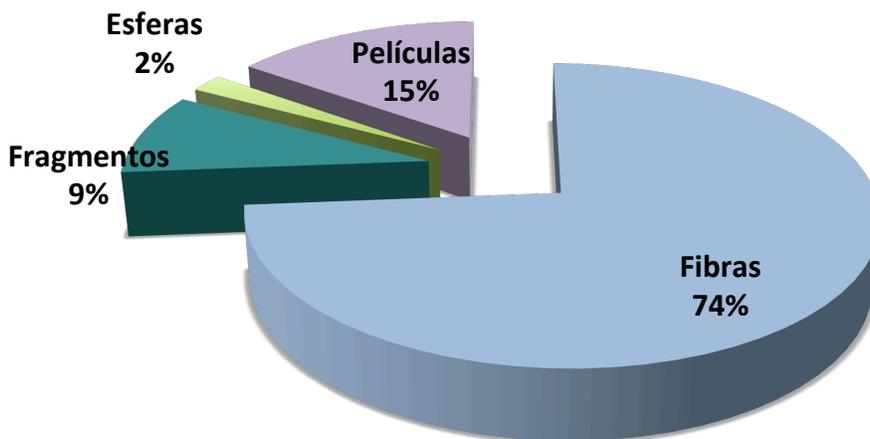
Fragmentos n=90 Esferas n=19 Películas n=147 Fibras n=154

La longitud máxima promedio de fragmentos y películas encontradas muestreadas es similar, los MP tipo esfera presentan la longitud máxima promedio más corta, y las fibras la longitud promedio más larga.

Si se considera como válido que en los océanos el número de partículas de MP aumenta conforme su tamaño disminuye (Iwasaki, Isobe, Kako, Uchida, & Tokai, 2017) Conocer las dimensiones de los MP que existen en nuestra zona de estudio no solo ayuda a caracterizar la situación de la contaminación por MP, sino a tener una idea de lo que podría estar sucediendo en cuanto a tamaños de partículas de otras dimensiones.

#### 5.2.4 Abundancia

En la figura 5.3 se muestra la abundancia y porcentaje de MP encontrados en la zona de estudio. En total se recobraron 957 piezas de microplásticos, de los cuales 701 (74%) fueron fibras, 147 (15%) películas, 90 (9%) fragmentos, 19 (2%) esferas y 0 espumas.



**Figura 5.3** Porcentaje de las diferentes categorías de microplásticos recolectados en la ZNCM

El hecho que las esferas solo representen el 2% indica claramente que la zona no es de tipo industrial, o al menos no está cercana a una zona de producción de cosméticos o productos de higiene y belleza o que la densidad poblacional es mucho más baja que en las costas europeas (Li et al., 2016).

El mayor porcentaje corresponde a las fibras (74%). Las fibras son indicadoras de contaminación por aguas residuales puesto que se derivan del lavado de prendas de vestir manufacturadas con textiles sintéticos (poliéster principalmente) y se transportan a través del drenaje (Alomar et al., 2016; Browne et al., 2011; de Falco et al., 2018; Van Cauwenberghe et al., 2015).

Los MP tipo película ocupan el segundo lugar (15%) de MP recuperados en el estudio. Los MP tipo fragmento representan el 9% del total y las esferas el 2%. Los MP tipo fragmento y película provienen principalmente de la fragmentación (ya sea química o física) de macroplásticos (Browne et al., 2011) mientras que las esferas provienen de productos cosméticos, de higiene y del hogar (Castañeda et al., 2014).

Durante el trabajo de campo y la recolección de muestras, en algunas de las localidades de la zona de estudio, se podían observar a simple vista desechos macroplásticos, en grandes cantidades, que no se reflejan proporcionalmente en el conteo de fragmentos. Esto puede

deberse a diferentes factores: por ejemplo, aunque durante el muestreo se hayan observado macroplásticos en el sitio de muestreo o flotando en la cercanía, las corrientes y el viento pueden trasportar la basura plástica, sobre todo la menos densa, bastante lejos de su origen (Alomar et al., 2016; Oliveira et al., 2015).

En Escocia, Estados Unidos y Suecia, países altamente industrializados y con costumbres avanzadas en tratamiento de desechos vertidos al mar o dejados en las playas por los turistas, se reportan concentraciones altas de fibras (Peng, Wang, & Cai, 2017), pero no de los otros tipos de microplásticos. Esto probablemente se deba a que aún teniendo un buen tratamiento de residuos y aguas residuales en el país, estos no son adecuados para retener las fibras por su extrema delgadez.

La figura 5.4 muestra la abundancia de cada tipo de MP por localidad. De los diferentes tipos de MP encontrados, en todas las localidades se encontraron principalmente fibras, excepto en la localidad 18 (Holbox Puerto), donde el tipo de MP dominante son las películas. Las fibras fueron especialmente dominantes en las localidades 5 (Puerto Morelos), 9 (Cancún Playa Tortugas) y 19 (Holbox W). Los MP tipo esfera son los que se encontraron en menor abundancia y en el menor número de localidades en todo el estudio. Para el caso de los fragmentos, la mayor abundancia se presentó en la localidad 10 (Cancún. Puerto Juárez) donde se encontraron hasta 24 piezas, siendo que el promedio fue de 4.73 piezas por localidad.

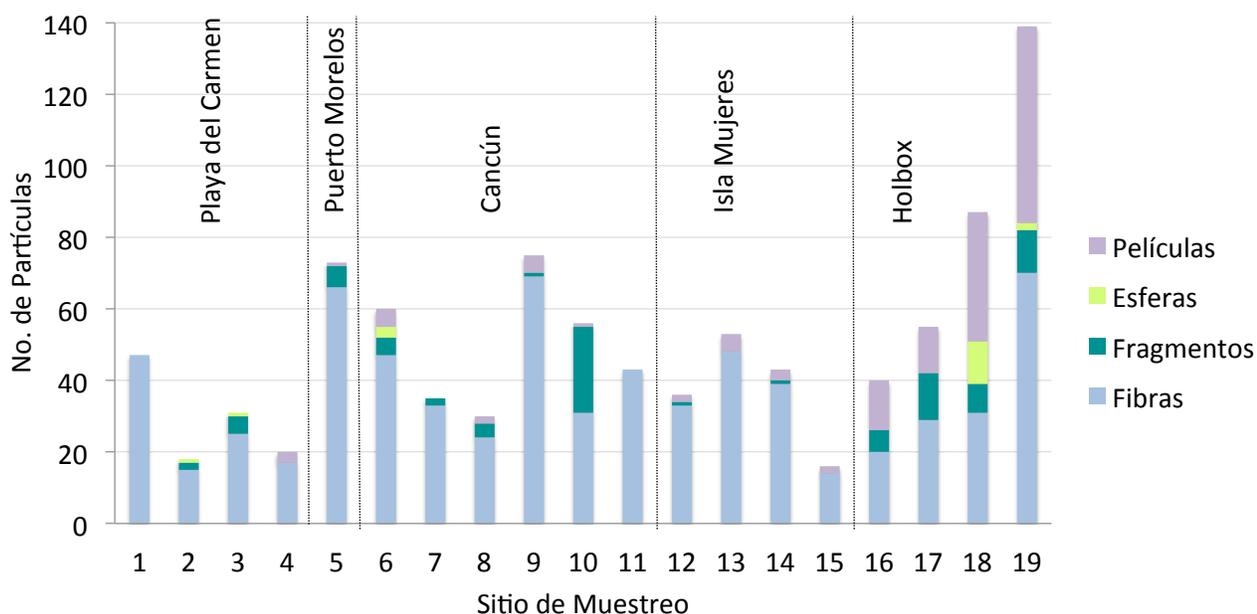
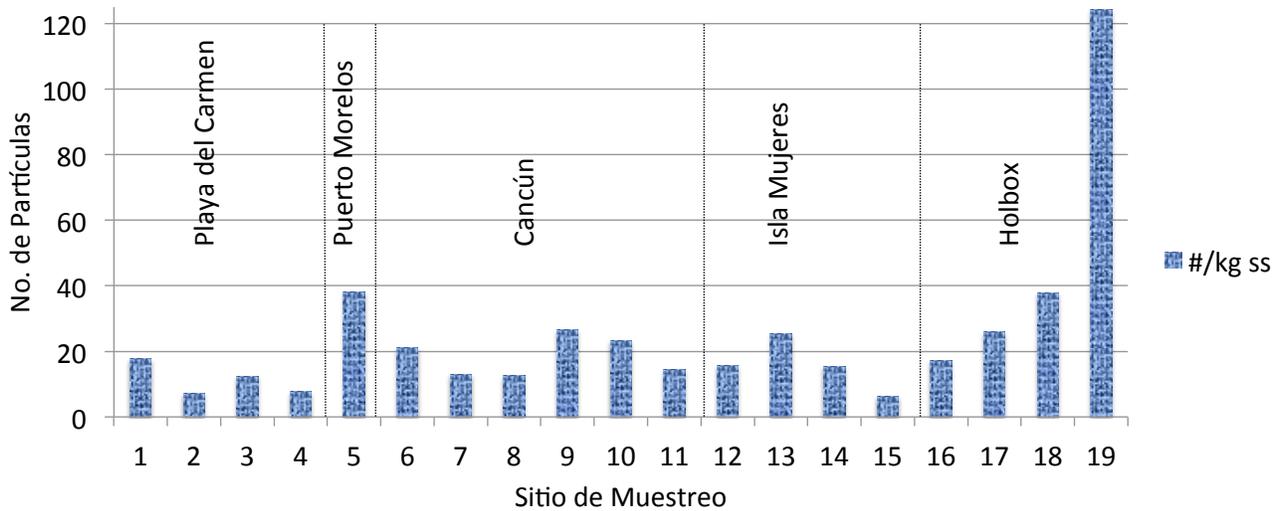


Figura 5.4 Abundancia observada de cada tipo de microplástico por sitio de muestreo.



**Figura 5.5** Extrapolación de la abundancia total de MP por kg de arena en cada sitio de muestreo de la ZNCM

En cambio, en el cuadro 5.4, se muestran reportes sobre la abundancia de MP en diferentes partes de Europa (Lots, Behrens, Vijver, Horton, & Bosker, 2017). La metodología empleada, especialmente en los volúmenes recolectados, la expresión de resultados (unidades; número de partículas por kg de sedimento y tamaño de los MP analizados), sí son comparables con este estudio en el que además consideraron un gran número de costas europeas. Algunas de estas zonas (Mar Mediterráneo, Italia) se consideran como altamente contaminadas por MP.

**Cuadro 5.4** Resumen del reporte sobre abundancia, longitud y color de MP por zona y subzona en diferentes partes de Europa (Lots et al., 2017) y la comparación con la zona de estudio en el Caribe mexicano.

Zona/subzona	Abundancia		Color (%)		
	#/kg ss	Longitud (mm)	Azul/negro	Rojo	Otros
Mediterráneo	291 ± 62	1.29 ± 0.13	77.5	13.2	9.3
Oeste	147 ± 14	1.43 ± 0.22	79.4	12.7	7.9
Este	387 ± 100	1.20 ± 0.16	76.3	13.6	10.2
Atlántico	190 ± 35	1.41 ± 0.14	82.0	10.2	7.8
Mar del Norte	131 ± 12	1.26 ± 0.20	82.9	11.3	5.7
Atlántico	238 ± 92	1.54 ± 0.20	81.3	9.3	9.4
Báltico	270 ± 90	1.39 ± 0.20	81.0	12.6	6.4
ZNCM	24 ± 2	2.33 ± 2.18	Transparente 49	Blanco 11.9	Otros* 27.17
Playa del Carmen	11 ± 4.92	1.72 ± 1.61	32	24.79	42.74
Cancún	19 ± 5.95	2.45 ± 3.16	50	11.94	37.61
P. Morelos	38 ± 4.74	1.54 ± 0.61	57.53	13.69	28.76
Isla Mujeres	16 ± 7.88	3.95 ± 4.56	63.20	13.20	23.58
Holbox	51 ± 49.43	2.41 ± 1.83	64.79	(Negro) 13.08	22.11

Las unidades #/kg ss se refieren a partículas de MP en cada kilogramo de sedimento seco. Otros\*: blanco, azul, rojo amarillo, negro, gris, verde, rosa, café, naranja o morado, dependiendo del color más abundante por lugar de estudio.

Como se puede ver en este cuadro comparativo, las concentraciones de MP que se registran en las costas europeas son mucho mayores que las del Caribe mexicano, aun si casi todas las playas muestreadas en este estudio están en zonas muy turísticas y desarrollo urbano muy activo.

Por ejemplo, la zona más contaminada de la ZNCM es Holbox con un promedio de partículas por kilogramo de 51 ± 49, es cerca de una séptima parte del valor reportado por Lots et al., 2017 para el Mediterráneo del Este (su zona más contaminada). En cambio, nuestra subzona con menor abundancia de MP, Playa del Carmen, tiene cerca de 11 veces menos MP que el Mar del Norte, zona que Lots et al., (2017) reportan como menos contaminadas.

Por otro lado, la longitud promedio es relativamente constante en las playas europeas estudiadas por Lots et al., 2017, mientras que en la ZNCM la variación es más significativa. Para toda la ZNCM el promedio es 2.33 ± 2.18, lo cual es 1.8 veces más que en el Mar Mediterráneo y 1.6 veces más que el Atlántico y Mar Báltico.

En la zona de estudio, Puerto Morelos fue la subzona donde se encontraron los MP de longitud en promedio más corta ( $1.54 \pm 0.61$  mm), mientras que en la subzona de Isla Mujeres la longitud promedio más alta ( $3.95 \pm 4.56$ ).

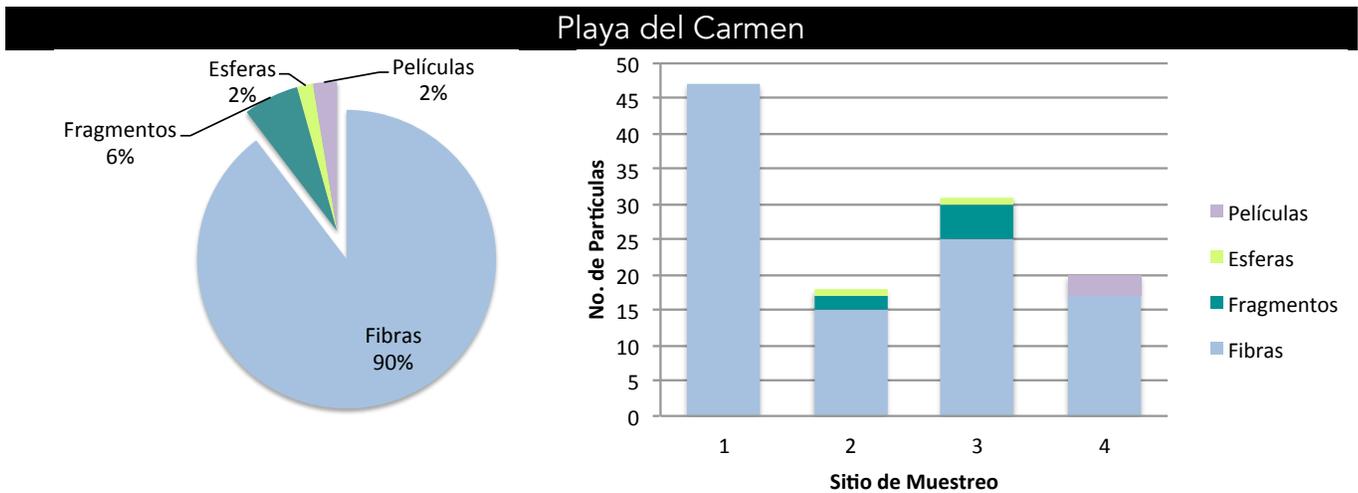
La acumulación de MP ocurre en áreas con geomorfología compleja y donde la hidrodinámica es más favorable. Autores como Vianello et al. (2013) y Pham et al. (2014) han comprobado que las concentraciones más bajas de MP se pueden encontrar en zonas con una velocidad de corriente  $>1$  m/s, mientras que concentraciones más altas se pueden encontrar en zonas con poca energía hidrodinámica y con alto porcentaje de fracción fina en el sedimento ( $<0.063$  mm).

De lo que sabemos de los sitios de muestreo (abundancias observadas) si se reflejan correctamente las condiciones conocidas como favorables a depósitos de este tipo. Por tanto, esto significa que tenemos que considerar que los factores más importantes para el depósito de MP posiblemente son la exposición o protección al oleaje y a las corrientes marinas, y la facilidad con que esos factores favorecen el depósito de los MP, más que el tamaño de sedimento en los cuales se encuentran finalmente.

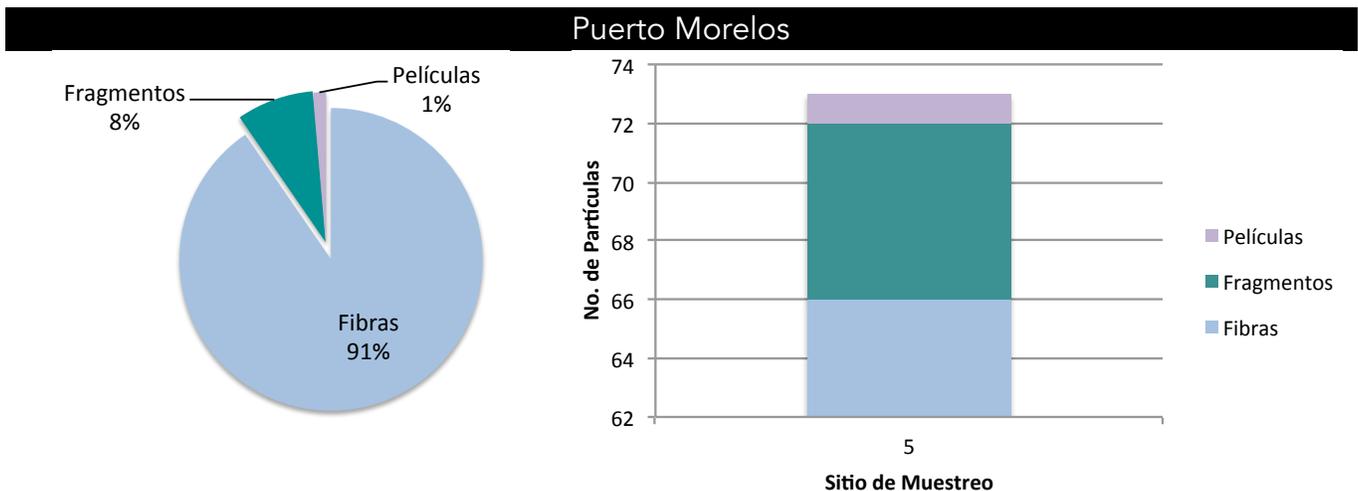
La zona de estudio presenta, en general una topografía compleja, un fondo marino geológicamente rugoso, con sedimento fino y una dinámica de marea mixta con diferencias de altura de 30 cm (hidrodinámica poco energética) pero con velocidades de corriente más bien altas por estar en el paso de la corriente de Yucatán, excepto las zonas protegidas de esta, como se explica más adelante. Las velocidades reportadas para la zona varían entre 0.9 m/s y 2.5 m/s (CONANP 2016).

Por lo anterior, se espera que la abundancia de MP encontrados en la ZNCM sea menos abundante en las localidades expuestas directamente al oleaje y a la corriente y más abundante en las zonas protegidas. Las localidades en su mayoría se encuentran en zonas turísticas o urbanizadas donde la arena es rastrillada y se recoge la basura de modo continuo por razones estéticas. Lo anterior puede ser un factor de sesgo que ocasione que ciertas categorías de MP como los secundarios (fragmentos y películas) se recolecten en cantidades menores con respecto a las realmente depositadas ahí.

### 5.3 Análisis por subzona de Muestreo

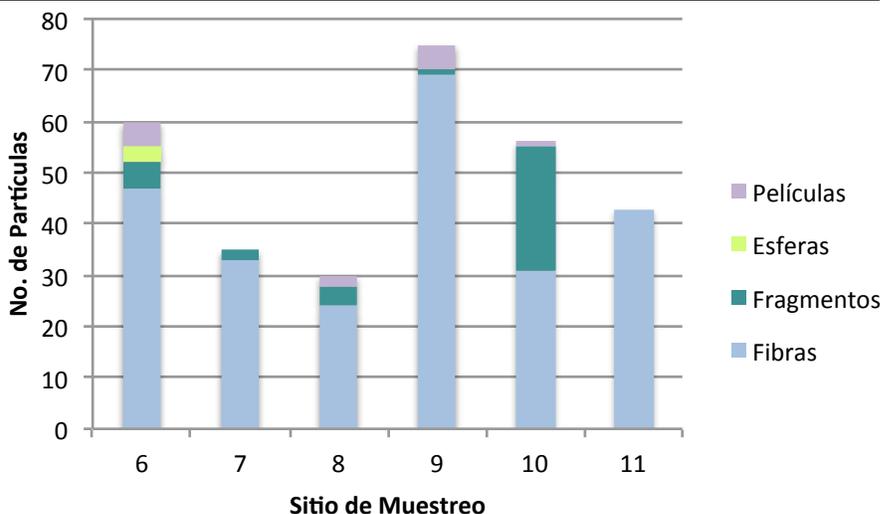
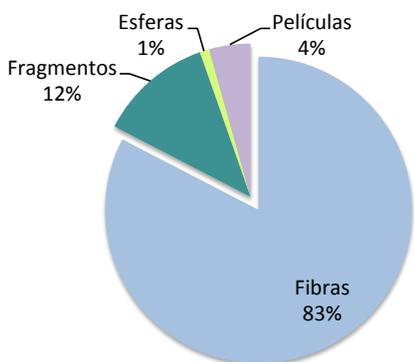


En la localidad 1, Colegio Tepeyac, es donde se recuperó el mayor número de MP, los cuales fueron únicamente fibras. En la subzona, en orden de abundancia se presentaron fibras, fragmentos, películas y esferas. Los fragmentos y esferas se recuperaron en Hotel Nuevo Porto (3) y Playacar (2), mientras que se recuperaron películas solo en Playa Caníbal (4). La localidad donde se recuperaron menos fragmentos fue Hotel Nuevo Porto. En esta subzona, se recuperaron más MP en la localidad menos poblada o turística, y que a pesar de estar protegida por una bahía mediana y semicerrada, presentaba un oleaje fuerte.



En Puerto Morelos, las categorías de MP en orden de abundancia fueron Fibras (66), Fragmentos (6) y Películas (1). No se recuperaron esferas. También resultó una de las subzonas con más depósito de MP de todo el estudio, cosa que se atribuye tanto a la concentración turística y desarrollo urbano activo del lugar, como a la protección del oleaje y corrientes por la barrera Arrecifal.

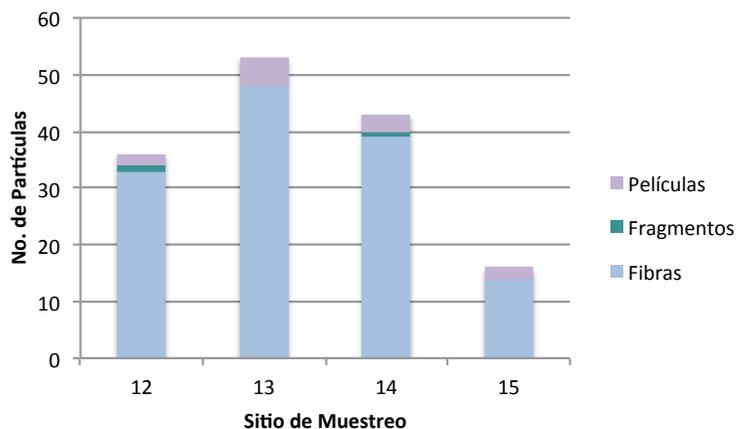
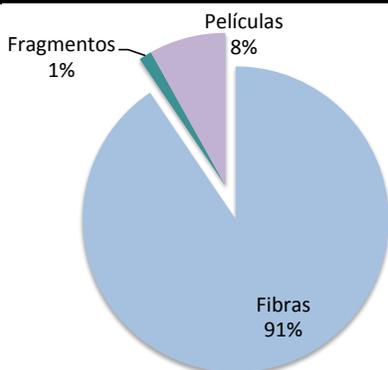
## Cancún



Para la subzona en general, por orden de abundancia se presentaron Fibras, Fragmentos, Películas y Esferas.

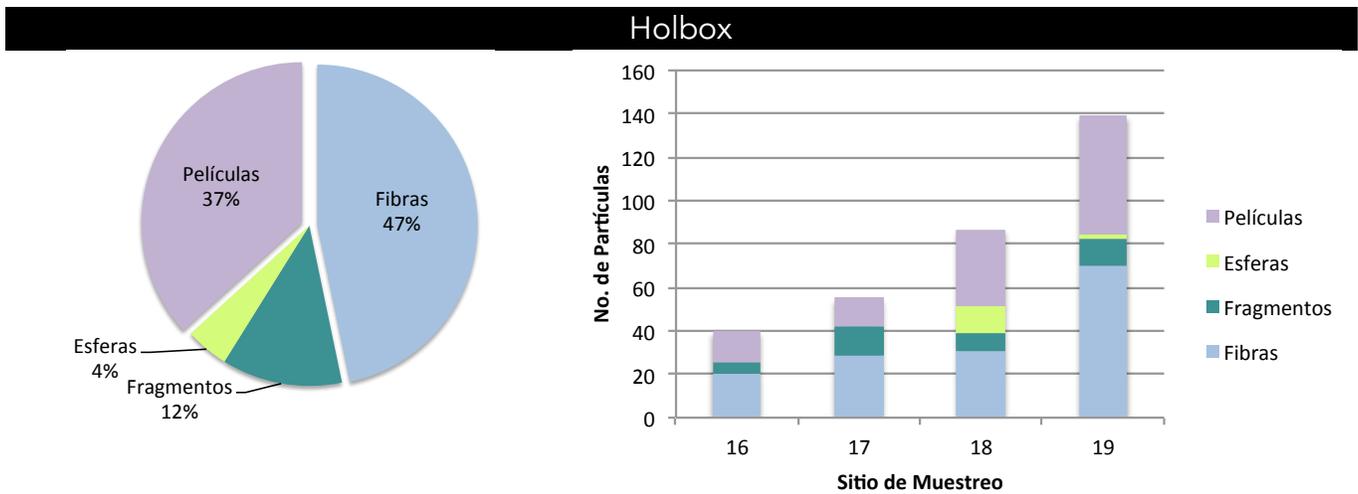
En Cancún, la localidad con mayor abundancia de MP fue Playa Tortugas (9) [Fibras (69), Películas (5) Fragmentos (1)] y la playa con menor abundancia fue Playa Chac Mool (8) [Fibras (24), Fragmentos (4) y Películas (2)]. La localidad Club Med (6) fue la única localidad de la subzona donde se encontraron MP tipo esfera. En esta subzona, las localidades más protegidas del oleaje o con un oleaje más ligero fue donde se recuperó el mayor número de MP (9 y 6).

## Isla Mujeres



En esta subzona, el Centro Este fue la localidad con mayor número de MP [fibras (39) y películas (3)] mientras que la zona Norte fue la localidad con menor número [fibras (14) y

películas (2)]. En esta subzona, no se presenta el mayor número de MP en la playa más protegida (que sería la Norte, debido a sus condiciones en el norte geográfico de la isla, protegido de la corriente del Mar Caribe), sino que se encontraron en la más expuesta a mar abierto. Asimismo, esta subzona fue donde se encontraron los MP con mayor longitud promedio ( $3.95 \pm 4.56$ ). Hace falta un análisis más profundo para saber la causa de este fenómeno. Lo que se interpreta en este estudio es que, probablemente los MP encontrados son originados en la misma isla o llegan con la corriente y quedan atrapados entre las anfractuosidades de las rocas de las playas expuestas.



En la subzona de Holbox (y de toda la ZNCM), la playa con mayor abundancia de MP es Holbox Oeste [Fibras (70), Fragmentos (12), Películas (55) y Esferas (2)]. En cambio, la localidad con menor número de MP es Holbox Este [Fibras (20) Fragmentos (6) Películas (14) y Esferas (0)]. Efectivamente, Holbox Oeste es una localidad protegida y con oleaje casi inexistente, además de ser poco poblada, mientras que Holbox Este está menos protegida de la corriente que viene de más al sur de Quintana Roo.

En general se observa que para todas las subzonas, es la playa más protegida del oleaje y la corriente, donde se recuperaron más MP. En nuestro caso, efectivamente encontramos los valores más altos de MP en los sitios con mayor protección del oleaje en cada subzona (Puerto Morelos , Holbox W, Isla mujeres N y puerto Holbox) y hasta en Puerto Morelos, que está totalmente protegido por la barrera Arrecifal.

El depósito de los microplásticos parece depender más de la protección o no del oleaje y de las corrientes marinas del sitio de muestreo que de otros factores como la cercanía a zonas urbanas o turísticas, incluyendo el tamaño de grano del sedimento cosa que no siempre coincide con los datos de la literatura consultada. En efecto, por ejemplo en los estudios hechos en el Mediterráneo (Lots et al., 2017) o algunos otros realizados en Japón (Iwasaki et al., 2017), se infiere que el tamaño de grano al ser más fino indica que habrá más depósito

de MP, pero en realidad, este indica que la dinámica costera es más favorable al depósito en el sentido de protección de las corrientes y oleaje. Es decir, el tamaño de grano es una consecuencia de esta hidrodinámica la cual también es favorable para el depósito de los microplásticos aunque los dos procesos sean independientes. Podemos pensar que en esos estudios coincidía la débil dinámica costera con el tamaño de grano. Sin embargo, en nuestro caso, tenemos el ejemplo de la estación Puerto Morelos, protegida del oleaje corrientes marinas y vientos por la barrera Arrecifal que se encuentra a 400 metros en el sitio de muestreo, con tamaño promedio de grano respecto a los demás sitios, y la localidad de Puerto en Holbox, un sitio de vertedero de basura de todo estilo, pegado a la zona de circulación de las lanchas que dan servicio a la isla y por tanto de aporte de MP en grandes cantidades inducido por el intenso tráfico marítimo.

## 6. Consideraciones Finales y Recomendaciones

Los resultados de este estudio sugieren que las fibras son el mejor indicador de contaminación por MP en términos de representatividad. Sin embargo, dado que las fibras pasan aún por el tamiz más fino, consideramos necesario analizar el sedimento sin tamizar para contabilizarlas de manera confiable.

Por la misma causa, la representatividad de la muestra puede ser alcanzada con volúmenes más de sedimento más reducidos. En los estudios comparativos (Lots et al., 2017) se tomaron aproximadamente 100 g de peso húmedo por muestra, con cinco réplicas por playa. Para el análisis de fibras de Retama et al., (2016) se tomaron muestras equivalentes a 30 g en seco. En este estudio se tomaron 8 réplicas de aproximadamente 500 g cada una de peso húmedo, por playa. Si se pretende contabilizar al microscopio estos volúmenes en su totalidad, es un esfuerzo excesivo y dado el tamaño promedio de las fibras, un volumen menor sería totalmente representativo. Se necesitan, sin embargo, un mayor número de pruebas para definir el volumen preciso que sea representativo.

Siendo que existe muy poco conocimiento sobre la contaminación por MP en México, es necesario hacer mas estudios y poner en marcha un monitoreo de la zona que en este trabajo se estudió.

Se sugiere también ampliar la zona de colecta en las playas hacia tierra. Es decir, quizás recolectar muestras en las playas incluyendo zonas que nunca son inundadas por la marea , y alejadas de la línea de alta marea, pudieran aportar más información sobre la migración de MP hacia la zona alta de la playa.

En la literatura consultada, se notó que también existen estudios sobre MP en la columna de agua, con el fin particularmente de predecir su accesibilidad a la ingesta por organismos marino como los peces, pero esta información no existe para esta zona y rebasa los objetivos de este estudio. Sin embargo, se recomienda también incorporar muestreos de la columna de agua en la ZNCM, para completar la información hasta hoy recabada.

El alcance de este trabajo no contemplaba determinar el origen, ruta de transporte del MP observado ni el tipo de plástico o polímero al que pertenecen las partículas recuperadas. Para abordar estos temas la literatura ofrece algunas propuestas. Para identificar el tipo de polímero de los MP colectados se puede utilizar espectrofotometría infrarroja de la transformada de Fourier (Iwasaki et al., 2017) y para determinar el origen y ruta de transporte del MP existen modelos como el desarrollado por Iwasaki et al., (2017), así mismo para el origen, puede utilizarse un análisis de composición EDAX (Energy Dispersive X-Ray Analysis) (Retama et al., 2016).

Una característica importante de la ZNCM es la constante presencia de manglar en la línea de costa. La contaminación por microplásticos en el manglar es un tema que debe abordarse con prontitud, debido a la importancia que éste ecosistema representa en términos de biodiversidad y el potencial riesgo que la contaminación por MP puede representar (Debrot, Meesters, Bron, & de León, 2013).

## 7. Conclusiones

Este es el primer estudio de evaluación de microplásticos considerando tamaños de partículas de 0.05 mm a 5 mm en el Caribe Mexicano y los resultados que se obtuvieron servirán de base para todos los estudios futuros que se hagan sobre el tema en esta zona.

Las diferentes categorías o tipos de partículas de microplástico encontradas se caracterizaron de acuerdo a su morfología, abundancia, dimensiones, color y peso. La única categoría que no estuvo presente fue la de "espumas".

Se comparó el peso y abundancia de los microplásticos presentes en la zona intermareal contra los presentes en el submareal en las playas de la zona de estudio. Se esperaba encontrar una cantidad mayor tanto en volumen como número de partículas en el intermareal, con respecto al submareal, pero se observó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las zonas del perfil de la playa, pero si entre cada localidad de estudio.

Debido a que la mayor cantidad de MP encontrados en la ZNCM son fibras (74%), se le puede atribuir principalmente a las descargas de drenaje o aguas residuales a la costa, y no a la fragmentación de macroplásticos, la contaminación por MP en el sedimento costero de la zona de estudio.

Tanto para las fibras como para las películas, la coloración mas común fue la transparente que sumó para ambas 60% del total, mientras que para los fragmentos y esferas fue el color negro. Lo cual significa que si estamos en lo correcto al asumir que los MP traslúcidos se tornan blancuzcos o amarillos por su exposición al medio, y son estos los MP con mayor biodisponibilidad debido a su color, la contaminación por MP representa un riesgo a la biodiversidad marina con efectos aún desconocidos en su totalidad, tanto a lo largo de la cadena trófica, como su impacto ecosistémico.

Finalmente, con todos lo análisis llevados a cabo en este estudio, las fibras parecen constituir el mejor indicador de contaminación por microplásticos en áreas urbanas o turísticas, puesto que su presencia se deriva del lavado de prendas de vestir que llegan al mar con los desagües urbanos, tratados o no, y que por su tamaño, una vez depositadas, no son fáciles de extraer del medio, aún en los lugares en que se limpia cotidianamente la playa.

## 8. Referencias

- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Mar Environ Res*, 115, 1-10. doi:10.1016/j.marenvres.2016.01.005
- Álvarez-Muñoz, D., Llorca, M., Blasco, J., & Barceló, D. (2016). Chapter 1 - Contaminants in the Marine Environment. In J. Blasco, P. M. Chapman, O. Campana, & M. Hampel (Eds.), *Marine Ecotoxicology* (pp. 1-34): Academic Press.
- Amaya Márquez, A. I. (2016). *Evaluación de los microplásticos en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo, México y sus efectos en la biota, tomando como ejemplo una especie de invertebrado béntico: Ophiocoma echinata*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Arthur, C., Baker, J., & Bamford, H. (2009). *Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris. Sept 9-11, 2008*. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30.
- Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2-11. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>
- Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1526), 1985-1998. doi:10.1098/rstb.2008.0205
- Bezaury-Creel, J. E., Escobar-Briones, E., Schill, S., Torres, J. F., Molina-Islas, C., García-López, A. L., . . . March-Misfut, I. (2011). *Estudio previo justificativo para el establecimiento del área natural protegida Reserva de la Biosfera Submarina del Pacífico Transicional Mexicano y Centroamericano*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). The Nature Conservancy. México D.F. Retrieved from
- Boerger, C. M., Lattin, G. L., & Moore, C. J. (2010). Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 60, 2275-2778.
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175-9179. doi:10.1021/es201811s
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D., & C Thompson, R. (2008). *Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, Mytilus edulis (L.)* (Vol. 42).
- Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H. P., & Peck, B. B. (1972). Polystyrene Spherules in Coastal Waters. *Science*, 178(4062), 749. doi:10.1126/science.178.4062.749

- Carson, H. S., Colbert, S. L., Kaylor, M. J., & McDermid, K. J. (2011). Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1708-1713. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.032>
- Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., & Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771. doi:10.1139/cjfas-2014-0281
- Choy, C. A., & Drazen, J. C. (2013). Plastic for dinner? Observation of frequent debris ingestion by pelagic predatory fishes from the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 485, 155-163. doi:<https://doi.org/10.3354/meps10342>
- CICESE. (2016). Calendario Mensual de Marea. Puerto Morelos. Cozumel. Isla Mujeres. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada. Retrieved from <http://predmar.cicese.mx/calendarios/>
- Claessens, M., Meester, S. D., Landuyt, L. V., Clerck, K. D., & Janssen, C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- CONABIO. (2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad marina de México: océanos, costas e islas. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C.* Retrieved from <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/LibroGapMarino.pdf>
- CONABIO. (2012). Ecorregiones Terrestres. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.* Retrieved from <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/ecorregiones.html>
- CONANP. (2016). *Estudio Previo Justificativo para la declaratoria de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano.* Quintana Roo, México.
- Córdoba y Ordóñez, J., & García de Fuentes, A. (2003). Turismo, globalización y medio ambiente en el Caribe mexicano. *Investigaciones geográficas*, 117-136.
- Daltabuit Godás, M., Valenzuela Valdivieso, E., & Cisneros Reyes, H. (2007). *Globalización y Sustentabilidad: El turismo en el sur de Quintana Roo:* CRIM Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias/UNAM.
- de Falco, F., Gullo, M. P., Gentile, G., Di Pace, E., Cocca, M., Gelabert, L., . . . Avella, M. (2018). Evaluation of microplastic release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*, 236, 916-925. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.057>
- de la Lanza Espino, G. (2004). Gran Escenario de la Zona Costera y Oceánica de México. *Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México*, 076, 4-13.

- De Witte, B., Devriese, L., Bekaert, K., Hoffman, S., Vandermeersch, G., Cooreman, K., & Robbens, J. (2014). Quality assessment of the blue mussel (*Mytilus edulis*): Comparison between commercial and wild types. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 146-155. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.06.006>
- Debrot, A. O., Meesters, H. W. G., Bron, P. S., & de León, R. (2013). Marine debris in mangroves and on the seabed: Largely-neglected litter problems. *Marine Pollution Bulletin*, 72(1), 1. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.023>
- Denuncio, P., Bastida, R., Dassis, M., Giardino, G., Gerpe, M., & Rodríguez, D. (2011). Plastic ingestion in Franciscana dolphins, *Pontoporia blainvillei* (Gervais and d'Orbigny, 1844), from Argentina. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1836-1841. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.003>
- Devriese, L. I., van der Meulen, M. D., Maes, T., Bekaert, K., Paul-Pont, I., Frère, L., . . . Vethaak, A. D. (2015). Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Marine Pollution Bulletin*, 98(1), 179-187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.06.051>
- Dubaish, F., & Liebezeit, G. (2013). *Suspended Microplastics and Black Carbon Particles in the Jade System, Southern North Sea* (Vol. 224).
- FIRA. (2016, abril 07 2016). Panorama Agroalimentario. Investigación y Evaluación económica y Sectorial. Retrieved from <https://www.gob.mx/fira/documentos/panorama-agroalimentario>
- Fischer, V., Elsner, N. O., Brenke, N., Schwabe, E., & Brandt, A. (2015). Plastic pollution of the Kuril-Kamchatka Trench area (NW pacific). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 111, 399-405. doi:<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.08.012>
- Foekema, E. M., De Grijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013). Plastic in north sea fish. *Environ Sci Technol*, 47(15), 8818-8824. doi:10.1021/es400931b
- Fotopoulou, K. N., & Karapanagioti, H. K. (2012). Surface properties of beached plastic pellets. *Marine Environmental Research*, 81, 70-77. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.08.010>
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., L. O., Nilsson, P., Fleet, D., . . . G, L. (2014). *Executive Summary of the Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (TSG-ML). 2013.*
- Germanov, E. S., Marshall, A. D., Bejder, L., Fossi, M. C., & Loneragan, N. R. (2018). Microplastics: No Small Problem for Filter-Feeding Megafauna. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(4), 227-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.01.005>
- Goldstein, M. C., & Goodwin, D. S. (2013). Gooseneck barnacles (*Lepas* spp.) ingest microplastic debris in the North Pacific Subtropical Gyre. . *PeerJ*, 184 doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.184>

- Gómez Hernandez, I. R. (2016). *Efecto de los microplásticos de polivinil cloruro (PVC) y del fluoranteno en Eupolyornia rullieri E Isognomon alatus, dos especies del macrobentos del Caribe Mexicano*. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- IG-UNAM. (2013). Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía UNAM. Retrieved from [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/tomo\\_2/naturaleza.php](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/publicaciones/atlas/anm-1990-1992/tomo_2/naturaleza.php)
- Ivar do Sul, J. A., & Costa, M. F. (2007). Marine debris review for Latin America and the Wider Caribbean Region: From the 1970s until now, and where do we go from here? *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1087-1104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.05.004>
- Iwasaki, S., Isobe, A., Kako, S. i., Uchida, K., & Tokai, T. (2017). Fate of microplastics and mesoplastics carried by surface currents and wind waves: A numerical model approach in the Sea of Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 121(1), 85-96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.05.057>
- Kach, J. D., & Ward, J. (2008). *The role of marine aggregates in the ingestion of picoplankton-size particles by suspension-feeding molluscs* (Vol. 153).
- Kripa, V., Nair, P. G., Dhanya, A. M., Pravitha, V. P., Abhilash, K. S., Mohammed, A. A., . . . Prema, D. (2014). Microplastics in the gut of anchovies caught from the mud bank area of Alappuzha, Kerala. *Mar. Fish. Inf. Serv. Tech. Ext. Ser.*, 219, 27-28.
- Lara-Domínguez, A. L., Villalobos Zapata, G. J., Rivera Arriaga, E., Vera Herrera, F., & Alvarez Guillén, H. (1994). Origen de los desechos sólidos en las playas de Campeche, México. *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 45, 133-142.
- Li, W. C., Tse, H. F., & Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, 566-567, 333-349. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>
- Lots, F. A. E., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., & Bosker, T. (2017). A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1), 219-226. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.057>
- 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), 94-99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C., & Kaminuma, T. (2001). Plastic Resin Pellets as a Transport Medium for Toxic Chemicals in the Marine Environment. *Environmental Science & Technology*, 35(2), 318-324. doi:10.1021/es0010498
- Merino, M., & Otero, L. (1991). *Atlas Ambiental Costero, Puerto Morelos-Quintana Roo*. México D.F.
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.07.025>

- Oliveira, F., Monteiro, P., Bentes, L., Henriques, N. S., Aguilar, R., & Gonçalves, J. M. S. (2015). Marine litter in the upper São Vicente submarine canyon (SW Portugal): Abundance, distribution, composition and fauna interactions. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1), 401-407. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.060>
- OSPAR. (2010). JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Biota. OSPAR Commission. p. 120.
- PED-QR. (2017). *Plan Estatal de Desarrollo 2016-2022*. Quintana Roo, México: Gobierno del Estado de Quintana Roo.
- Peng, J., Wang, J., & Cai, L. (2017). Current understanding of microplastics in the environment: Occurrence, fate, risks, and what we should do. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(3), 476-482. doi:10.1002/ieam.1912
- Pham, C. K., Ramirez-Llodra, E., Alt, C. H. S., Amaro, T., Bergmann, M., Canals, M., . . . Tyler, P. A. (2014). Marine Litter Distribution and Density in European Seas, from the Shelves to Deep Basins. *PLoS One*, 9(4), e95839. doi:10.1371/journal.pone.0095839
- PlasticsEurope. (2018). *Plastics- the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Retrieved from
- Reisser, Shaw, J., Hallegraeff, G., Proietti, M., Barnes, D. K. A., Thums, M., . . . Pattiaratchi, C. (2014). Millimeter-sized marine plastics: a new pelagic hábitat for microorganisms and invertebrates. *PLoS One*, 9, 100-289. doi:<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0100289>.
- Reisser, J., Proietti, M., Shaw, J., & Pattiaratchi, C. (2014). Ingestion of plastics at sea: does debris size really matter? *Frontiers in Marine Science*, 1, 70. doi:<http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2014.00070>.
- Retama, I., Jonathan, M. P., Shruti, V. C., Velumani, S., Sarkar, S. K., Roy, P. D., & Rodríguez-Espinosa, P. F. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1), 530-535. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.053>
- Rios, L. M., Moore, C., & Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1230-1237. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.022>
- Rodríguez-Martínez, R. E., Ruíz-Rentería, F., Tussenbroek, B. v., Barba-Santos, G., Escalante-Mancera, E., Jordán-Garza, G., & Jordán-Dahlgren, E. (2010). Environmental state and tendencies of the Puerto Morelos CARICOMP site, Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 58(3), 23-43.
- Ryan, P. G., Moore, C. J., van Franeker, J. A., & Moloney, C. L. (2009). Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 364(1526), 1999-2012. doi:10.1098/rstb.2008.0207
- Santos, I. R., Friedrich, A. C., & Ivar do Sul, J. A. (2009). Marine debris contamination along undeveloped tropical beaches from northeast Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, 148, 455.

- SE. (2016). *Información Económica y Estatal. Quintana Roo. Secretaría de Economía.* Retrieved from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43822/Quintana\\_Roo.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/43822/Quintana_Roo.pdf).
- SECTUR. (2017). Información Turística por Entidad Federativa: Quintana Roo. Retrieved from [http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF\\_QROO.aspx](http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF/ITxEF_QROO.aspx)
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables.*
- SEMARNAT. (2013). Ecorregiones terrestres de América del Norte presentes en México. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Estadística e Información Ambiental.* Retrieved from [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_BIODIV01\\_10&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_BIODIV01_10&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., & Lehtiniemi, M. (2014). Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*, 185, 77-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Silva-Iñiguez, L., & W Fischer, D. (2003). Quantification and classification of marine litter on the municipal beach of Ensenada, Baja California, Mexico. 46, 132-138. doi:10.1016/S0025-326X(02)00216-3
- SIMEC. (2017). Caribe Mexicano. Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=191&reg=11>
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., . . . Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838. doi:10.1126/science.1094559
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5-17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>
- Vianello, A., Boldrin, A., Guerriero, P., Moschino, V., Rella, R., Sturaro, A., & Da Ros, L. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 130, 54-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.03.022>
- Wessel, C. C., Lockridge, G. R., Battiste, D., & Cebrian, J. (2016). Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), 178-183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.002>
- Wilkinson, T., Wiken, E., Bezaury Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., . . . Padilla, M. (2009). *Ecorregiones marinas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental Montreal.*

- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178, 483-492. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the "Plastisphere": Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137-7146. doi:10.1021/es401288x