



# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**

**BIOLOGÍA MARINA**

**DISTRIBUCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS EN**

**SEDIMENTO EN LA RIVIERA MAYA**

**TESIS**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**VIRGINIA TÉLLEZ ALCÁNTAR**

**TUTORES PRINCIPALES:**

**DRA. VIVIANE SOLÍS WOLFOWITZ**  
UNIDAD ACADÉMICA DE SISTEMAS ARRECIFALES CAMPUS  
PUERTO MORELOS, QUINTANA ROO

**DRA. LAURA ELENA SANVICENTE AÑORVE**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

**DR. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA**  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

**DRA. ELSA NOREÑA BARROSO**  
UNIDAD DE QUÍMICA EN SISAL, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

**DRA. FLOR ELISA DEL ROSARIO ÁRCEGA CABRERA**  
UNIDAD DE QUÍMICA EN SISAL, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

**M. en E.M.S. ISABEL MEJÍA LUNA**  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UNAM

**MÉXICO, CD. MX., 21 AGOSTO, 2024**



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.



**DISTRIBUCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS  
EN SEDIMENTO EN LA RIVIERA MAYA**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**BIOLOGÍA MARINA**

PRESENTA:

**VIRGINIA TÉLLEZ ALCÁNTAR**

**TUTOR(A) O TUTORES PRINCIPALES:**

DRA. VIVIANE SOLÍS WOLFOWITZ  
UNIDAD ACADÉMICA DE SISTEMAS ARRECIFALES CAMPUS PUERTO  
MORELOS, QUINTANA ROO

DRA. LAURA ELENA SANVICENTE AÑORVE  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA, UNAM

DR. ANTONIO ZOILO MÁRQUEZ GARCÍA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

DRA. ELSA NOREÑA BARROSO  
UNIDAD DE QUÍMICA EN SISAL, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

DRA. FLOR ELISA DEL ROSARIO ÁRCEGA CABRERA  
UNIDAD DE QUÍMICA EN SISAL, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

M. en E.M.S. ISABEL MEJÍA LUNA  
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS DE LA TIERRA, UNAM

**MÉXICO, CD. MX., 21 AGOSTO, 2024**



PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el código de ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado:

**Distribución, caracterización y abundancia de microplásticos en sedimento en la Riviera Maya**

Que presenté para obtener el grado de Maestría es original, de mi autoría y, lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi programa de posgrado, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otros tipos de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de graduación.

Atentamente  
VIRGINIA TÉLLEZ ALCÁNTAR  
412001899



Palabras clave: Microplásticos, Quintana Roo, Intermareal, Submareal, Playa, Post playa, Fragmentos, Fibras, Sedimento.

## AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa durante 12 años.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM por permitir realizar esta investigación dentro de sus instalaciones.

Al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM

A la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Puerto Morelos, de la UNAM, sede Quintana Roo, por permitir el uso de sus instalaciones en el proceso de toma y análisis de muestras.

A la Dra. Viviane Solís Weiss por dirigir el trabajo de esta tesis, por su paciencia y apoyo en este trabajo.

A la Dra. Laura Elena Sanvicente Añorve por su apoyo en este trabajo de investigación.

Al Dr. Antonio Zoilo Márquez García por su apoyo en este trabajo de investigación

A la Maestra en E.M.S. Isabel Mejía Luna por su apoyo en este trabajo de investigación.

A la Dra. Elsa Noreña Barroso por su apoyo en este trabajo de investigación

A la Dra. Flor Elisa del Rosario Árcega Cabrera por su apoyo en este trabajo de investigación

A la M. en E.M.S Isabel Mejía Luna por su apoyo en el laboratorio multifuncional durante el trabajo de análisis de muestras, el trabajo de desarrollo de una nueva técnica de análisis de MP. Por los recursos brindados en el laboratorio.

Al Dr. Rodolfo Omar Arellano por permitirme el uso del laboratorio multifuncional de la Facultad de Ciencias, para desarrollo de una técnica de análisis de MP.

Al Dr. Alejandro Heredia Barbero, investigador titular T.C. Departamento de Radiaciones y Radioquímica del Laboratorio de Evolución Química del Instituto de Ciencias Nucleares, por su apoyo en el análisis de muestras con la técnica de Infrarrojo FTIR-ATR.

Al Instituto de Ciencias Nucleares por el apoyo de análisis de muestras con Infrarrojo.

Al Dr. Pablo Hernández por su apoyo en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología campus CU.

A todos mis profesores que tuve en la maestría, excelentes clases, gracias por compartir su conocimiento.

Al STUNAM por el apoyo brindado para mis estudios de maestría

## Dedicatoria

Quiero agradecer a Dios por permitirme realizar mi trabajo, por cuidar de mí y de mi familia.

Agradecer a mis padres por ser parte importante de mi vida, por enseñarme el arduo trabajo, y que todo lo que me proponga debe ir acompañado de esfuerzo, honestidad y dedicación.

A mis hermanos por ser parte de mi vida, porque cada uno de ellos ha influenciado en mi vida y me han apoyado.

A mi hermana Sofía porque siempre me ha apoyado y por qué me influencio mucho hacer la maestría a la par con ella, me inspiro a seguir y no rendirme.

A mi sobrino David porque en medio de mis crisis más fuertes ha estado presente y me dio armas muy importantes para mejorar y seguir adelante, porque siempre se ha preocupado por mí.

Principalmente quiero agradecer a mis hijos que siempre han creído en que puedo realizar mis proyectos, a Stefany por mostrarme como sacar fortaleza en momentos difíciles, porque no se rinde y me enseña algo que admiro todos los días, que la bondad siempre está en ella. A Vanessa porque es una de las personas que más admiro en el mundo, es fuerte, resiliente, inteligente y sobre todo muy valiente, a Odin porque me ha enseñado la fortaleza y el perdón, y admiro mucho todo de lo que es capaz. Mis hijos siempre me dan grandes lecciones de vida; mi vida y mis logros no serían lo mismo sin ellos.

Mis hijos son la parte más importante de este proyecto, no solo por su apoyo, sino porque también se sacrificaron para que yo pudiera culminar este proyecto, porque me motivan a ser

mejor y a buscar la forma de dejar un mejor mundo para ellos. Simplemente son mi inspiración y lo que me da energía para seguir adelante.

A Alexander porque es mi nuevo motorcito de vida, hace mi vida más hermosa.

A mi amiga Xiadani porque siempre me oriento y me aconsejo durante la maestría, siempre pude contar con sus sabias recomendaciones.

A mi amigo José Lezama porque siempre me escucha y me aconseja, porque me recuerda la fortaleza que tengo y no permite que me rinda. Porque siempre está presente en mis momentos de luz y de oscuridad.

A mi amigo Giovanni Cortes porque desde el cielo sé que se siente orgulloso de mi, y en vida me alentó para que no me rindiera, me dio animo cuando sentía que no me estaban saliendo las cosas bien.

A mi amiga Karla Alejandra, a Julio y María José, por hacerme compañía en Cancún, por abrirme las puertas de su casa y sobre todo por todo su amor en cada visita.

A Charly por darme palabras de aliento en los días negros, por todo su apoyo en esta última etapa de la tesis, por su amor, compañía y cariño, porque me da ejemplos de vida muy importantes y me hace sonreír cuando siento que no puedo más.

A la Maestra Isabel porque dentro y fuera de la escuela siempre me cuida, me aconseja y está al pendiente de mí, porque es más que una maestra es una amiga para mí.

A la Dra. Laura Morí que durante toda la licenciatura me brindó su apoyo y su cariño.

Al Dr. José Luis Salinas que siempre me brindo su amistad y apoyo durante la licenciatura.

A mis amigas de la UASA Jaqueline, Galilea y Dulce que hicieron mi estancia menos solitaria y mucho más divertida.

A la Dra. Viviane y su esposo por todo el apoyo todo el tiempo, por preocuparse por mí y cuidarme siempre.

A Leslie por siempre mantener limpio el laboratorio, a pesar del desastre que hacía con las muestras, por hacerme sentir en casa y platicar conmigo.

A mi amiga Carmen Olvera porque me ayuda a salir de mis crisis y me hace sentir que puedo con todo.

A Italia por su apoyo en la traducción del resumen, mil gracias por tu apoyo amiga.

***“El peor error del ser humano es creer que  
un pequeño acto no marca la diferencia,  
cuando el primer efecto de la acción en sí  
es hacernos diferentes del resto de la humanidad”***

*Vicky Zellet*

## ÍNDICE GENERAL

1	Índice general	11
2	Índice de figuras	12
3	Índice de tablas	14
4	Índice de fotografías	14
5	Resumen	15
6	Abstract	16
7	Introducción	17
8	Antecedentes	30
9	Área de estudio	35
	9.1 Características de la zona de estudio	35
	9.2 Ubicación geográfica	35
	9.2 <sup>a</sup> Estaciones de muestreo 2016	37
	9.2 <sup>b</sup> Estaciones de muestreo 2018	39
	9.2 <sup>c</sup> Estaciones de muestreo 2021	40
	9.3 Clima	43
	9.4 Medio ambiente	45
	9.5 Turismo	46
10	Justificación	48
11	Objetivos	49
	11.1 Objetivo general	49
	11.2 Objetivos específicos	50
12	Hipótesis	50
13	Materiales y métodos	50
	13.1 Control	52

13.2 Muestreo 2016	53
13.3 Muestreo 2018	54
13.4 Muestreo 2021	55
13.5 Granulometría de Wenworth	60
13.6 Análisis de MP con espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR-ATR) de reflectancia total atenuada (Attenuated total reflection)	61
14 Resultados y Discusión	63
14.1 Resultados 2016	65
14.2 Resultados 2018	76
14.3 Resultados 2021	85
14.4 Comparación de resultados 2016-2021	96
14.5 Resultado de análisis de infrarrojo	115
15 Conclusiones	123
16 Anexo	126
17 Referencias	139

### Índice de figuras

Fig. 1 Tipos de microplásticos MP	18
Fig. 2 Tamaño de partícula de MP	20
Fig. 3 Ingreso de MP primarios al océano	21
Fig. 4 Mapa de las estaciones de muestreo 2016	37
Fig. 5 Mapa de las estaciones de muestreo 2018	39
Fig. 6 Mapa de las estaciones de muestreo 2021	40
Fig. 7 Mapa de la velocidad y dirección del viento	44
Fig. 8 Corrientes marinas en el Caribe mexicano	45
Fig. 9 Indicadores turísticos en Quintana Roo 2019	47

Fig. 10	Abundancia de MP 2016 de acuerdo con su forma	68
Fig. 11	Comparación de la abundancia de MP rígidos (MP) y fibras 2016	69
Fig. 12	Comparación de la abundancia de MP por zonas de playa	70
Fig. 13	Abundancia de MP 2016 por estación ordenadas de sur a norte	72
Fig. 14	Abundancia de MP por estación y forma 2016	74
Fig. 15	Abundancia de MP por color 2016	76
Fig. 16	Abundancia de MP 2018 por forma	79
Fig. 17	Comparación de la abundancia de fibras y MP rígidos 2018	80
Fig. 18	Abundancia de MP 2018 distribuidos en zonas de playa	81
Fig. 19	Abundancia de MP 2018 por estación ordenadas de sur a norte	82
Fig. 20	Abundancia de MP 2018 por forma y estación de muestreo	83
Fig. 21	Abundancia de MP por color 2018	84
Fig. 22	Abundancia de MP por forma 2021	89
Fig. 23	Comparación de la abundancia de MP rígidos y fibras 2021	90
Fig. 24	Abundancia de MP 2021 por zona de playa	91
Fig. 25	Abundancia de MP por estación ordenadas de sur a norte	93
Fig. 26	Abundancia de MP 2021 por forma y estación	94
Fig. 27	Abundancia de MP por color 2021	95
Fig. 28	Comparación de la abundancia de MP por forma por año de muestreo	102
Fig. 29	Comparación de la abundancia de MP por forma por cada muestreo	103
Fig. 30	Comparación de la abundancia de MP rígidos y fibras	104
Fig. 31	Comparación de la abundancia de MP por zona de playa	106
Fig. 32	Comparación de la abundancia de MP por estación y año muestreo	109
Fig. 33	Comparación de la abundancia de MP por color por año de muestreo	113
Fig. 34	Imagen de espectrometría de infrarrojo	117

Fig. 35	Abundancia de MP por tipo de polímero	117
Fig. 36	Mapa de las estaciones con mayor abundancia, abundancia alta y menor abundancia de MP	118
Fig. 37	Mapa de la relación de la abundancia de MP e índice turístico	120

### Índice de tablas

Tabla 1	Uso común del plástico	23
Tabla 2	División política de Quintana Roo e índice poblacional	36
Tabla 3	Estaciones de los muestreos 2016, 2018 y 2021	63
Tabla 4	Resultados del muestreo 2016	66
Tabla 5	Resultados del muestreo 2018	77
Tabla 6	Resultados del muestreo 2021	86
Tabla 7	Comparación de la abundancia de MP por zona de playa y año de muestreo	97
Tabla 8	Comparación de la abundancia de MP en las estaciones de muestreo 2016, 2018 y 2021	98
Tabla 9	Tamaño de grano de arena por estación de muestreo, clasificación Wentworth	110

### Índice de fotografías

Fotografía 1	Isla Mujeres	42
Fotografía 2	MP de muestreos	62
Fotografía 3	Prensa de espectrómetro	62
Fotografía 4	Imagen de espectrometría infrarrojo de una muestra de fragmento	63
Fotografía 5	Fragmentos de MP encontrados en la playa Santa Fe	92
Fotografía 6	Muestras de MP	116
Fotografía 7	Imagen de software de spectrum 100	116

## RESUMEN

Los microplásticos (MP) son partículas inferiores a 5mm, se dividen en primarios y secundarios, los MP primarios se utilizan en productos de higiene personal, cosméticos y productos de limpieza entre otros, los MP secundarios se originan de la fragmentación de plásticos más grandes. Debido a su tamaño los MP pueden acumularse en cualquier ambiente, ser ingeridos por la fauna, ingresar al ambiente marino y costero, ya sea por vertimientos directos, a través de escorrentías, desembocaduras de ríos, por acción del viento, corrientes marinas y oleaje entre otros. Los MP son clasificados como contaminantes emergentes, vectores de otros contaminantes o de bacterias y metales pesados, por lo que se ha puesto énfasis en el estudio de efectos en micro y macro fauna, así como en salud humana. En este estudio se completó el análisis del muestreo realizado en 2016 en las playas del estado de Quintana Roo. Se tomaron muestras de sedimento en 17 estaciones en 2018, y se realizó muestreo en 30 estaciones en 2021, con la finalidad de conocer si la abundancia de MP aumento a través del tiempo. En el muestreo 2016 se encontró un total de 168, 034 MP con un intervalo de 264 a 17, 610, el 93 % del total de MP fueron fibras. En el muestreo 2018 se encontró un total de 22 340 MP con un intervalo de 360 a 4,240, el 65 % del total de MP fueron fibras. En el muestreo 2021 se encontró un total de 100, 486 MP con un intervalo de 520 a 28, 478, el 43 % del total de MP fueron fibras. Aumentó la abundancia de MP primarios del muestreo en 2016 en el cual se encontró un total de 0.01 % de MP primarios al muestreo en 2021 en el cual el porcentaje fue de 0.84 %. La zona de costa con mayor abundancia de MP fue la zona de post playa aproximadamente entre 10 y 15 metros de distancia de la zona intermareal. Los principales tipos de polímeros encontrados fueron polietileno (PE) 33% y polipropileno (PP) 29%. Aumento la abundancia de MP primarios, de MP en forma de fragmentos y films. Los MP con mayor abundancia fueron en color blanco, transparente y azul.

## ABSTRACT

Microplastics (MP) are particles smaller than 5 mm, they are divided into primary and secondary, primary MP are used in personal hygiene products, cosmetics and cleaning products among others, secondary MP originate from the fragmentation of larger plastics. Due to their size, MP can accumulate in any environment, be ingested by fauna, enter the marine and coastal environment, either by direct discharges, through runoff, river mouths, by the action of wind, marine currents and waves among others. MP are classified as emerging pollutants, vectors of other pollutants or bacteria and heavy metals, so emphasis has been placed on the study of effects on micro and macro fauna, as well as on human health. This study completed the analysis of the sampling carried out in 2016 on the beaches of the state of Quintana Roo. Sediment samples were taken at 17 stations in 2018, and sampling was conducted at 30 stations in 2021, in order to determine whether MP abundance increased over time. In the 2016 sampling, a total of 168,034 MP were found with a range of 264 to 17,610, 93% of the total MP were fibers. In the 2018 sampling, a total of 22,340 MP were found with a range of 360 to 4,240, 65% of the total MP were fibers. In the 2021 sampling, a total of 100,486 MP were found with a range of 520 to 28,478, 43% of the total MP were fibers. The abundance of primary MP increased from the 2016 sampling, in which a total of 0.01% of primary MP was found, compared to the 2021 sampling, in which the percentage was 0.84%. The coastal area with the highest abundance of MP was the post-beach area, approximately 10 to 15 meters away from the intertidal zone. The main types of polymers found were polyethylene (PE) 33% and polypropylene (PP) 29%. The abundance of primary MP, MP in the form of fragments and films, increased. The MP with the highest abundance were white, transparent, and blue.

## INTRODUCCIÓN

Los microplásticos (MP) constituyen un problema de contaminación ambiental, son un problema creciente de preocupación internacional, ya que poco se conoce sobre los efectos del consumo accidental de MP por parte de la fauna marina, la fauna local, incluso por parte de los seres humanos, la posible alteración en el sistema endocrino y reproductor de los animales o los efectos que toxicológicamente podría tener el consumo de MP, además de la carga toxicológica en pequeños organismos. El viento y las corrientes marinas juegan un papel muy importante en la fragmentación de los plásticos y MP, además de la localización de estos a lo largo de la línea de costa desde el submareal hasta la post playa, inclusive en la zona pelágica. Los microplásticos se definen como partículas plásticas con tamaño inferior a 5mm (Barnes et al. 2009; Cole et al., 2011; NOAA, 2015; Mazariegos-Ortíz et al., 2020) y se dividen en dos categorías: primarios y secundarios, según su origen: los primarios fueron creados como MP (pellets o microesferas). Por ejemplo, las microesferas se encuentran presentes en artículos de higiene y cuidado personal, como cremas faciales, pasta de dientes o detergente de ropa, entre otros, y los secundarios son el producto de la degradación de cualquier tipo de material plástico más grande, hasta alcanzar tamaños correspondientes a los MP (figura 1), estos se presentan en muy diversas formas como fragmentos, espumas, fibras, películas irregulares, y esferas (Rocha-Santos y Duarte, 2015; Mazariegos-Ortíz et al., 2020).

Las colillas de cigarro están catalogadas como contaminantes plásticos, ya que se componen fibras de acetato de celulosa, cada colilla puede contener hasta 15,000 hebras de fibra plástica desmontable, Shen et al., (2021) afirman que alrededor de 300,000 toneladas de fibras microplásticas de este origen, por lo que son considerados como MP secundarios, pueden ingresar al medio acuático cada año, se ha informado que la contaminación por colillas de cigarro supera la abundancia de desechos plásticos por pajitas, bolsas de plástico, tapas de

botella y envoltorios de alimentos (Veiga et al., 2016; OMS, 2017; Belzagui et al 2021) . Actualmente los MP están catalogados dentro de los contaminantes emergentes (Andrady, 2011). Los plásticos pueden detectarse y hasta recolectarse una vez en el océano, sin embargo, los MP no comparten este mismo destino por lo que hoy en día son omnipresentes en el océano (Andrady, 2017).



Fig. 1 Tipos de microplásticos (MP) (fuente propia)

La degradación de los plásticos dependerá tanto de su origen, como de las condiciones en las que se encuentran expuestos en el ambiente. La exposición prolongada a la luz solar puede provocar foto degradación, ya que la radiación UV provoca la oxidación de la matriz del polímero, por lo cual, se rompen los enlaces entre éstos y se fragmentan (Andrady, 2011; Cole et al., 2011). Los desechos plásticos en las playas están expuestos directamente a la luz solar, el viento, la acción de las olas y la abrasión, así como a la disponibilidad de oxígeno prevaeciente en la localidad, por lo que se pueden degradar rápidamente y se vuelven

quebradizos (Browne et al., 2007; Barnes et al., 2009; Andrady, 2011; Cole et al., 2011). Sin embargo, dentro del océano, los plásticos pueden degradarse muy lentamente debido a las bajas temperaturas del agua en el mar, además de que estos plásticos se ensucian con organismos marinos, es decir, los organismos recubren el plástico formando una biopelícula microbiana, por lo que los plásticos quedan protegidos de la radiación UV, y su degradación se vuelve lenta (Barnes et al, 2009).

Los procesos de degradación ambiental como la radiación UV, la oxidación, la degradación mecánica o la biodegradación tardarán cientos de años en eliminar a los microplásticos, (Thompson et al., 2004; Tiwari et al., 2019). Barnes et al. (2009) aseguran que los residuos plásticos podrían tardar hasta miles de años en degradarse en ambientes polares no superficiales o en aguas profundas.

La degradación va fragmentando los plásticos en diferentes tamaños de plástico macro ( $\geq 25\text{mm}$ ), meso ( $< 25\text{mm}-5\text{mm}$ ), micro ( $\leq 5\text{mm}-1\mu\text{m}$ ) y otras partículas de nanoplasticos ( $\leq 1\mu\text{m}$ ) (Cózar et al., 2014; Lambert y Wagner, 2016; Crawford y Quinn, 2017; Tiwari et al, 2019).

La clasificación por tamaño de los MP varía de un estudio a otro (Figura. 2) debido a que aún no se ha estandarizado el tamaño de MP, cada autor utiliza una medida diferente : para Graham y Thompson (2009), los MP tienen un diámetro de  $\leq 10\text{mm}$ ; Barnes et al. (2009) proponen  $\leq 5\text{mm}$ , Deraik (2002) considera entre 2-6mm, para Ryan et al. (2009)  $\leq 2\text{mm}$ , Browne et al. (2010) consideran que es  $\leq 1\text{mm}$ , para este estudio se considerara el rango de MP  $\leq 5\text{mm}$  ( Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011; NOAA, 2015).

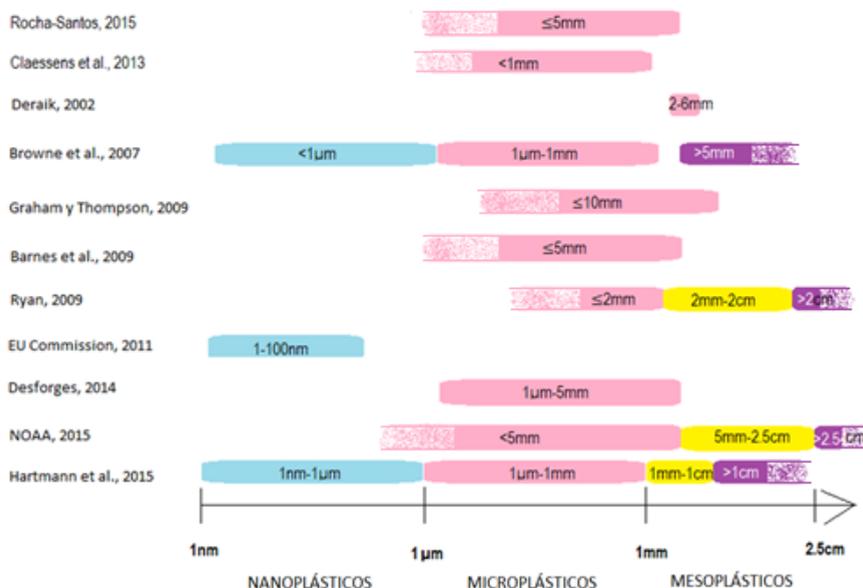


Fig. 2. Tamaño de partícula de MP (fuente propia)

Los MP primarios pueden ingresar al medio ambiente marino ya sea por ingreso directo o a través de ríos, escorrentías, viento, corrientes marinas o proximidad de zonas urbanas o turísticas (Flores-Ocampo, 2023), por medio de aguas residuales, ya que están presentes en diversos productos de higiene y cuidado personal (figura 3) por lo que los MP son cada vez más abundantes. También pueden ingresar por derrame o pérdida en su manejo y/o traslado industrial. El uso de los MP primarios está comenzando a regularse, sin embargo, esto no es posible en el caso de los MP secundarios (Andrady, 2017). Los MP secundarios al provenir de plásticos más grandes, presentan diversas formas de ingreso al medio ambiente: Son comunes a ambos, el transporte por el viento, las corrientes costeras y oceánicas, las mareas, los fenómenos meteorológicos, y los favorece la cercanía de centros urbanos (Kukulka et al., 2012; Sandri y Thompson, 2014; Yonkos et al., 2014; Nel y Froneman, 2015).

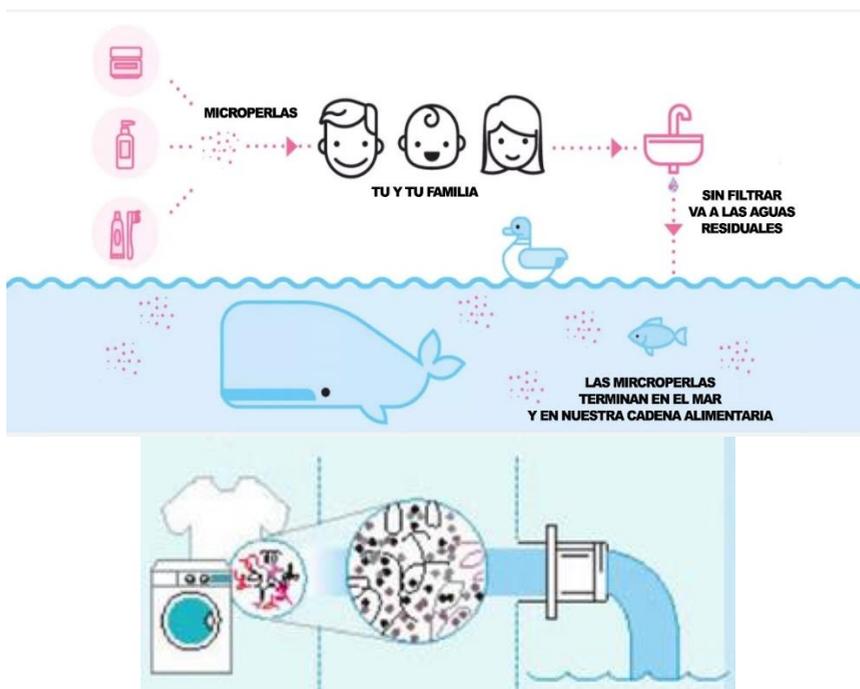


Fig. 3 Ingreso de MP primarios al océano (fuente: Revista Familia, Ambiente Europeo)

La palabra plástico hace referencia a la plasticidad del material con el que son fabricados. Sin embargo, no se refiere a un material en particular. Los plásticos son polímeros orgánicos sintéticos, que se derivan de la polimerización de monómeros extraídos de petróleo o gas, (Derraik, 2002; Ríos et al., 2007; Thompson et al., 2009; Cole et al, 2011) que se combinan con otras sustancias, por ejemplo, con dibutilftalato, dietilftalato o hexabromociclododecano que les confieren sus diversas propiedades como textura, resistencia, maleabilidad, temperatura, brillo y flexibilidad, entre otros (Plastics Europe, 2016; Téllez-Alcántar, 2019).

Los plásticos se encuentran en innovación constante por lo que han cambiado mucho desde su aparición en 1860, año en que se creó la celulosa. Actualmente son materiales de bajo costo, ligeros, versátiles, de diferentes clases y usos, con características de mayor resistencia, durabilidad y flexibilidad entre otros. Su demanda a nivel mundial es alta en los diversos sectores en donde es utilizado, como automotriz, construcción, eléctrico, agricultura, turismo, alimentos, medicina, hogar, entretenimiento y deportes, entre otros (Plastic Europe, 2019).

Sin embargo, estas propiedades que les confieren tan maravillosas características de uso, conllevan a que su degradación y eliminación se dificulte, ya que también se vuelven resistentes a ser degradados, por lo que estos materiales complejos terminan ingresando al medio ambiente en forma de residuos, lo que puede tener graves consecuencias (Barnes et al, 2009; Andrady, 2011; Bullard, 2021).

Debido a la constante innovación, el uso y demanda también siguen en aumento: en 2022, se alcanzó la producción mundial más alta de plástico, con un total de 400.3 millones de toneladas (Plastic Europe, 2023). En 2016, la producción mundial promedio de plástico fue de 335 millones de toneladas, de las cuales entre el 33 y el 50 % fue diseñado para ser no reutilizable (Crawford y Quinn, 2017; Alimba y Faggio, 2019; Garcés-Ordóñez et al., 2020). Existe una gran variedad de polímeros plásticos utilizados a nivel mundial hoy en día, sin embargo, los más comunes son (tabla 1) el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el tereftalato de polietileno (PET) y el cloruro de polivinilo (PVC) (Curren et al, 2021).

Tabla 1. Uso común del plástico

TIPO DE PLÁSTICO		DENSIDAD	PORCENTAJE DE PRODUCCIÓN	USO
Poliétileno de baja densidad	LDPE LLDPE	0.91-0.93	14.4%	bolsas de plástico, anillos para six pack, redes, popotes, material para empaquetar, material médico, envasado de alimentos
Poliétileno de alta densidad	HDPE	0.94	12.5%	envases de leche y jugo, bolsas, tubería, botellas, juguetes, envases de cosméticos, cascos
Polipropileno	PP	0.85-0.83	19.3%	cuerdas, tapas de botellas, redes, piezas de autos, ropa, textiles, embalaje, envases de todo tipo, material de construcción, suministros de hospitales, vestimenta desechable, elementos deportivos, juguetes
Poliestireno	PS	1.05	5.3%	utensilios de plástico, recipientes de comida, material, electrónico, juguetes, embalaje
Poliestireno espumado				flotadores, utensilios de unicel, material de embalaje
Nylon	PA		3%	redes y trampas, ropa
Poliéster termoplástico	PET	1.37	6.2%	botellas de bebida, material de embalaje
Poli cloruro de vinilo	PVC	1.38	12.9%	botellas, vasos, piezas de autos
Acetato de celulosa	CA			filtros de cigarro

(Fuente: Andrady, 2011., Plastic Europe, 2022., Fabricadeinyeccion.com. ibpuniuso)

Geyer et al. (2017), describe que la vida útil de los productos plásticos producidos para los sectores industriales y embalaje es inferior a un año, Garcés-Ordóñez et al. (2020) afirman que en productos textiles es entre 1 - 6.5 años, los productos electrónicos, eléctricos y de transporte tienen una vida útil de entre 6.5 -16 años, materiales para la edificación, la construcción y maquinaria industrial entre 16 - 40 años, por lo que el mal manejo, así como una mala gestión de recolección de residuos, ocasiona que terminen en los ríos y océanos. De los desechos que en la actualidad se encuentran en el océano, el 80% corresponden a residuos plásticos de origen terrestre, el 18% se atribuyen a la industria pesquera, pues los artes de pesca utilizados, a menudo terminan siendo olvidados convirtiéndose en desechos marinos (Andrady, 2011). Estos artes de pesca desechados o perdidos, tienen una flotabilidad neutra por lo que pueden ir a la deriva y navegar largas distancias en las cuales es común que

ocasionen que la biota marina quede enredada en éstos, lo que comúnmente se conoce como pesca fantasma (Lozano y Mouat, 2009).

El turismo costero, la pesca recreativa y comercial, las embarcaciones y las industrias marinas son todas, fuentes de plástico que puede ingresar al medio marino (Cole et al., 2011). El turismo ha aumentado considerablemente en los últimos 70 años, la OMT (Organización Mundial de Turismo) informó que en 1950 el turismo mundial era de 25 millones de personas a nivel internacional, mientras que para 2017 aumentó a 1.326 millones de turistas, siendo Quintana Roo un destino turístico predilecto, que en 2019 tuvo un total de 16, 753, 844 turistas (SEDETUR, 2019). El turismo y actividades de recreación dan como resultado la presencia de una gran variedad de plásticos a lo largo de las playas y costas (Derraik, 2002).

Se estima que aproximadamente entre 4.8 - 12.7 millones de toneladas métricas de residuos plásticos llegaron a los océanos en 2010 (Jambeck et al., 2015), lo que representa entre el 42 y el 96% de residuos en el mar y ambientes costeros (Iñiguez et al., 2016; Garcés-Ordóñez et al., 2020).

La alta persistencia, producción (Andrady y Neal, 2009) y el aumento del consumo-descarte de los materiales plásticos (Hopewell et al., 2009; Martins et al., 2011), además del aumento de la población en la zona de costa, la disposición de grandes volúmenes de plásticos mal manipulados (Martins et al., 2011), las bajas tasas de reciclaje, un mal manejo de residuos, aunado a que gran parte de la basura termina en tiraderos al aire libre (Dris et al., 2016; Liu et al 2019), conlleva a que principalmente los ríos y el viento transporten gran cantidad de plásticos (Barnes et al., 2009; Zhao et al., 2014; Wang et al., 2019;) teniendo como consecuencia la acumulación de estos en los océanos y a lo largo de las costas (Téllez-Alcántar, 2019).

La granulometría de los sedimentos de las playas juega un papel muy importante, ya que el tamaño de grano de arena más pequeño favorece la acumulación de MP (Gregory, 2009; Martins et al., 2011).

Además, los fragmentos de plástico en las playas arenosas provocan cambios en la permeabilidad y la transferencia de calor entre los granos de sedimento, lo que podría afectar a los organismos en la playa (Carson et al., 2011; Hidalgo et al., 2013).

Una vez que los plásticos se encuentran en el medio ambiente, entran en contacto directo con los agentes de degradación antes mencionados, los cuales provocan su fragmentación, aligerándolos, por lo que pueden viajar grandes distancias por medio del viento o de corrientes oceánicas y se acumulan en giros oceánicos (Moore et al., 2001; Wang et al., 2013; Hidalgo et al., 2013).

La densidad promedio del agua de mar va de 1,027 a 1,029  $\text{Kg/m}^3$ , esta variación depende de la salinidad y de la temperatura del océano. Una vez que los MP ingresan al océano, pueden flotar en su superficie, permanecer en la columna de agua, o hundirse hacia el fondo marino dependiendo de su densidad; es decir, aquellos plásticos con una densidad inferior a 1,020  $\text{Kg/m}^3$ , como son el PE, el PP, el PS, entre otros, permanecen en la columna de agua y superficie, y los de alta densidad por ejemplo el PET y el PVC se hunden, y se acumulan en el sedimento.

La densidad común de los plásticos va de 910 a 2,018  $\text{Kg/m}^3$ , los MP de alta densidad, es decir, densidad mayor al agua de mar, tienden a hundirse, sin embargo, éstos podrán permanecer en suspensión en el mar debido a la influencia de frentes de marea, altos niveles de flujo, o si el MP tiene una gran superficie (Browne et al., 2010; Cole et al, 2011) y

permanecerán en la columna de agua hasta que pierdan esta influencia de movimiento (Barnes et al., 2009).

Los MP que ya se encuentran en el fondo marino pueden volver a estar en suspensión debido a la turbulencia o corrientes de turbidez (Lattin et al., 2004; Cole et al, 2011). Lattin et al. (2004), realizaron un estudio donde afirman que los MP se encuentran abundantemente en el lecho marino en condiciones normales. Sin embargo, después de una tormenta, se pueden fácilmente redistribuir en la columna de agua. Existe evidencia de que organismos incrustantes se adhieren al plástico modificando su flotabilidad, haciendo que se hundan (Barnes et al., 2009, Browne et al., 2010; Cole et al, 2011). Es decir, los desechos plásticos en el medio marino pueden acumular una biopelícula microbiana, que a su vez facilita la colonización de algas e invertebrados en la superficie del plástico, aumentando su densidad ocasionando su hundimiento (Andrady, 2011).

Se deben considerar todos los factores antes mencionados con respecto a la flotabilidad de los plásticos y MP, ya que diversas variables les permiten fácilmente permanecer en la columna de agua o hundirse, aunque su densidad sea menor a la densidad del agua de mar, es decir una densidad baja.

Los MP llegan a ambientes marinos principalmente a través de aguas residuales no tratadas (Cole et al., 2011; Philip et al., 2018; Wang et al., 2019; Cowger et al., 2019; Garcés-Ordóñez et al., 2020). La ONU estima que la cantidad de aguas residuales producidas anualmente es de 1500 km<sup>3</sup>, seis veces más agua que la que existe en todos los ríos del mundo (UN WWAP, 2003; Geissen et al., 2015).

En un estudio realizado por Murphy et al. (2016), se observó que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) disminuyen la abundancia de MP en el efluente en 98% (Murphy et al., 2016, Tawari et al., 2019; Ramírez-Álvarez, 2020). Sin embargo, Murphy et al. (2016), calcularon que aun después del tratamiento en estas aguas residuales se liberan 65 millones de MP al agua receptora, es decir, una cantidad considerable de MP, los cuales en la mayoría de los casos terminan en el océano. En áreas densamente pobladas, las fibras y las microfibras son más abundantes (Li, 2001). Browne et al. (2011), afirman que las prendas sintéticas al ser lavadas, liberan al desagüe aproximadamente 1,900 fibras, en cada descarga.

La importancia creciente del estudio de presencia de MP en el ambiente se deriva de los efectos aun escasamente investigados sobre la fauna que los ingiere y que pueden ser incluso letales. Los plásticos y algunos MP al ser ingeridos por la fauna, pueden causar bloqueo y daños físicos en su tracto digestivo (Tourinho et al., 2010), sensación de pseudo-saciedad que resulte en una reducción de ingesta de alimentos (Derraik, 2002, Thompson, 2006), y hasta rasgamiento o laceración en el estómago; los MP de tipo fibra son especialmente peligrosas ya que pueden anudarse y evitar la egestión (Murray y Cowie, 2011).

Los MP pueden ser inductores de apoptosis y necrosis activando el estrés oxidativo, daño oxidativo del ADN, detención del ciclo celular y aumento de la necroptosis en ratones (Wu et al., 2023); causar aumento en las tasas de división celular y posible deterioro en funciones cognitivas y conductuales en peces, además ser causantes de neurotoxicidad (Santos et al., 2022); alterar el sistema endocrino y reproductivo, así como, aumentar la carga tóxica en organismos pequeños ( Galgani et al., 2010; Wright et al., 2013).

Los MP pueden ingresar al cuerpo humano a través de ingestión, inhalación y contacto con la piel, pueden producir toxicidad celular y efectos tóxicos en múltiples órganos y sistemas, sin

embargo; el impacto en el cuerpo y la salud humana no es concluyente aún (Zheng et al., 2023).

En un estudio realizado en China por Li Huan et al., (2023), se analizó agua embotellada de 10 marcas comunes y agua directa del grifo, en este estudio se identificaron 17 tipos de polímeros, se detectó una abundancia promedio de MP en el agua embotellada de 72.32+-44.64 MP/L, Li Huan et al. (2023), afirman que la heterogeneidad de datos limita la evaluación de riesgos en la salud.

Los MP también son vectores potenciales de bacterias, pueden adsorber contaminantes orgánicos persistentes (COP) (Karapanagioti y Klontza, 2008; Jayasiri et al., 2013), contaminantes emergentes (CE), productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP) (Soursou et al., 2023), son portadores de metales pesados (Santos et al., 2022) y pueden ser huéspedes de organismos patógenos (Wang et al., 2019).

Conjuntamente los aditivos utilizados en la fabricación de materiales plásticos como retardantes de llama o dibutilftalato (DBP), dietilftalato (DEP), o hexabromociclodecano (XPS o HBCD), que les confieren sus diversas propiedades como textura, resistencia, maleabilidad, temperatura, brillo, flexibilidad, entre otros (Plastics Europe, 2016), tienden a ser acumulados en los organismos.

Liu Yi (2021) afirma que los MP pueden formar comunidades bacterianas y adsorber contaminantes del entorno circundante que proporcionan huéspedes potenciales y ejercen una posible presión de selección de ARG (los genes de resistencia a los antibióticos). Afirma la aparición y transporte de ARG en MP encontrados en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Ribeiro et al. (2017) observaron en *Scrobicularia plana* daño oxidativo en el ADN y neurotoxicidad, derivado de la ingesta de MP, la acumulación en el tejido digestivo, así como cambio en las células digestivas y traslocación hemolinfica en *Mytilus Edulis* (Cole et al., 2020).

Los bivalvos tienen una absorción mayor de MP que otros invertebrados costeros (Setälä y col., 2016 y Wesch et al., 2016; Wang et al., 2021), debido a que son animales que se alimentan por filtración capturando alimento particulado en el agua, por lo que son considerados como indicadores de contaminación plástica.

Realizar un estudio profundo referente a los MP es difícil de desarrollar, debido a que no existe una estandarización de la toma de muestras, además existen diversas metodologías de muestreo y análisis, aunado a la abundancia de MP a nivel mundial, así como diferente gama de tamaños no estandarizados de MP. (Ryan et al., 2009, Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011).

En diversos estudios los MP más abundantes corresponden a fragmentos de poliestirenos (PS), polietileno (PE) y polipropileno (PP) (Classens et al., 2011; Wessel et al., 2016; Karthik et al., 2018; Sagawa et al., 2018; Simon-Sánchez et al., 2019; Mazariegos-Ortiz et al., 2020). El PP se usa a menudo para fabricar, tapas de botellas, cuerdas, alfombras, equipo de laboratorio y pajitas para beber (popotes), mientras que el PE se usa en bolsas de supermercado y botellas de plástico. El PE y PP son los principales polímeros utilizados en la fabricación de microperlas y pellets (Rocha-Santos y Duarte, 2015; Mazariegos-Ortiz et al., 2020).

## ANTECEDENTES

En 1860 se inventó el primer tipo de plástico llamado celulosa, posteriormente la baquelita comienza a ser utilizada, hacia los años 30 se inventa el polipropileno y poliestireno, así como la Poliamida Nylon utilizada hacia finales de la segunda guerra mundial, en la década de los 70 se comienza a comercializar el PVC y en los años ochenta el PET (tereftalato de polietileno).

El plástico ha estado presente en prácticamente en todo el mundo desde los años 50's con una producción 1.5 de millones de toneladas anuales, sin embargo, en 2022 la producción mundial ha aumentado a 400.3 millones de toneladas (plasticseurope, 2023). Las maravillosas propiedades del plástico, como son su resistencia y durabilidad se convierten en un problema cuando los plásticos se vuelven residuos, ya que también son resistentes a la degradación, convirtiéndose en un problema de contaminación mundial.

Carpenter et al. (1972) hicieron mención del primer MP en columna de agua, en Inglaterra, cinco años más tarde Gregory menciona pellets que contaminaban Nueva Zelanda, posteriormente en 1979 Shiber, comenta por primera vez la presencia de pellets contaminando las playas de Líbano. Dos décadas más tarde Thompson et al., (2004) elaboran un reporte de microplásticos inferiores a 1 mm presentes en sedimentos alrededor del mundo que son acumulados en zonas pelágicas y contaminan el ambiente marino, como resultado de la fragmentación de plásticos distribuidos en el océano y arrastrados por las corrientes marinas. En 2011 Andrady menciona que los contaminantes orgánicos persistentes (COP) se encuentran presentes en toda el agua de mar en concentraciones muy bajas y que son adsorbidos por los meso y microplásticos, siendo posteriormente consumidos por los organismos. Fisher (2015) menciona que la concentración de MP va desde 60 hasta 2000

fragmentos de plástico por metro cuadrado de sedimento en profundidades, incluso superiores a los 5,000 m.

La contaminación por MP hasta hace unos años era desconocida, sin embargo, es un problema que va en aumento. En la actualidad existen plásticos en cualquier lugar del planeta por recóndito que este parezca. No obstante, existen pocos trabajos de investigación a nivel nacional que evalúen, hagan un análisis o arrojen soluciones a este problema, por lo que es necesario profundizar en la investigación de esta índole y hacer énfasis en que es un problema, ambiental, estético y de salud, por lo que el estudio debe hacerse desde una perspectiva científica, socioeconómica, ambiental y de salud.

El exceso de residuos plásticos a nivel mundial es un problema con soluciones mínimas, sin embargo, el tema de los MP, suele ser discriminado debido a las dificultades de recolección o muestreo, algunos ni siquiera son perceptibles para el ojo humano, a pesar de que actualmente va en aumento el análisis de contaminación por MP sigue siendo insuficiente ya que es un problema que avanza rápidamente en todo el mundo. Como afirman Farré et al. (2011), Richardson y Ternes(2011), los métodos de muestreo y análisis ambiental para los MP se encuentran en el estado inicial o prácticamente no existen, en la actualidad aún no se tiene establecido un método de muestreo estandarizado.

Sánchez Hernández (2018) y Retama (2016) usaron muestras de 30 g para análisis en sus respectivos trabajos, Ramírez Álvarez (2020) en su método de recolección tomo 0.1m<sup>2</sup> de sedimento con ayuda de una cuchara Van Veen en cada una de sus muestras. Mazariegos-Ortiz et al. (2020) para la recolección de sus muestras trazaron un transecto horizontal de 100m sobre línea de marea alta, dividido en 5 puntos equidistantes, en cada punto se trazó un cuadrante de 50x50 cm en los cuales se tomó la capa superficial de 1.0 cm de sedimento con

ayuda de una espátula de acero inoxidable. Hidalgo-Ruz et al. (2013) utilizaron también cuadrantes de 50x50 cm, sin embargo, tomaron los 2 cm superiores de sedimento. Sánchez – Hernández et al. (2021), utilizaron 30 g de sedimento de cada una de sus 15 muestras para el análisis de su estudio), la arena se depositó en bolsas de plástico debidamente etiquetadas para ser revisadas al microscopio.

Los primeros trabajos experimentales sobre efectos de los MP en organismos marinos en México fueron realizados por Amaya Márquez, que en 2013 realizó una investigación en costas de Quintana Roo, México, sobre efectos por ingestión de MP bajo diferentes condiciones experimentales en el ofiuro (*Ophiocoma echinata*) pero éstas no se dieron a conocer sino hasta 2016. Gómez Hernández que en 2014 realizó en las costas de Quintana Roo una investigación sobre la influencia del PVC y el fluoranteno sobre *Eupolyornia rullieri* e *Isognomon alatus*, dando como resultado un aumento positivo entre la relación de consumo de alimento y la cantidad de MP presentes (Gómez Hernández, 2016; Téllez-Alcántar, 2019).

En 2016 Retama et al., contabilizaron fibras y microplásticos de 70 muestras de sedimento en las playas de Huatulco al oeste del estado de Oaxaca, obteniendo como resultado un total de 374 MP en el muestreo realizado en abril 2013 y 518 en el muestreo realizado en diciembre de 2014 (Retama Gallardo, 2016; Téllez-Alcántar, 2019).

Ramírez-Álvarez en Baja California en la Bahía de Todos Santos, tomó muestras en agua superficial, sedimentos y efluentes de agua residual con dos eventos de muestreo en 2016 y 2017, dando como resultado 441 MP en agua superficial en 2016, con un mínimo de 3 y un máximo de 100 MP, los resultados en 2017 fueron de un total de 384 MP, con un mínimo de 6 y un máximo de 2017 MP. La muestra en sedimento arrojó un total de 5,667 MP con un mínimo de 85 y un máximo de 2,494 MP. La corriente de agua se dividió en dos tomas de muestra, en

la primera con un resultado de 5,869 MP, con mínimo de 27 MP y un máximo de 1,556, en la segunda toma un total de 8,465 MP, con un mínimo de 265 MP y con un máximo de 1,165 . En las muestras de agua el MP predominante fue polipropileno y polietileno, en muestras de sedimento fue resina de alquilo y PP- PE, mientras que en efluentes de agua fue el PVC y el PP.

En 2017 en Bahía de la Paz, Baja California Sur, Olavarrieta García encontró MP de forma esférica, filamentos, y fragmentos de colores blanco, negro, rojo, azul y verde. Demostró que el polímetro más común fue el polietileno.

Sánchez Hernández (2018), realizó un estudio en Tecolutla, Veracruz, en el cual se analizó la presencia de MP en peces, columna de agua y sedimentos. Los resultados arrojaron que se encontraron 298 MP en el tracto digestivo de *Ariopsis felis*, en la columna de agua medida en 27 litros de agua de 3 estaciones climáticas diferentes se contabilizaron 452 MP y por último se analizaron 600 g de sedimentos de 15 muestras, en las cuales se obtuvo un total de 73 MP.

En 2020 Ríos-Mendoza et al. realizaron un a investigación en el Sureste del Golfo de California tomando muestras de arena, agua superficial y trampas de sedimento con un resultado de 40 a 782 MP/m<sup>2</sup> en sedimento, con un porcentaje de 75% de fibras en sedimento y de un 59-80% de fragmentos en agua de superficie, con mayor abundancia de polietileno, polipropileno y polietilertefalato.

Álvarez et al. (2020) realizaron un estudio en 33 playas del Golfo de California teniendo como resultado de 31.7 a 545.8 MP/ m<sup>2</sup>, la concentración más alta de MP fue en una playa urbanizada en Sinaloa, la playa con menor abundancia de MP fue una playa rural en Baja California.

Cruz- Salas et al. (2018) realizaron un estudio en la Isla de Holbox, recolectaron muestras en tres estaciones, en la estación 1 y 3 recolectaron muestras un día y en la estación 2 la recolección fue por 2 días consecutivos, eligieron una cuarta estación localizada en una playa virgen de Holbox, en la que recolectaron meso (fragmentos mayores a 5 mm) y macro plásticos en un transecto de 1 km durante el cual recolectaron las muestras plásticas durante 2 días. En la estación 1 se encontró la abundancia mínima 10.58 MP/m<sup>2</sup>, y en la estación 3 la abundancia máxima con 105.81 MP/m<sup>2</sup>, en la estación 1 la forma de MP más común fueron fragmentos los cuales corresponden al 52.2% del total de MP y en la estación 3 se encontró una abundancia de 70.4% de fragmentos, en la estación 1 se encontró una de abundancia de fibras del 33.3% y en la estación 3 la abundancia fue de 18.5%, en la estación 2 se encontró un 17.4% de films y en la estación 3 la abundancia fue de 11.1%, MP en forma de espumas solo se encontraron en la estación 2, con una abundancia de 30.4%. En la estación 4 se encontraron 24 macro residuos y 30 fragmentos el día 1, 47 macro residuos y 25 fragmentos el día 2.

Este estudio forma parte del Proyecto “Evaluación de los MP en las costas de México y sus efectos en invertebrados marinos” del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos, bajo la dirección de la Dra. Vivianne Solís-Weiss, perteneciente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM, como parte de este trabajo se terminaron ya dos tesis de licenciatura en 2019, con un total de 46 estaciones de muestreo de Chetumal hasta Holbox, estas tesis llevaron a cabo la cuantificación de MP de fracción A en la zona norte de Quintana Roo, por parte de la Lic. Castro-Zarate (2019) la cual dio como resultado un total de 957 MP, de los cuales el intervalo fue de 16 a 139 MP en 19 estaciones de muestreo. La zona Oeste de la Isla de Holbox fue el sitio con más abundancia de MP el mínimo se registró en la zona Norte de Isla Mujeres, de los cuales el 73.24 % corresponde a fibras, siendo los colores más predominantes el amarillo translucido, el blanco, transparente y

negro. Y en la zona sur por Téllez-Alcántar (2019) con un resultado de un total de 126, 600 MP/L en las 27 estaciones de muestreo de los cuales 109, 020 fueron fibras. El 14.8% de los MP corresponden a la fracción A (fracción de tamiz 5mm- 0.5mm) y el 85.2% a la fracción B (fracción de tamiz inferior a 0.05mm). Del total de MP/L 84,304 fueron MP blancos y transparentes, ya sea fibras o fragmentos, el segundo color más abundante fue el azul ya que se obtuvieron 30,564 partículas incluyendo fragmentos y fibras, en menor cantidad se encontraron MP/L color negro (4,216 partículas), rojo (2,868) y amarillo (2,708).

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el estado de Quintana Roo, en el muestreo 2016 se recolectaron muestras de sedimento en 46 estaciones desde Chetumal hasta Holbox (figura 4), en el muestreo 2018 se recolectaron muestras en 17 estaciones desde Punta Allen a Isla Blanca (figura 5), y en el muestreo 2021 se recolectaron muestras en 30 estaciones desde Chetumal hasta Holbox, incluyendo Isla Mujeres y Cozumel (figura 6).

## Características de la zona de estudio

### Ubicación geográfica

El estado de Quintana Roo se localiza en la península de Yucatán, colinda al norte con el estado de Yucatán y el Golfo de México, al este con el Mar Caribe, al sur con Belice y al oeste con los estados de Campeche y Yucatán. Se divide en once municipios, con una población de 1,857,985 habitantes (INEGI, 2020) cuenta con una superficie de 44,705.2km<sup>2</sup>. En 2020 el 49.05de su población se encontraba ubicada en el municipio de Benito Juárez (INEGI, 2020)

(tabla 2). El 79% de las unidades económicas al 2013, se encontraban en Benito Juárez, Othón Blanco y Solidaridad (INEGI, 2013).

Tabla 2. División política de Quintana Roo e índice poblacional.

MUNICIPIO	NO. HABITANTES	SUPERFICIE KM <sup>2</sup>
COZUMEL	88626	488
FELIPE CARRILLO PUERTO	83990	13432
ISLA MUJERES	22686	422
OTHÓB BLANCO	233648	17190
BENITO JUARÉZ	911503	1664
JOSÉ MARÍA MORELOS	39165	6739
LÁZARO CÁRDENAS	29171	3881
SOLIDARIDAD	333800	2278
TULUM	46721	2024.111
BACALAR	41754	7161
PUERTO MORELOS	26,921	1043.92

Quintana Roo cuenta con un litoral de 1,176 kilómetros, que representa el 10.5% del litoral nacional, por lo cual el Estado se ubica en el cuarto lugar con mayor extensión de litoral del país (INEGI, 2004). Además, posee una superficie de 264,000 ha de bahías (Foro ambiental,2017).

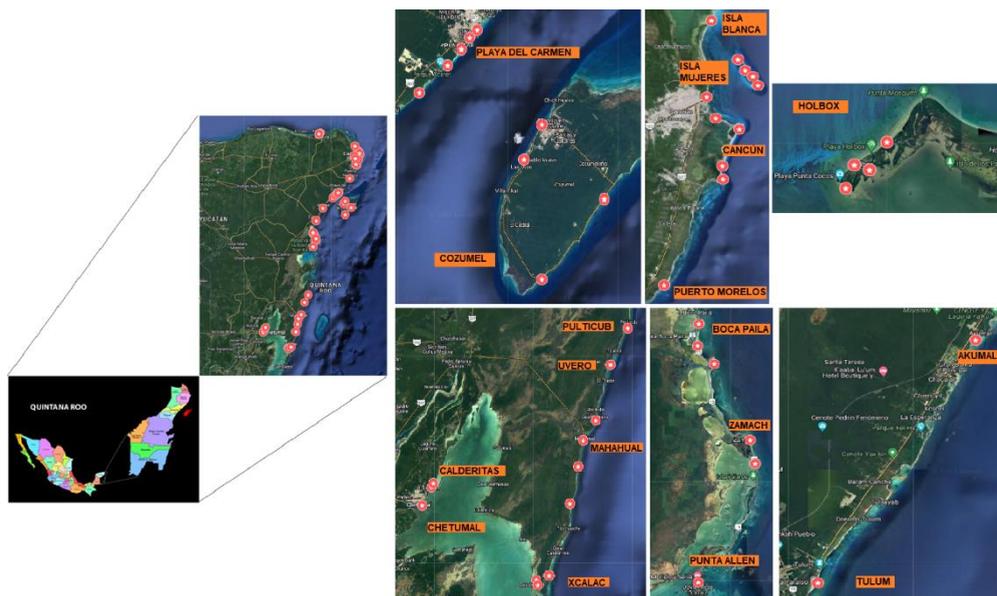


Fig. 4. Mapa de las estaciones de muestreo en 2016 (fuente propia)

ESTACIONES DE MUESTREO 2016	COORDENADAS	
CHETUMAL S2	N18°29.838'	W88°17.155'
CHETUMAL S3	N18°33.523'	W88°15.048'
CALDERITAS S4	N18°34.222'	W88°14.674'
SUR MAJAHUAL S5	N18°37.537'	W87°43.833'
SUR MAJAHUAL S6	N18°30.326'	W87°45.577'
LAGUNA DE CHETUMAL S7	N18°15.820'	W87°52.516'
LAGUNA DE CHETUMAL W S8	N18°14.902'	W87°53.659'
XCALAC S9	N18°16.496'	W87°50.103'
MAJAHUAL S10	N18°42.743'	W87°42.620'
PULTICUB S11	N19°04.361'	W87°33.238'
UVERO S12	N18°57.219'	W87°36.991'
HOTEL X S13	N18°46.581'	W87°40.299'
PTA. ALLEN W C14	N20°00.624'	W87°28.824'
PTA. ALLEN E C15	N19°59.558'	W87°28.329'
PTA. ALLEN E C16	N19°54.547'	W87°25.989'

PTA. ALLEN C17	N19°54.552'	W87°25.950'
PTA. ALLEN PUEBLO C18	N19°48.065'	W87°28.564'
BOCA PAILA W C19	N20°01.561'	W87°28.578'
BOCA PAILA E C20	N20°01.562'	W87°28.650'
ZAMACH E C21	N20°10.337'	W87°26.898'
TULUM PLAYA SANTA FÉ C22	N20°12.472'	W87°25.824'
AKUMAL C23	N20°23.773'	W87°18.821'
COZUMEL E C24	N20°27.739'	W86°59.109'
COZUMEL PTA. CELARAIN C25	N20°17.859'	W86°57.240'
COZUMEL E C26	N20°24.249'	W86°51.431'
COZUMEL CENTRO C27	N20°30.531'	W86°57.159'
PUNTA VENADO C28	N20°32.843'	W87°09.415'
COLEGIO TEPEYAC N30	N20°35.249'	W87°06.403'
PLAYA CAR N31	N20°36.811'	W87°04.804'
PLAYA DEL CARMEN CLUB CANIBAL N32	N20°38.142'	W87°03.601'
PLAYA DEL CARMEN HOTEL PORTO N33	N20°37.689'	W87°03.990'
HOLBOX W N34	N21°30.619'	W87°23.702'
HOLBOX E N35	N21°32.206'	W87°21.649'
HOLBOX PUERTO N36	N21°31.003'	W87°22.475'
HOLBOX CENTRO N37	N21°31.428'	W87°22.919'
ISLA MUJERES S N38	N21°12.896'	W86°43.157'
ISLA MUJERES E N39	N21°14.332'	W86°44.006'
ISLA MUJERES N N40	N21°15.655'	W86°45.056'
ISLA MUJERES W N41	N21°13.893'	W86°44.354'
PUERTO JUÁREZ CANCÚN N42	N21°11.039'	W86°48.426'
CLUB MED CANCÚN N43	N21°01.899'	W86°47.046'
PLAYA DELFINES CANCÚN N44	N21°03.608'	W86°46.730'
PLAYA CHAC MOOL CANCÚN N45	N21°07.704'	W86°44.956'
PLAYA TORTUGAS CANCÚN N46	N21°08.360'	W86°46.126'
ISLA BLANCA CANCÚN N47	N21°19.792'	W86°47.859'
PUERTO MORELOS CENTRO N48	N20°50.808'	W86°52.551'

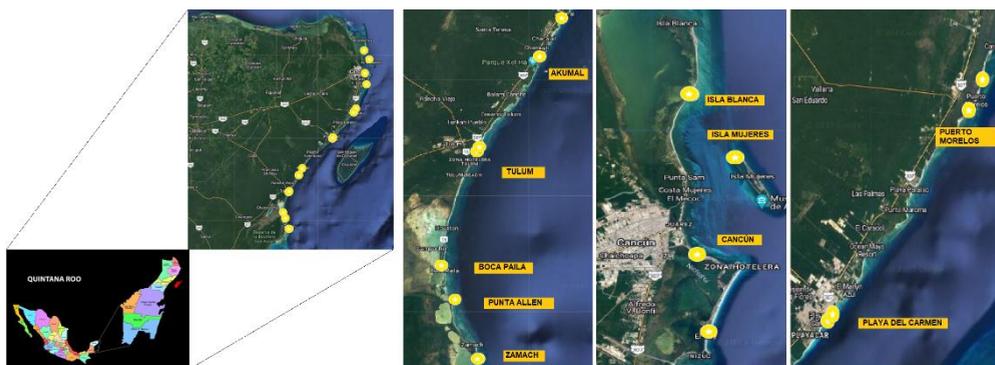


Fig. 5. Mapa de las estaciones de muestreo en 2018 (fuente propia)

ESTACIONES DE MUESTREO 2018	COORDENADAS	
01 PUERTO MOFRELOS ICMYL	N20°52'06.3"	W86°52'05.9"
02 ISLA BLANCA GAVIOTAS	N21°19'22.1"	W86°48'29.0"
03 ISLA BLANCA	N21°19'45.7"	W86°47'52.0"
04 ISLA MUJERES	N21°11'02.3"	W86°48'25.5"
05 PLAYA TORTUGAS CANCÚN	N21°08'23.6"	W86°46'09.9"
06 PLAYA DELFINES CANCÚN	N21°03'36.9"	W86°46'44.1"
07 LAGUNA A PUNTA ALLEN	N20°00'23.7"	W87°28'52.7"
08 BAHIA A PUNTA ALLEN	N19°59'35.4"	W87°28'21.9"
09 PUNTA ALLEN	N19°54'33.2"	W87°25'56.9"
10 LAGUNA 2 A PUNTA ALLEN	N19°54'32.6"	W87°25'59.3"
11 CLUB PARAISO	N20°12'06.4"	W87°25'58.6"
12 SANTA FE TULUM	N20°12'32.0"	W87°25'49.8"
13 AKUMAL	N20°23'46.0"	W87°18'50.9"
14 XCACEL	N20°20'16.9"	W87°20'53.2"
15 PLAYA CONSTITUYENTES	N20°37'39.3"	W87°04'01.1"
16 PLAYA COCOS PLAYA DEL CARMEN	N20°38'08.8"	W87°03.36.4"
17 PUERTO MORELOS CENTRO	N20°50'29.1"	W86°52'55.1"

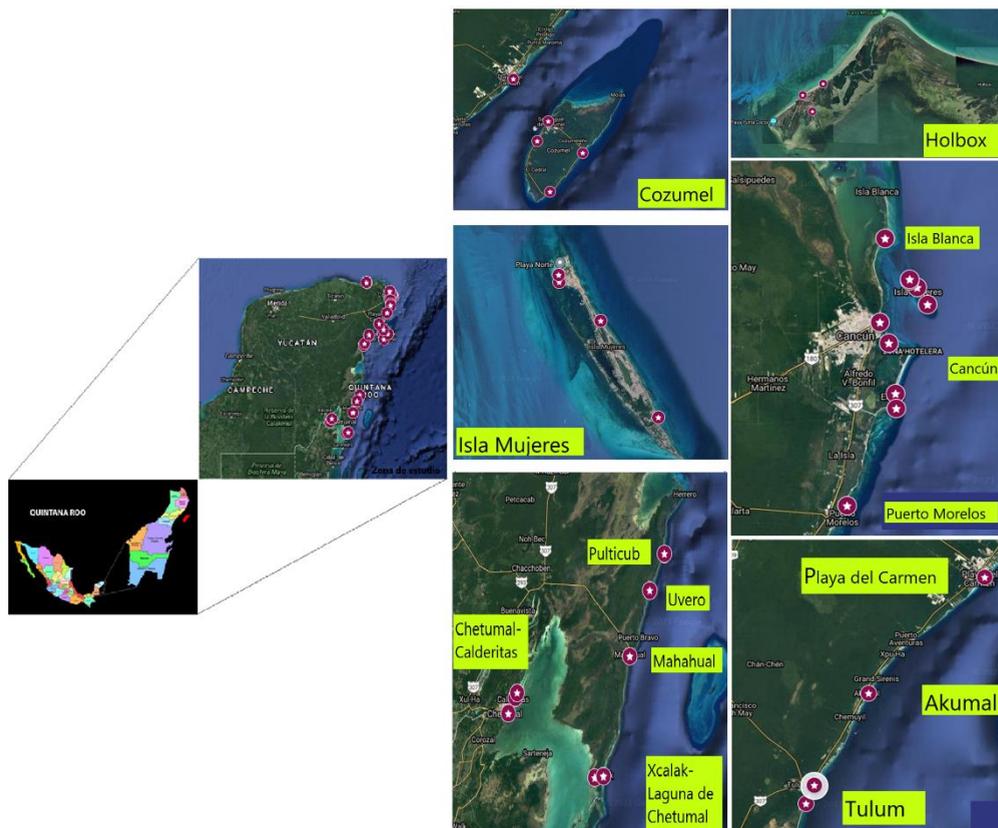
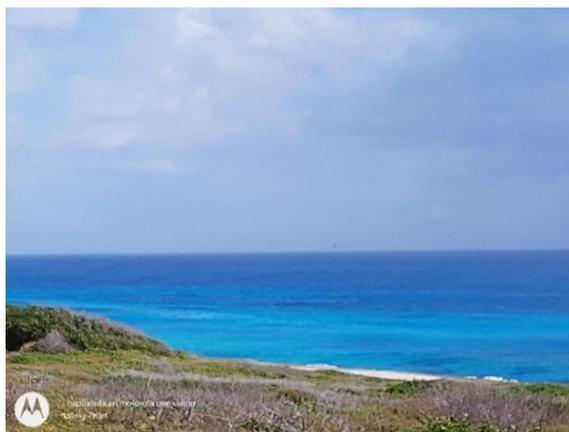


Fig. 6. Mapa de las estaciones de muestreo en 2021 (fuente propia)

ESTACIONES DE MUESTREO 2021	COORDENADAS	
02 CHETUMAL	N18°29'53.2"	W88°17'05.4"
03 CHETUMAL	N18°33'31.3"	W88°15'02.8"
04 CALDERITAS	N18°34'31.7"	W88°14'27.8"
05 PULTICUB	N19°04'23.0"	W87°33'16.0"
06 UVERO	N18°57'14.5"	W87°36'58.9"
07 LAGUNA CHET	N18°15'49.0"	W87°52'31.9"
08 XCALAK	N18°16'16.9"	W87°50'05.1"
09 MAHAHUAL	N18°42'35.9"	W87°42'43.3"

10 PUNTA PIEDRA	N20°17'35.8"	W87°44'59.2"
11 TULUM	N20°12'32.2"	W87°25'49.7"
12 AKUMAL	N20°23'46.8"	W87°18'50.6"
13 ISLA MUJERES SUR	N21°12'54.0"	W86°43'09.5"
14 ISLA MUJERES ESTE	N21°14'41.7"	W86°44'18.1"
15 ISLA MUJERES NW	N21°15'24.7"	W87°45'03.8"
16 ISLA MUJERES N	N21°15'32.1"	W86°45'07.8"
17 PUERTO JUÁREZ	N21°11'02.3"	W86°48'25.7"
18 COZUMEL ESTE	N20°27'00.5"	W86°59'23.8"
19 COZUMEL SUR	N20°17'52.8"	W86°57'14.2"
20 COZUMEL W	N20°24'15.2"	W86°51'25.9"
21 COZUMEL CENTRO	N20°30'44.9"	W86°56'55.6"
22 PLAYA DEL CARMEN	N20°37'40.5"	W87°04'00.0"
23 ISLA BLANCA	N21°19'48.7"	W86°47'50.3"
24 PLAYA TORTUGAS	N21°08'22.3"	W86°46'09.5"
25 PLAYA DELFINES CANCÚN	N21°03'37.0"	W86°46'45.7"
26 CLUB MED CANCÚN	N21°01'54.3"	W86°47'02.3"
27 HOLBOX PUERTO	N21°31'04.9"	W87°22'31.6"
28 HOLBOX ESTE	N21°31'53.6"	W87°22'09.0"
29 HOLBOX CENTRO	N29°31'29.3"	W87°22'48.9"
30 PUERTO MORELOS ICMYL	N20°52'06.3"	W86°52'05.9"
31 PUERTO MORELOS	N20°50'29.0"	W86°52'55.2"

El estado de Quintana Roo cuenta con seis puertos ubicados en Puerto Morelos, Isla Mujeres (fotografía 1), Cozumel, Puerto Juárez, Chetumal y Bacalar.



Fotografía 1. Isla Mujeres (fuente propia)

Puerto Morelos está ubicado a 36 km al sur de Cancún cuenta con Instalaciones portuarias para manejo de carga suelta y contenerizada de embarcaciones de altura con tráfico nacional e internacional.

Isla Mujeres colinda al norte con el Golfo de México, al este y al sur con el Mar Caribe, y al este con el Municipio de Benito Juárez. El puerto opera con la concesión a APIQROO, con dos terminales: la terminal marítima de Isla Mujeres y la especializada en transporte de transbordadores. El puerto tiene una superficie de 5,046.09 m<sup>2</sup>.

Cozumel es una isla ubicada en el Caribe Mexicano con una altitud de 13 msnm. La isla mide 48 km de norte a sur y 14 km de este a oeste, ocupa el tercer lugar en tamaño. Se encuentra ubicada a 60 km al sur de Cancún, cuenta con una extensión de 64,733 km<sup>2</sup>.

Puerto Juárez se encuentra ubicado a 5 km al norte de Cancún. El puerto es el principal punto de embarque de pasajeros turísticos que operan a Isla Mujeres e Islas cercanas.

El puerto de Chetumal es un punto importante para el comercio del país, es un recinto portuario con una superficie de 46,486.64 m<sup>2</sup>.

Bacalar es una región dedicada al turismo, es una laguna cercana a Chetumal y sitios arqueológicos.

El estado de Quintana Roo cuenta con una población de 1,857,985 habitantes de acuerdo con el censo realizado por el INEGI durante el 2020, es el estado con mayor índice de crecimiento poblacional debido al alto número de migración.

Durante el 2010 se generaban en el estado un total de 1,644 toneladas diarias de residuos sólidos, los diez municipios cuentan con servicio de recolección de basura, existen 8 sitios de disposición final de basura, de los cuales 4 son tiraderos al aire libre y 4 son rellenos sanitarios. El municipio de Benito Juárez cuenta con un Centro Intermunicipal de Manejo Integral de Residuos Sólidos con tecnologías de última generación para la separación y aprovechamiento de residuos reciclables. El cual recibe actualmente 1,000 toneladas de basura diaria proveniente únicamente del Municipio de Benito Juárez de Isla Mujeres y de algunos particulares (INEGI, 2010).

## **Clima**

En el estado de Quintana Roo predomina el clima cálido subhúmedo, con excepción de la Isla de Cozumel en donde el clima es cálido húmedo. La temperatura máxima promedio es de 33°C durante el período abril- agosto, y la temperatura mínima promedio es de 17°C durante el mes de enero. Su temperatura media anual es de 26°C. Se presentan lluvias durante todo el año con mayor abundancia en los meses junio-octubre (INEGI, 2013).

La localización geográfica del litoral estado de Quintana Roo, favorece que experimente con frecuencia eventos meteorológicos como huracanes y frentes fríos que ocasionan inundaciones, erosión y modificación de la línea de costa. De 1944 a 2009, en la vertiente Atlántica de América, se reportaron 723 perturbaciones meteorológicas, de las cuales un 53% adquirió el grado de huracán; del porcentaje mencionado, 78 eventos alcanzaron el territorio nacional y 11 de ellos, clasificados dentro de la máxima categoría de la escala Saffir-Simpson, han impactado en la costa de Quintana Roo (Díaz, 2010; Ruiz-Martínez et al., 2013)

El estado de Quintana Roo tiene una elevación máxima de 10 msnm (INEGI, 2019), por lo que el viento tiene una fuerte influencia sobre la costa al no tener una barrera que lo detenga como lo son las montañas o cordilleras. Se ve afectado por el viento de huracanes, tormentas tropicales, nortes, entre otros.

Los vientos predominantes se presentan durante los meses de octubre a marzo, la circulación menor de viento se da en los meses de julio a septiembre (INEGI, 2018).

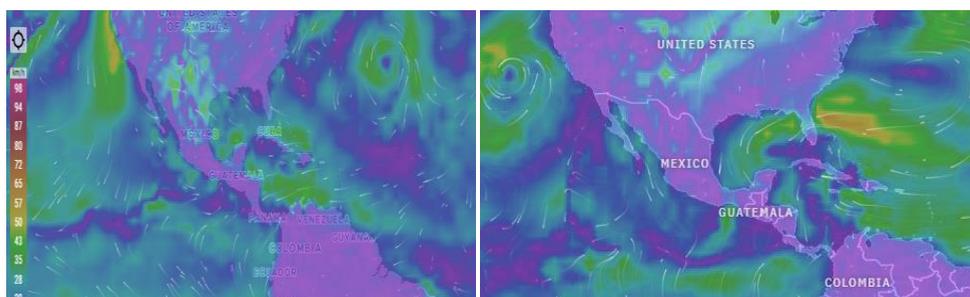


Fig. 7. Mapa de la velocidad y dirección del viento en mayo 2022, y noviembre 2023 Windfinder.

El viento predominante en el estado de Quintana Roo tiene dirección NE, con velocidad de viento entre 5 y 12 km/h, con un aumento de velocidad a 19 km/h en los meses de marzo y abril. Los meses con viento más ligero son de julio a septiembre de acuerdo a la página meteorológica Windfinder (figura 7). Los vientos alisios soplan al norte del Ecuador y llevan el

agua hacia las Islas Antillas, en donde pasan por estrechos hacia el Mar Caribe. El agua del Mar Caribe es impulsada por estos vientos, los cuales chocan con el continente. Esta masa de agua sale por el estrecho de Yucatán entrando al Golfo de México en donde alimenta la corriente del Golfo, en este lugar toma el nombre de corriente de Yucatán y ocasionalmente crea algunos remolinos anticiclónicos en verano (CONACyT-SECTUR, 2008).

En el estado de Quintana Roo pasa la corriente del Caribe, ésta, es una corriente marina de agua cálida que recorre la costa Sudamericana, conforme la corriente asciende hacia el norte por el Canal de Yucatán es rebautizada como Corriente de Yucatán, la cual es parte de la corriente frontera oeste del Giro Subtropical del Atlántico Norte, esta corriente fluye con dirección noreste a lo largo del Caribe Mexicano aportando alrededor del 90% del transporte a través del Canal de Yucatán (Sheinbuam et al., 2016; Athié et al., 2021) y cruza hacia el Golfo de México (GoM) en donde se encuentra con la corriente de Lazo (figura 8).



Fig.8 Corrientes Marinas en el Caribe Mexicano (fuente google)

## Medio Ambiente

El estado de Quintana Roo es caracterizado por ser un área con 13 sitios RAMSAR de importancia nacional, son considerados como ecosistemas fundamentales en la conservación

y el uso sustentable de la biodiversidad, con importantes funciones (regulación de la fase continental del ciclo hidrológico, recarga de acuíferos y estabilización del clima local), valores ecosistémicos (recursos biológicos, pesquerías y suministro de agua) y atributos (refugio de diversidad biológica, patrimonio cultural y usos tradicionales) (INEGI, 2016). Además, cuenta con 17 áreas nacionales protegidas (ANP).

Tulum localizado en la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, declarada patrimonio de la Humanidad por la UNESCO en 1987, además de ser uno de los puntos turísticos con mayor reconocimiento en el país, tiene hoy en día serios problemas relativos a la disposición de residuos sólidos ya que no cuenta con la infraestructura necesaria que gestione la generación diaria de residuos del lugar. En 2019 el relleno sanitario de Tulum llegó a su máxima capacidad, además de haber una acumulación de residuos eléctricos, electrónicos y plásticos que no son tratados adecuadamente, dichos residuos presentes en la zona contaminan el medio ambiente y ponen en riesgo la flora y fauna local (SEMARNAT, 2021).

## **Turismo**

Entre sus principales atractivos turísticos sin duda se encuentra la zona arqueológica de Tulum, que se localiza a pie de playa, y recibe aproximadamente 250 mil visitas mensuales tanto de turistas nacionales como extranjeros (INAH,2017). En 2019 tuvo un total de 1,996,544 visitantes (INAH,2017). Además de Tulum, Quintana Roo cuenta con otras áreas arqueológicas las cuales en 2019 sumaron un total de 3,193,904 visitantes (INAH,2017).

El Caribe Mexicano es caracterizado por sus playas de aguas cristalinas, por lo que el estado de Quintana Roo recibió en el período 2017-2018 un total de 15,064,092 turistas (INEGI, 2019) (figura 9), y se generaron 191,555 empleos relacionados directamente con el turismo; de

acuerdo con el informe de gobierno del 2017, el 49.6% del PIB de Cancún proviene del turismo. Durante el 2019 Quintana Roo tuvo un ingreso de más de 15 mil millones de dólares proveniente del turismo, con el arribo de 7.2 millones de personas en crucero, más de 4 millones de turistas arribando en Cozumel y cerca de 2 millones en Mahahual. Vía aérea arribaron un total de 26.4 millones de visitantes. La ocupación hotelera se mantuvo con un promedio de 81% en zonas turísticas, ocupando 107 mil habitaciones de hotel. El 63.4% del turismo es internacional, principalmente de origen estadounidense (SEDETUR, 2019). Al aumentar el turismo también aumenta la generación de residuos sólidos y a su vez los problemas de gestión, particularmente en las islas de Cozumel, Isla Mujeres, Holbox entre otras (García et al., 2018; Alonzo y Paz, 2014).

Retama et al. (2016) afirman que enormes cantidades de MP derivan del agua residual proveniente de cruceros, hoteles, así como de actividades turísticas (snorkel, kayak, buceo, entre otros), comenta que el uso de trajes de baño y ropa de playa son una fuente de MP en forma de fibras. El turismo es una doble fuente de MP por un lado generan residuos y efluentes terrestres y por otro lado generan MP al realizar actividades acuáticas que conllevan el uso de plástico.



Fig. 9. Indicadores Turísticos en Quintana Roo 2019 (fuente El Economista)

## JUSTIFICACIÓN

México es un país que cuenta con 11,122 km de costas continentales, y 5,127 km insulares (INEGI, 2019), con aproximadamente 440 playas, de las cuales solo 198 están reconocidas por la Cofepris como playas aptas para vacacionar, de acuerdo con el informe de monitores de salud que llevo a cabo en 2021 dicha comisión.

La investigación sobre MP en México es incipiente, existen aproximadamente 30 trabajos nacionales de referencia, que evalúen, hagan un análisis o arrojen soluciones a este problema, los cuales no cubren ni remotamente todas las playas del litoral mexicano, por lo que es necesario profundizar en la investigación de esta índole y hacer énfasis en que es un problema, ambiental, estético y de salud. El tema de MP es de suma importancia, incluso ya a nivel internacional, sin embargo, no se han identificado las fuentes de su origen, ni las consecuencias de la presencia de éstos en los sedimentos o cuerpos de agua, resultado de la mala gestión de los residuos que contribuye en el aumento de la contaminación en las playas. Debido al tamaño tan pequeño de los MP, no se les ha dado la importancia adecuada y como consecuencia los MP se acumulan.

La acumulación de MP trae consigo graves problemas ambientales, por ejemplo, ingesta de MP por parte de la fauna local, causando problemas de salud en los animales o incluso muerte de la fauna. Actualmente se hace investigación para descartar problemas de salud por bio-acumulación de sustancias tóxicas relacionadas a la degradación de plástico, además de generar problemas económicos en el sector pesquero.

El estado de Quintana Roo se caracteriza por sus playas de arena blanca y las aguas cristalinas que poseen sus playas a lo largo del litoral del estado atrae miles de turistas

anualmente (SEDETUR, 2021), el turismo es una de las principales actividades económicas del estado (INEGI, 2013), esta actividad conlleva generación de residuos que no siempre son manejados adecuadamente, la contaminación por MP es un tema mínimamente abordado en el estado, por lo cual es importante profundizar la investigación en éste tema para poder tener información acerca de la situación de contaminación ambiental de este tipo que pueda servir para posible gestión de manejo de residuos y legislación ambiental en el estado que permita contribuir a un medio ambiente limpio.

El artículo 4° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su párrafo quinto menciona que, “Toda persona tiene el derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley”. Desafortunadamente, en el tema de microplásticos es difícil señalar un responsable, por lo cual no se puede exigir a nadie una solución o compensación. En este contexto, resulta difícil garantizar un medio ambiente apto para el desarrollo óptimo de las generaciones presentes y futuras. No obstante, es nuestra obligación como comunidad científica buscar respuestas que nos lleven a mejorar la calidad de ambiente presente y futura.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

Conocer la abundancia y composición de microplásticos actualmente presentes en sedimentos del litoral del estado de Quintana Roo, determinar su origen (en su composición) y hacer una comparación con estudios previamente realizados.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Cuantificar y clasificar los MP presentes en el sedimento de la zona de estudio del litoral del estado de Quintana Roo, hacer una comparación con estudios previos y observar el aumento en la abundancia de los MP.
2. Conocer la zona con mayor abundancia de MP y hacer una relación con la posible fuente de contaminación.
3. Hacer una comparación de la abundancia de MP con estudios previamente realizados. Identificar las posibles fuentes de origen y proponer medidas preventivas posibles.
4. Analizar si en la playa y la post playa hay mayor abundancia de MP que en la zona intermareal o submareal, para poder hacer una correlación con el viento.

## HIPÓTESIS

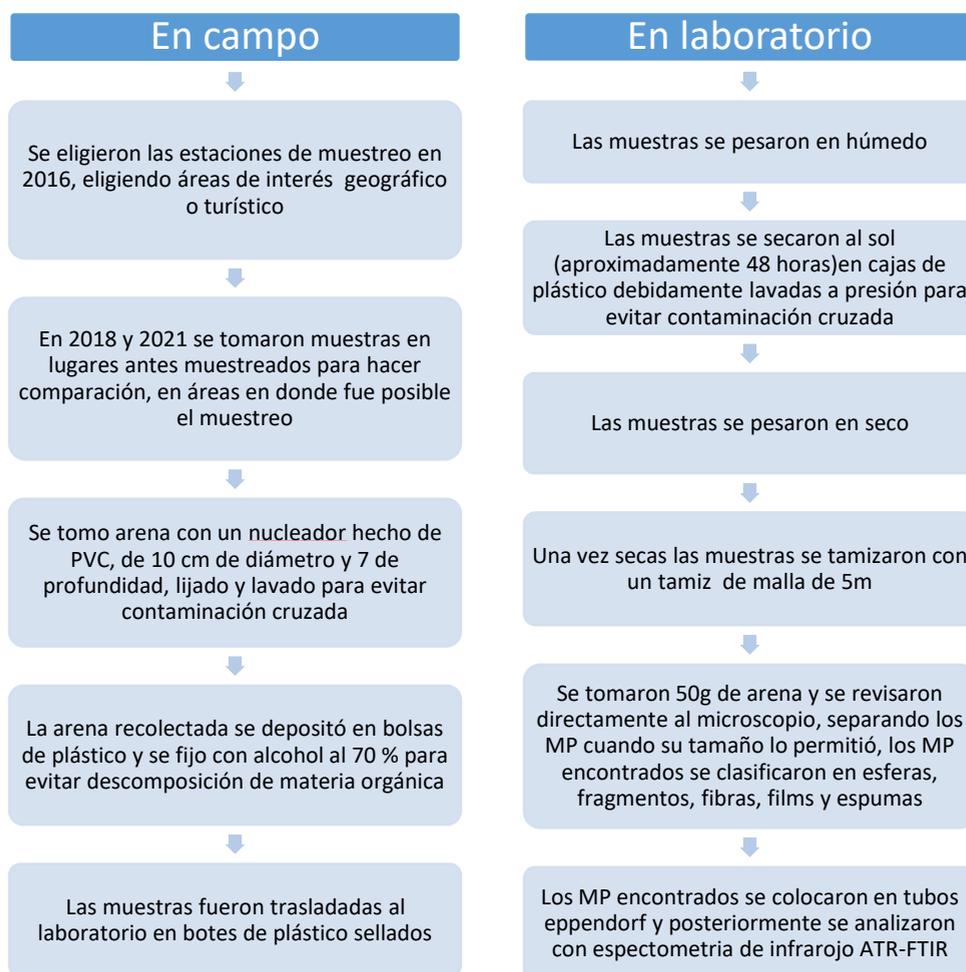
Comparando con resultados anteriores, la abundancia de microplásticos es considerablemente mayor en la actualidad, principalmente en zonas con alto índice turístico en el estado de Quintana Roo.

Las corrientes marinas tienen implicación en la acumulación de basura en zonas despobladas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Nota: la metodología fue diferente en el muestreo 2016, debido a que no se tiene una estandarización de muestreo, se fue modificando la forma de muestreo y tratamiento de muestras de un muestreo a otro.

No existe un método específico para la toma de muestras de sedimento, el siguiente método fue una modificación del método de Carson et al. (2011), Claessens et al. (2011) consideraron los primeros 07 cm de sedimento (Frias et al., 2011; Hidalgo-Ruz et al., 2013; Lee et al., 2013) Van Cauwenbergue et al. (2015) mencionan que la profundidad de muestreo oscila de entre 0 y 50 cm, por lo que la profundidad del nucleador utilizado en este estudio fue de 7cm.



**Control** (se tomaron las siguientes medidas pensando en eliminar la mayor probabilidad de contaminación cruzada, ya que no existe una técnica estandarizada que diga la mejor forma de tomar y tratar las muestras)

Con la finalidad de eliminar o reducir al máximo la contaminación cruzada se lijó perfectamente la superficie del nucleador después de cortarlo a la medida utilizada, se lavó y se revisó cada toma de muestra, para evitar que la muestra se contaminara con rebabas.

Se lavaron a presión con agua y jabón, los recipientes de plástico en los que se pusieron las muestras a secar en los muestreos 2018 y 2021.

Se colocó alcohol en una bolsa de plástico durante un mes y posteriormente se filtró el alcohol y se revisó el filtro al microscopio con la finalidad de evaluar el efecto del alcohol en la bolsa de plástico. Consideraciones:

Para la comparación de los tres muestreos se ajustó a MP/Kg por estación de muestreo, para poder realizar el análisis comparativo debido a la diferencia de número de estaciones y diferencia de zonas de playa.

Los resultados de MP por color no se presentan en MP/Kg, ya que se presenta en total de MP del muestreo, es decir, cuántos MP de algún color se encontraron en el total de las estaciones, en el total de las muestras y no por estación, por lo cual no se pueden presentar en MP/Kg. Esto aplica en los tres muestreos 2016, 2018 y 2021.

En la comparación de abundancia de fibras y MP diferentes a fibras, los fragmentos, pellets o esferas, films o películas y espumas se agruparon en MP (MP rígidos), en fibras se agruparon todo tipo de fibras incluyendo bolitas de fibras.

Se utilizó en tablas y mapas el color rojo para mayor abundancia de MP, naranja y amarillo fuerte para alta abundancia, amarillo claro para abundancia media (para determinar la mayor abundancia se consideró la cifra más alta de los resultados, la abundancia alta fueron las siguientes cifras por debajo de la cifra más alta, y la abundancia media fue la siguiente cifra por debajo de la abundancia alta) y verde para la menor abundancia de MP (esta fue la cifra más baja de los resultados).

## **Muestreo 2016**

En 2016 se realizó un muestreo en 46 estaciones desde Chetumal hasta Holbox incluyendo Isla de Cozumel e Isla Mujeres, se dividió en zona Sur, Centro y Norte. El muestreo se realizó tomando 4 muestras en la zona intermareal y 4 en la zona submareal (en la zona submareal aproximadamente a un metro de profundidad). En cada una de las estaciones se tomaron muestras con sus réplicas, con un nucleador de PVC de 10 cm de diámetro por 07 cm de profundidad. Una vez elegida la zona de muestreo se empujó el nucleador de la superficie hasta que se llenó el nucleador y con ayuda de una espátula metálica se retiró del sedimento, la muestra obtenida se colocó en una bolsa de plástico debidamente etiquetada y se fijó la muestra con alcohol al 70% para evitar la descomposición de la materia orgánica, estas muestras se colocaron en botes de 20L y se trasladaron al laboratorio. Las muestras en el laboratorio se pesaron en húmedo, se tomaron 250mL de muestra con ayuda de un vaso de precipitados, se secaron en horno eléctrico, se pesaron en seco y se tamizaron con dos tamices de malla uno de 5 mm para obtener lo que se denominó como fracción A y el segundo tamiz de 0.5 mm para obtener lo que se denominó fracción B.

Las muestras se dividieron en fracción A (gruesa de 5mm-0.5mm) y en fracción B (fina inferior a 0.5mm). La zona sur y centro fue revisada en ambas fracciones y presentada en la tesis de

licenciatura llevada por título Contaminación por microplásticos en la zona sur y centro de las costas de Quintana Roo. Y la zona norte fracción A (gruesa) fue presentada en la tesis de licenciatura de la M. en C. Xiadani Castro Zarate. La fracción B (fina) de la zona norte se analizó de la siguiente manera se tomó 50 g de arena de cada muestra y se revisó al microscopio estereoscópico contabilizando fragmentos y fibras en menor medida se pudo diferenciar espumas, films o películas y pellets o esferas (Alomar et al., 2016, Álvarez Zeferino et al., 2020, Flores Ocampo et al., 2023). Estos resultados se sumaron a los resultados de la fracción A y se realizó la extrapolación a MP/Kg (Dekiff et al., 2014), de igual manera los resultados obtenidos en 2016 de la zona sur y centro se hizo el ajuste para presentarlos en MP/Kg (considerando que puede ser la mejor presentación para los datos de este estudio), con la finalidad de unificar los resultados a una sola medida de resultados.

## **Muestreo 2018**

El muestreo se realizó en marzo de 2018. Se tomaron 102 muestras en 17 estaciones de muestreo, en cada estación se tomó 1 muestra y 1 réplica, en la zona Intermareal, submareal (un metro de profundidad aproximadamente) y en la zona de playa entre 3 y 6 metros de distancia de la zona intermareal. Las muestras fueron tomadas con un nucleador de PVC de 10 cm de diámetro por 7 cm de profundidad (para evitar contaminación cruzada se lijo la superficie del nucleador, se lavó perfectamente antes de usarse y se revisó que no presentara rebabas antes de cada toma de muestras). Una vez elegida la zona de muestreo se empujó el nucleador de la superficie hasta que se llenó el nucleador y con ayuda de una espátula metálica se retiró del sedimento, la muestra obtenida se colocó en una bolsa de plástico debidamente etiquetada y se fijó la muestra con alcohol al 70% para evitar la descomposición de la materia orgánica. Las muestras se trasladaron al laboratorio en botes de plásticos de 20 litros sellados herméticamente, posteriormente cada muestra se pesó en húmedo y se colocó en recipientes

de plástico lavados con agua a presión para evitar contaminación cruzada. Las muestras se colocaron al sol y se secaron durante 48 horas aproximadamente. Posteriormente las muestras fueron pesadas en seco. Las muestras se tamizaron con un tamiz de malla de 5 mm. Se tomó 50 g de cada muestra y se revisó al microscopio estereoscópico, separando los MP encontrados según su forma en fragmentos, fibras, esferas, films y espumas. Los resultados se extrapolaron a MP/Kg, para unificar los resultados obtenidos en el muestreo del 2016. Esto fue decisión propia tratando de unificar los resultados ya que no existe aún una técnica de estandarización que confirme la mejor manera de presentar resultados.

## **Muestreo 2021**

La recolección de muestras se realizó en marzo del 2021, en todo el litoral de Quintana Roo, México (donde la playa era accesible por carretera), como parte del Proyecto “Evaluación de los microplásticos en las costas de México y sus efectos en invertebrados marinos” del Laboratorio de Ecología y Biodiversidad de Invertebrados Marinos, bajo la dirección de la Dra. Vivianne Solís-Weiss, perteneciente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la UNAM.

Se recolectaron 205 muestras en 30 estaciones de muestreo desde Chetumal hasta Holbox, incluyendo Isla Mujeres y Cozumel, con ayuda del GPS se recolectaron muestras intentando posicionarnos en la misma ubicación del muestreo 2016, en algunas estaciones no fue posible la recolección debido al difícil, incluso imposible acceso a las estaciones del 2016.

Se recolectaron muestras con una réplica, con un nucleador de PVC, de 7 cm de diámetro x 7 cm de profundidad, en la zona intermareal y submareal a un metro de profundidad aproximadamente, en lugares donde fue posible, en zona de playa entre 3 y 6 metros de distancia de la zona intermareal y post playa entre 10 y 15 metros de distancia de la zona

intermareal. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico debidamente etiquetadas y se fijaron con alcohol al 70%. A continuación, se depositaron en botes de plástico para ser trasladarlas al laboratorio.

En el laboratorio las muestras se pesaron en cada fase del proceso para mantener un registro meticuloso, inicialmente se pesaron las muestras en húmedo utilizándose una balanza digital.

Las muestras se secaron por medio de exposición solar en recipientes de plástico. El tiempo estimado de secado se considera alrededor de 48 horas.

Posteriormente las muestras se pesaron en seco con ayuda de una balanza digital.

Las muestras se tamizaron con un tamiz de malla de 5 mm y todo el sedimento mayor de 5 mm fue descartado. Se tomaron 50 g de cada muestra de arena, cantidad que se consideró suficiente para un análisis robusto (debido a que no se cuenta con una estandarización que indique la cantidad adecuada de muestra, diferentes autores utilizan diferentes técnicas de recolección de muestras, así como, diferente cantidad de muestra de arena en cada estación de muestreo).

Las muestras fueron revisadas al microscopio estereoscópico, separando los MP y colocándolos en tubos eppendorf (los MP muy pequeños no fue posible separarlos de las muestras por lo que solo se contabilizaron). Las partículas de MP encontradas se cuantificaron y clasificaron según sus características en las siguientes categorías: fibras, films o películas, fragmentos, pellets o esferas, y espumas.

La fracción considerada para este estudio fue aquella inferior a 5 mm.

Debido a la dificultad de la revisión de las muestras con un tamaño inferior a 0.5 mm, es decir arena muy fina, se hicieron pruebas de un método propio, buscando optimizar la revisión de las muestras. El método implementado

fue el siguiente: se pesaron 50 g de arena, de cada muestra de arena, dicha cantidad fue igual a la que previamente se utilizó para revisión al microscopio de la fracción B (muestras 2016 zona Norte).

Para las pruebas de método de optimización se realizaron diferentes procedimientos utilizando la densidad como base para las pruebas (este método fue pensado e implementado por iniciativa propia y apoyado por la maestra Isabel y la doctora Viviane): que se describen a continuación: el primero fue el siguiente procedimiento:

Procedimiento 1: En un vaso de precipitados con 500 mL de agua se agregó la muestra de 50 g de arena y se agitó durante 3 minutos a 8 revoluciones en una parrilla de agitación termoparrilla marca termoscientific, después de este tiempo la solución se filtró con ayuda de un filtro para café marca CK connaisseur #7712, el filtro se secó en un horno de secado a 100°C, posteriormente se revisó al microscopio y se cuantificaron los MP. La arena utilizada se recuperó en un filtro para café y también se secó con ayuda del horno de secado. La cual también fue revisada para comprobar si el método era efectivo, es decir, para evaluar la efectividad de la técnica.

Procedimiento 2: se preparó una solución de glucosa (con azúcar) de la siguiente forma, en 500 mL de agua se agregaron 30 g de azúcar y se agito la muestra hasta disolver por completo el azúcar, posteriormente se agregaron los 50 g de arena, el vaso de precipitados con la solución se colocó en la termoparrilla de agitación durante 3 minutos, se filtró el sobrenadante,

el filtro se secó en el horno de secado, la arena ocupada se recuperó con ayuda de un filtro y también fue secada en el horno, la muestra se revisó al microscopio, la arena de la muestra también fue revisada para verificar la efectividad de la técnica.

Procedimiento 3: en un vaso de precipitados de 500 mL se preparó solución salina (con sal de mesa) al 30%, en 500 mL de agua a una temperatura de 17 grados centígrados (temperatura ambiente) se diluyeron 150 g de sal, posteriormente se agregaron los 50 g de arena, el vaso de precipitados con la solución se colocó en la parrilla de agitación y se agito a 8 revoluciones durante 3 minutos, y se filtró el sobrenadante, se agregó más agua de solución salina (500 mL) en el vaso con la arena y se repitió este procedimiento para esta misma muestra por un minuto para asegurar la obtención de todos los MP. Posteriormente se volvió a recolectar el sobrenadante en un filtro y la arena de la muestra en otro, ambos fueron secados en el horno de secado y fueron revisados en el microscopio para comprobar la efectividad de la técnica.

Se seleccionó el procedimiento 3, ya que fue con el que se han obtenido los mejores resultados, por lo que se modificó poco a poco la técnica buscando optimizarla y mejorar la efectividad primero se modificaron la revoluciones aumentándolas a 9.5 para una mejor suspensión de la muestra, dejando la muestra en agitación durante 3 minutos y filtrando el sobrenadante, después del filtrado se agregó nuevamente solución salina quedando nuevamente con 500 mL en el vaso de precipitados, (llenando nuevamente con solución salina a 500mL cada vez que se hace un filtrado), repitiendo el procedimiento inicial dejando esta vez la agitación por 2 minutos y filtrando, nuevamente repitiendo el procedimiento esta vez con 1 minuto de agitación y filtrando, este último procedimiento de un minuto de agitación se repitió tres veces, quedando el tiempo de agitación de la siguiente forma 3-2-1-1-1.

Debido a la formación de cristales de sal en los filtros de recolección de las muestras, se decidió disminuir la solución salina al 20%, con la cual se hicieron pruebas (procedimiento 4) llenando el vaso con solución salina, esta vez al 20%, se agregó la muestra de arena y se agitó en la termoparrilla a 9.5 revoluciones primero durante 3 minutos, y se filtró, llenando nuevamente el vaso con solución salina (500mL), repitiendo el procedimiento anterior modificando solamente los tiempos de agitación de forma que los tiempos de agitación sean 3,2,1,1,1 minutos.

Posteriormente se hicieron pruebas similares considerando tiempos diferentes, procedimiento 5: utilizando 500 mL de solución salina al 20% se dejó agitar la muestra durante 5 minutos y se filtró, se llenó el vaso de precipitados nuevamente con solución salina se agitó 1 minuto más, quedando los tiempos de agitación 5-1.

Procedimiento 6: se utilizaron 500mL de solución salina al 20% y se dejó agitar 3 minutos y se filtró la muestra, se repitió el procedimiento nuevamente dejando agitar 3 minutos y filtrando, posteriormente repitiendo a 2 minutos y filtrando, 2 minutos nuevamente y filtrando y 1 minuto finalmente teniendo los tiempos de agitación de 3-3-2-2-1

En cada una de las pruebas anteriores se contabilizaron los MP que se quedaron retenidos en la arena recuperada después de las agitaciones, siendo esta abundancia mayor al 20% considerando el total de los MP encontrados en los filtros de revisión, por lo cual se decidió ampliar el tiempo en la parrilla de agitación.

Procedimiento 7: con 500mL de solución salina al 20% se agregó la arena dejando 10 minutos de agitación la muestra y filtrando, llenando nuevamente con solución salina se realizaron tres

repeticiones de 1 minuto más y filtrando cada vez, es decir, teniendo tiempos de agitación de 10-1-1-1.

Procedimiento 8: con 500mL de solución salina al 20% se agregó la arena y se agito considerando tres repeticiones de 3 minutos, tres repeticiones de 2 minutos y cinco repeticiones de 1 minuto, teniendo tiempos de agitación en esta prueba de 3-3-3-2-2-2-1-1-1-1-1, filtrando cada una de las repeticiones.

Para cada uno de los procedimientos anteriores se recuperó la arena utilizada en cada prueba y fueron revisadas cada una al microscopio para contabilizar la abundancia de MP que se pudieron quedar inmersos en la arena después de las pruebas de agitación y poder validar la efectividad de las pruebas. En este último procedimiento con tiempos de agitación de 3-3-3-2-2-2-1-1-1-1-1 se obtuvo mejor resultado en la revisión de los filtros y de la arena recuperada, ya que el total de los MP que se quedaron retenidos en la arena fueron de un rango inferior al 5% de MP del total de los MP encontrados en los filtros de todo el procedimiento.

Por falta de tiempo para continuar con análisis de esta técnica, se decidió tomar 50 g de cada muestra y revisarla al microscopio directamente, sin embargo, se recomienda seguir buscando técnicas de separación de MP.

### **Granulometría de Wentworth**

El análisis de granulometría (tamaño de grano) fue no detallado ya que solo se consideró separar grava grano- arena gruesa (menor a 5mm), arena media- muy fina (menor a 0.5mm) y limo-arcilla (menor a 0.063mm) el aporte de esta selección de tamices es propia, basada en la escala Wentworth, (1922), se eligió esta separación por adecuarse a la separación de

sedimento del primer muestreo 2016, en el cual la fracción gruesa se consideró de 5 mm a 0.5 mm y la fracción fina inferior a 0.5 mm, se añadió a esta separación el tamiz de 0.063 mm para determinar que porción de esta granulometría había en cada muestra, se pesó el sedimento retenido en cada tamiz, se sacó el porcentaje de acuerdo con el peso de cada muestra y se realizó una tabla (tabla 9) en la cual se muestra la abundancia de arena para cada muestra.. Este tamizaje se realizó en las muestras del muestreo 2016, no se realizó para cada muestreo ya que los muestreos posteriores se realizaron considerando las mismas estaciones del muestreo 2016, o lo más cercano posible a dichas estaciones, considerando también que los tres muestreos se realizaron en el mes de marzo en condiciones de baja energía, en época de estiaje y por ser el mismo periodo estacional, se considera variaciones mínimas de humedad, temperatura, acción del viento y de oleaje.

### **ANÁLISIS DE MP CON ESPECTROMETRÍA DE INFRARROJO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR-ATR) DE REFLECTANCIA TOTAL ATENUADA (Attenuated total reflection)**

El análisis se realizó en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, se utilizó un espectrómetro infrarrojo de análisis de espectrometría infrarroja por transformada de Fourier Perkin Elmer con software Spectrum 100, se seleccionaron 100 muestras en total (fotografía 2) considerando muestras de los tres muestreos (2016, 2018, 2021), se eligieron muestras de fibras, fragmentos, pellets, films de diferentes tamaños y colores. En el laboratorio el análisis consiste en lo siguiente (Meléndez-López et al., 2022): lo primero que se hace es un background o fondo, que consiste en la resta del espectro del IR de interferencia natural entre el haz de infrarrojo y el aire del ambiente, posteriormente se introducen el nombre de las muestras, así como la cantidad de muestras a trabajar, antes de cada análisis se debe limpiar la platina y el cristal de muestreo (fotografía 3) con acetona y un pañuelo desechable,

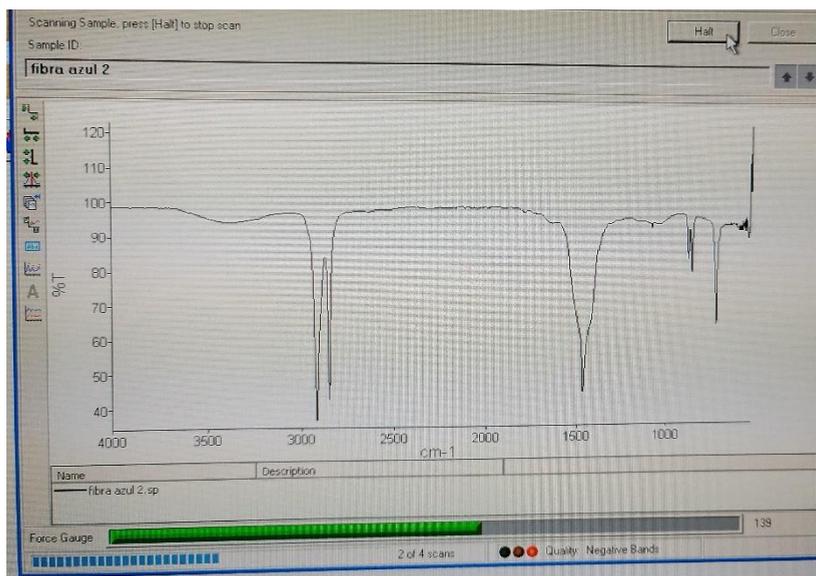
posteriormente se coloca la muestra y se ajusta la prensa de tal forma que quede bien sujeta la muestra, en la pantalla de la computadora se observa una línea verde en la parte inferior una línea verde que nos indica la presión ejercida sobre la muestra (fotografía 4), es recomendable ponerla aproximadamente hasta cien, si se ejerce mucha presión la línea cambiará a color rojo y se deberá liberar presión para no dañar el aparato, una vez que se obtiene el espectro se hace corrección de la línea base y se guarda en ascii para poder después trabajar en Excel.



Fotografía 2. MP de 3 muestreos



Fotografía 3. Prensa de espectrómetro



Fotografía 4. Imagen de espectrometría infrarrojo de una muestra de una fibra azul.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se enlistan todas las estaciones de muestreo de cada uno de los años de muestreo, ya que no fue posible muestrear exactamente las mismas estaciones año con año, debido a facilidad de acceso, pandemia y seguridad.

Tabla. 3. Estaciones en los muestreos 2016, 2018 y 2021. Se resaltó con azul las estaciones comparables.

MUESTREO 2016	MUESTREO 2018	MUESTREO 2021
CHETUMAL S2	01 PUERTO MOFRELOS ICMYL	02 CHETUMAL
CHETUMAL S3	02 ISLA BLANCA GAVIOTAS	03 CHETUMAL
CALDERITAS S4	03 ISLA BLANCA	04 CALDERITAS
SUR MAJAHUAL S5	04 ISLA MUJERES	05 PULTICUB
SUR MAJAHUAL S6	05 PLAYA TORTUGAS CANCÚN	06 UVERO
LAGUNA DE CHETUMAL S7	06 PLAYA DELFINES CANCÚN	07 LAGUNA CHET
LAGUNA DE CHETUMAL W S8	07 LAGUNA A PUNTA ALLEN	08 XCALAK
XCALAC S9	08 BAHIA A PUNTA ALLEN	09 MAHAHUAL



MAJAHUAL S10	09 PUNTA ALLEN	10 PUNTA PIEDRA
PULTICUB S11	10 LAGUNA 2 A PUNTA ALLEN	11 TULUM
UVERO S12	11 CLUB PARAISO	12 AKUMAL
HOTEL X S13	12 SANTA FE TULUM	13 ISLA MUJERES SUR
PTA. ALLEN W C14	13 AKUMAL	14 ISLA MUJERES ESTE
PTA. ALLEN E C15	14 XCACEL	15 ISLA MUJERES NW
PTA. ALLEN E C16	15 PLAYA CONSTITUYENTES PC	16 ISLA MUJERES N
PTA. ALLEN C17	16 PLAYA COCOS PLAYA DEL CARMEN	17 PUERTO JUÁREZ CANCÚN
PTA. ALLEN Pueblo C18	17 PUERTO MORELOS CENTRO	18 COZUMEL ESTE
BOCA PAILA W C19		19 COZUMEL SUR
BOCA PAILA E C20		20 COZUMEL W
ZAMACH E C21		21 COZUMEL CENTRO
TULUM PLAYA SANTA FÉ C22		22 PLAYA DEL CARMEN
AKUMAL C23		23 ISLA BLANCA
COZUMEL E C24		24 PLAYA TORTUGAS CANCÚN
COZUMEL PTA. CELARAIN C25		25 PLAYA DELFINES CANCÚN
COZUMEL E C26		26 CLUB MED CANCÚN
COZUMEL CENTRO C27		27 HOLBOX PUERTO
PUNTA VENADO C28		28 HOLBOX ESTE
COLEGIO TEPEYAC N30		29 HOLBOX CENTRO
PLAYA CAR N31		30 PUERTO MORELOS ICMyl
PLAYA DEL CARMEN CLUB CANIBAL N32		31 PUERTO MORELOS CENTRO
PLAYA DEL CARMEN HOTEL PORTO N33		
HOLBOX W N34		
HOLBOX E N35		
HOLBOX PUERTO N36		
HOLBOX CENTRO N37		
ISLA MUJERES S N38		
ISLA MUJERES E N39		
ISLA MUJERES N N40		
ISLA MUJERES W N41		
PUERTO JUÁREZ CANCÚN N42		
CLUB MED CANCÚN N43		
PLAYA DELFINES CANCÚN N44		
PLAYA CHAC MOOL CANCÚN N45		
PLAYA TORTUGAS CANCÚN N46		
ISLA BLANCA CANCÚN N47		
PUERTO MORELOS PUERTO N48		

## RESULTADOS 2016

La tabla 4 muestra los resultados de todas las estaciones de muestreo 2016, las fibras, microfibras y bolitas de fibras se agruparon en fibras. La tabla 4 muestra la clasificación de las diferentes formas de MP (fibras, fragmentos, espumas, films o películas, esferas o pellets). Los resultados también se agruparon por zona de playa en la que se encontraron (submareal, Intermareal). En verde se resaltó la abundancia mínima, en amarillo fuerte la abundancia alta y en rojo la mayor abundancia.

En el muestreo 2016 se encontró un total de 168,034 MP, con un intervalo de 264 MP de abundancia mínima de a 17, 610 MP de abundancia máxima.

La mayor abundancia de fragmentos de las 46 estaciones se encontró en la estación N48 ubicada en Puerto Morelos con un total de 898, en la estación 11 ubicada en Pulticub se encontró una abundancia de 891 fragmentos, en la estación N35 al este de Holbox un total de 867 y en la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel un total de 834 fragmentos siendo las estaciones con mayor abundancia de fragmentos. La estación con menor abundancia de fragmentos fue la C23 ubicada en Akumal con 31 fragmentos.

La mayor abundancia de fibras se encontró en la estación N40 ubicada al Norte de Isla Mujeres con un total de 17,355, en la estación N48 ubicada en Puerto Morelos se encontró una abundancia de 15,823 fibras, en la estación N37 ubicada en el centro de Holbox un total de 14, 079, en la estación N35 ubicada al este de Holbox 13,166 y en la estación N36 ubicada en el Puerto de Holbox 12,598, siendo las estaciones con mayor abundancia de MP en forma de fibras. La estación con menor abundancia de fibras fue la estación C14 ubicada al oeste de Punta Allen con un total de 231 fibras.

Tabla 4. Resultados del muestreo 2016. Los resultados se muestran por tipo de MP encontrados en cada estación de muestreo

ESTACIÓN	FRAGMENTOS	ESFERAS	FIBRAS	FILMS	ESPUMAS	FIBRA/VIDRIO	SUBMAREAL	INTERMAREAL	TOTAL
S 02	48	0	646	9	5	0		708	708
S 03	56	0	497	12	2	0		568	568
S 04	32	0	496	0	0	0		527	527
S 05	38	0	2509	2	0	0	2188	360	2548
S 06	66	0	4273	0	0	0	3739	600	4339
S 07	50	0	3418	13	1	0	2851	632	3483
S 08	170	0	2898	17	0	0	317	2769	3086
S 09	97	0	485	0	0	0	112	470	582
S 10	272	0	1150	1	1	0	831	594	1424
S 11	891	0	1609	0	0	0	1613	888	2501
S 12	125	0	675	1	0	0	440	361	801
S 13	135	0	592	0	0	0	311	416	728
C 14	67	0	213	0	0	0	129	152	281
C 15	139	0	477	0	0	0	337	279	616
C 16	42	0	220	1	1	0	102	162	264
C 17	133	0	481	0	0	0	341	273	615
C 18	169	0	2274	0	2	2	158	2289	2447
C 19	65	0	651	0	0	0	553	162	715
C 20	68	0	387	1	1	0	224	233	457
C 21	111	0	385	0	0	0	170	326	496
C 22	67	0	280	0	0	0	114	233	347
C 23	31	0	265	0	0	0	80	216	296
C 24	124	0	902	7	0	5	454	584	1038
C 25	59	0	220	0	0	0	122	158	279
C 26	97	5	425	0	0	0	284	242	526
C 27	834	5	789	67	25	27	1225	523	1748
C 28	227	0	531	0	1	0	523	236	759
N 30	217	0	1848	0	0	0	879	1186	2065
N 31	595	1	1710	0	0	0	718	1588	2306
N 32	521	0	5326	2	20	0	2931	2938	5870
N 33	221	1	1809	0	0	0	1091	939	2030
N 34	230	2	4415	48	0	0	3504	1191	4695
N 35	867	0	13166	12	0	0	4149	9896	14045
N 36	283	12	12598	35	0	0	7962	4965	12927
N 37	460	0	14079	13	0	0	13398	1154	14552
N 38	273	0	7701	2	0	0	6457	1518	7975
N 39	76	0	7094	2	0	0	3417	3755	7172
N 40	253	0	17355	2	0	0	3068	14542	17610
N 41	117	0	1062	5	0	0	189	994	1184
N 42	226	0	9578	1	117	0	2969	6953	9922
N 43	347	2	1162	4	0	0	208	1306	1514
N 44	213	0	2869	0	0	13	2257	838	3095
N 45	361	0	2068	2	0	0	1217	1213	2431
N 46	481	0	4670	4	0	0	3610	1545	5155
N 47	256	0	4329	0	0	0	2492	2093	4585
N 48	898	0	15823	1	0	0	12473	4249	16722

La mayor abundancia de esferas (MP primarios) se encontró en la estación N36 ubicada en el Puerto de Holbox con un total de 12.

La mayor abundancia de espumas se encontró en la estación N42 ubicada en Puerto Juárez con un total de 117.

La mayor abundancia de MP en la zona submareal se encontró en la estación N37 ubicada en el centro de Holbox con un total de 13,398, en la estación N48 ubicada en Puerto Morelos se encontró un total de 12,473. En la estación C23 ubicada en Akumal se encontró la menor abundancia de MP en la zona submareal con un total de 80.

La mayor abundancia de MP en la zona intermareal se encontró en la estación N40 ubicada en el norte de Isla Mujeres con un total de 14,542. La estación con menor abundancia de MP en la zona intermareal fue la C14 ubicada al oeste de Punta Allen con un total de 152.

La estación con mayor abundancia de MP totales fue la N40 ubicada al norte de Isla mujeres con un total de 17,610 MP, en la estación N48 ubicada en Puerto Morelos se encontró una abundancia de 16,722 MP, en la estación N37 ubicada en el centro de Holbox 14,552 MP, en la estación N35 ubicada en el este de Holbox 14 045 MP y en la estación N36 ubicada en el Puerto de Holbox 12,927 MP. Siendo las estaciones con mayor abundancia de MP.

La menor abundancia de MP se encontró en la estación C16 ubicada en el este de Punta Allen con un total de 264 MP.

En 2016 se tomaron muestras en 46 estaciones de muestreo desde Chetumal hasta Holbox, se encontró un total de 168,034 MP en las 46 estaciones de muestreo, la figura 10 muestra el

total de abundancia de acuerdo con la forma de los MP, unificando la fracción A (fracción gruesa de 5mm a 0.5mm) y la fracción B (fracción fina menor a 0.5mm).

La figura 10 se presenta con base logarítmica de 10, para una mejor apreciación de los MP, que tienen una abundancia inferior a 200 MP. Se observa en la figura la escasa abundancia de MP primarios (esferas o pellets), su abundancia es del 0.01% del total de MP. La forma más abundante de MP presente en las 46 estaciones fueron fibras de diferentes colores y tamaños, así como bolitas de fibras. La abundancia de fragmentos es inferior en comparación con la abundancia de fibras, con una relación de 1 a 14.

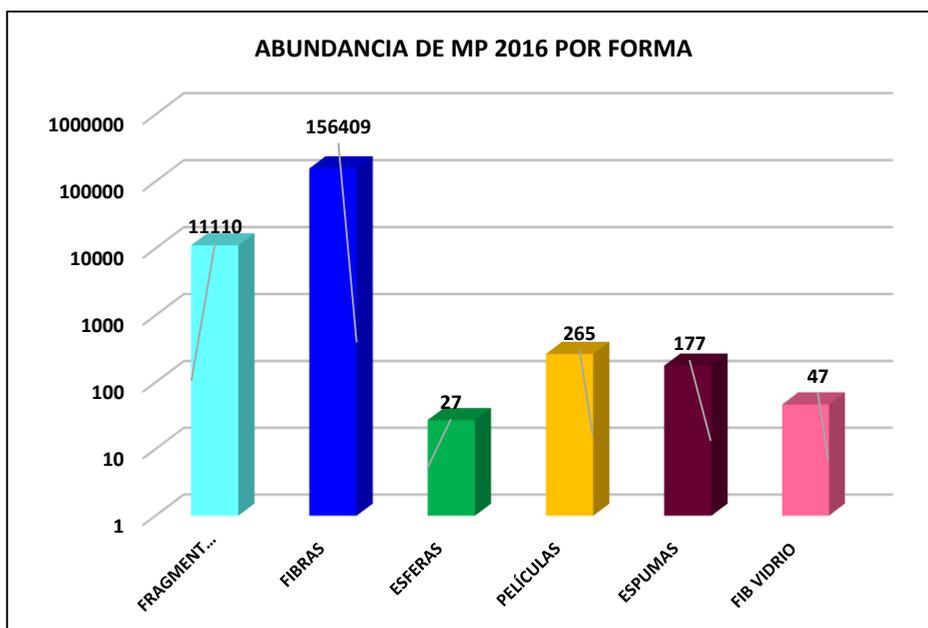


Fig. 10. Abundancia de MP 2016 de acuerdo con su forma

En la figura 11 se muestra la comparación de abundancia de MP y fibras encontrados en las 46 estaciones de muestreo, los fragmentos, pellets o esferas, films o películas y espumas se

agruparon en MP (MP rígidos), en fibras se agruparon todo tipo de fibras incluyendo bolitas de fibras. Las fibras son la forma de MP más abundantes en el muestreo 2016, las fibras encontradas corresponden al 93 % del total de los MP. Los MP (rígidos) encontrados en 2016 corresponden al 7 % del total de los MP encontrados en las 46 estaciones de muestreo. Como se observa la abundancia de fibras es significativamente mayor de cualquier otra forma de MP.

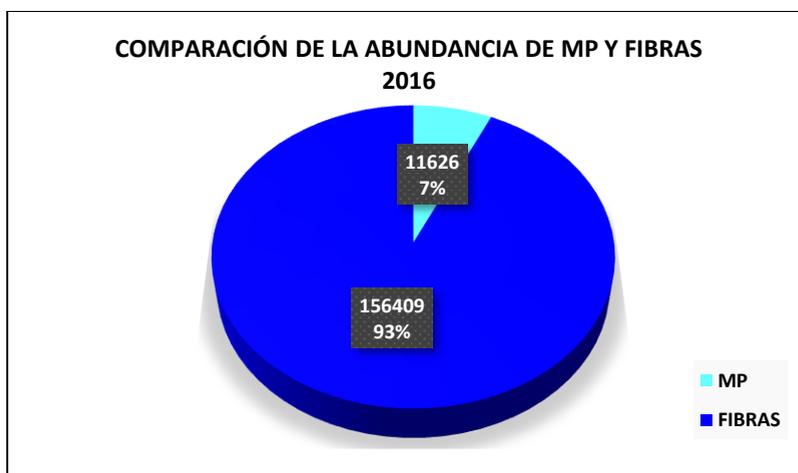


Fig. 11. Comparación de la abundancia de microplásticos rígidos (MP) y fibras

Las fibras pueden provenir de aguas residuales mal tratadas que llegan al océano, Browne et al. (2011) entre otros, afirman que cada descarga de una lavadora de uso particular puede arrojar al desagüe por lo menos 1900 fibras, considerando el total de habitantes en el estado de Quintana Roo de acuerdo con INEGI (2020) es de un total de 1,857,985 habitantes, así mismo se reportan 575,489 viviendas de uso particular, 1,188 hoteles que reporto la secretaría de turismo en 2020, con un arribo de 15,092,762 turistas en 2019, se podría estimar en miles de descargas diarias al desagüe de aguas residuales en las cuales se podría encontrar un abundante número de MP de tipo fibras, además de los microplásticos primarios tipo

microesferas utilizados en artículos de higiene personal y de limpieza como jabón y pasta de dientes.

Se realizó la comparación de los resultados en la zona intermareal y la zona submareal, para este análisis no se consideraron las estaciones 02 Chetumal, 03 Chetumal y 04 Calderitas, ya que en estas estaciones solo se tomaron muestras en la zona intermareal debido a la complejidad de tomar las muestras en la zona submareal. El resultado arrojó que se encontró mayor abundancia de MP en la zona submareal, una diferencia del 8.5 %, como se observa en la figura 12.

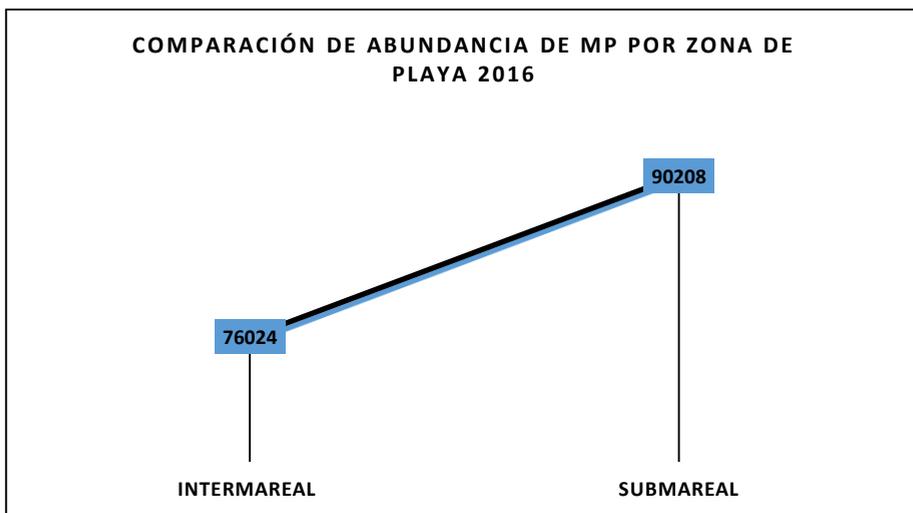


Fig. 12. Comparación de abundancia de MP por zona de playa

La figura 13 muestra la abundancia de MP, en las 46 estaciones de muestreo en 2016 ordenadas de sur a norte para poder apreciar la zona geográfica con mayor abundancia de MP, como se observa en la figura 13 la abundancia de MP es mayor en las zonas turísticas de Playa del Carmen, Puerto Morelos, Cancún, Holbox e Isla Mujeres, las playas con mayor

abundancia de MP se encontraron en el siguiente orden considerando de mayor a menor: en la estación N40 ubicada en Isla Mujeres Norte, N48 Puerto Morelos Puerto, N37 Holbox Centro, N35 Holbox E, N36 Holbox Puerto y N42 Puerto Juárez Cancún, las estaciones anteriores presentan un alto índice turístico anual. La estación N40 es la zona con mayor turismo en Isla Mujeres, ya que la mayoría de los transportes marítimos arriban muy cerca de ahí.

Flores-Ocampo (2023) afirma que la abundancia de MP en zonas costeras depende de factores como la proximidad de las zonas urbanas, la dirección del viento, las corrientes, marinas y la energía de las olas (Bayar et al., 2022; Brandon et al., 2016; Tanković, 2021), además de las actividades humanas como turismo, agricultura, pesca y puertos marítimos, que se consideran clave en la acumulación de MP (Viswanathan, 2022, Zhou et al., 2020), Cruz et al., 2022 afirman que la contaminación por desechos plásticos en la costa tienen su origen tanto por actividades que se desarrollan en el lugar como por los residuos que llegan a la costa (UICN, 2021. PNUMA, 2016). Las estaciones antes mencionadas al tener una circulación constante de turistas dan como resultado una abundante cantidad de residuos diariamente, a pesar de que la mayoría de estas playas son limpiadas diariamente como ya se mencionó los MP por su tamaño son prácticamente imposibles de recolectar por lo que se van acumulando.

La Laguna de Chetumal, Pulticub, y Punta Allen son estaciones en las cuales el índice turístico presente es bajo, son zonas de bajo índice poblacional, sin embargo, son zonas con abundantes MP, la presencia de MP por lo tanto puede ser atribuible al efecto de corrientes marinas que arrastran residuos plásticos a la costa o derivadas del mal manejo de residuos en la costa que por acción del viento llegan a la zona de playa y al océano.

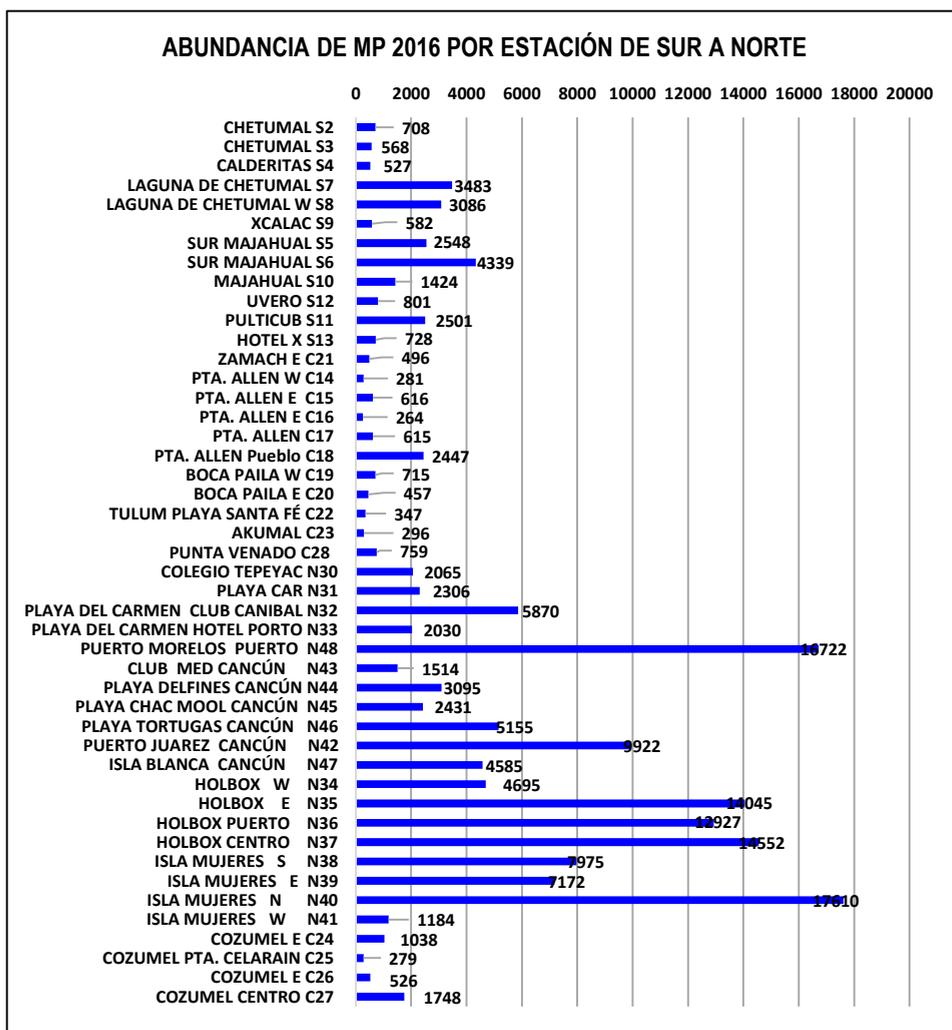


Fig. 13. Abundancia de MP 2016 por estación de muestreo ordenadas de sur a norte

Las estaciones C27 ubicada en Cozumel, N36 ubicada en Holbox, N40 ubicada en Isla Mujeres, N42 ubicada en Puerto Juárez Cancún y N48 ubicada en Puerto Morelos, son estaciones de amplia abundancia de MP, todas estas estaciones son puertos de arribo de

turistas. Son estaciones que presentan una amplia afluencia de turistas durante todo el año, por ende, amplia abundancia de residuos que podrían generar contaminación si estos no son adecuadamente manejados. Además de generarse residuos por el funcionamiento normal de un puerto como son microplásticos derivados del desgaste del uso de chalecos salvavidas, desgaste de los neumáticos que se utilizan como amortiguador para evitar daño a las embarcaciones en el puerto, desgaste de redes de pesca, desgaste de recipientes de plástico utilizados durante la pesca (botes, cajas, bolsas entre otros para contener la pesca diaria) (Derraik, 2002; Cole et al., 2011), desgaste de los artículos de buceo o snorkel que son utilizados en actividades recreativas para los turistas (Cruz-Salas et al., 2022; Andrady, 2011; Ronda et al., 2023; Retama et al., 2016; Piñon-Colín et al., 2018).

Holbox es una localidad en la cual se encontró gran abundancia de MP en todas las estaciones de muestreo. La estación N37 Holbox Centro, N35 este de Holbox y N36 Holbox Puerto, son las estaciones que corresponden el tercero, cuarto y quinto lugar de abundancia en el muestreo 2016. Durante el muestreo se pudo observar que es una Isla que no tiene un adecuado manejo de residuos, en la estación oeste incluso se encontró un área como tiradero de basura a cielo abierto, en la estación Holbox centro también se encontró amplia abundancia de plásticos y MP en la zona de playa.

La mayor abundancia de MP se encontró en forma de fibras en las 46 estaciones de muestreo, las estaciones S05 y S06 ubicadas al Sur de Majahual, S07 ubicadas en la Laguna de Chetumal, N36 y N37 ubicadas en Holbox, N38, N39 y N40 ubicadas en Isla Mujeres y N42 ubicada en Puerto Juárez Cancún (figura 14), son las estaciones en las cuales el mayor porcentaje de MP se encontró en de forma de fibras, esto puede deberse a las aguas residuales que van a dar directo al océano sin ser adecuadamente tratadas, inclusive, como mencionan Murphy et al. (2016), las aguas residuales después de ser tratadas aun llevan gran

abundancia de MP, al aumentar el turismo aumenta la generación de residuos (Cruz-Salas et al., 2018), en este caso las descargas de aguas residuales, como ya se mencionó las descargas de lavado de prendas arroja al desagüe más de 1900 fibras por descarga de lavado (Browne et al., 2011 ).

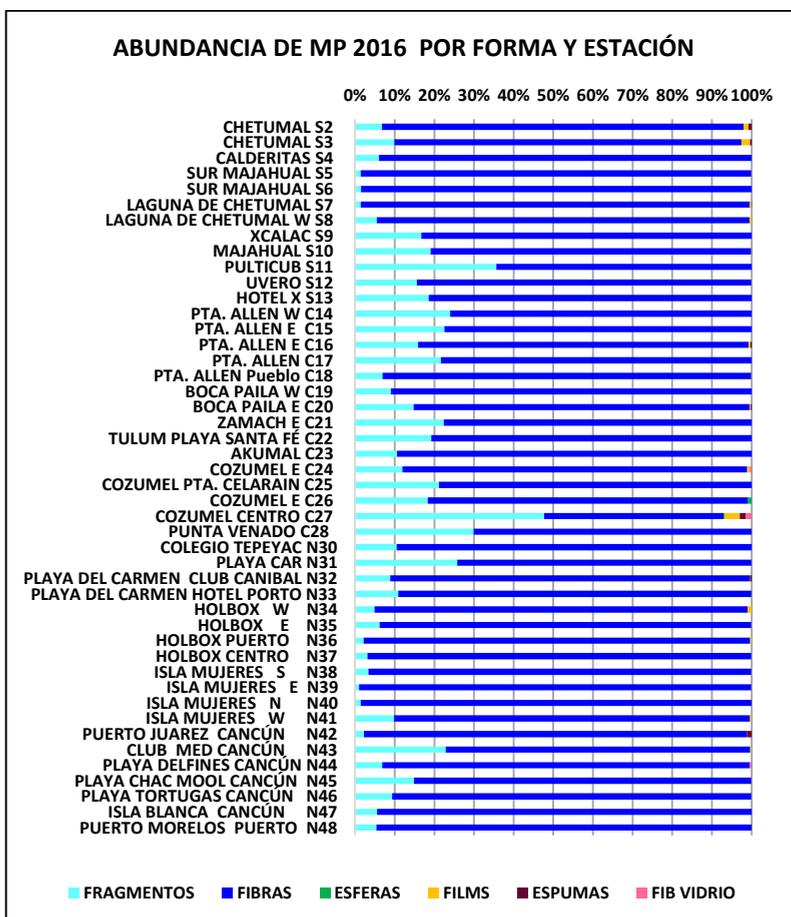


Fig. 14. Abundancia de MP por estación y forma en 2016

Las estaciones N40 ubicada al norte de Isla Mujeres, N48 ubicada en Puerto Morelos, N35 y N37 ubicadas en Holbox son las estaciones con mayor abundancia de MP del muestreo 2016, la mayor abundancia de MP en estas estaciones se encontró en forma de fibras como se observa en la figura 14 y en la tabla 4.

En la estación C27 ubicada en Cozumel centro se encontraron 834 fragmentos que corresponde al 47.7% del total de MP de la estación, es la única estación en la cual se encontró mayor abundancia de fragmentos que fibras. Es la estación en la que se encontró la mayor abundancia de MP en forma de películas. Es la única estación en la cual se encontraron todos los tipos de MP considerados en este estudio (fibras, fragmentos, films, esferas, espumas). Esta estación está muy cerca de la estación de desembarco de ferris de pasajeros, además que es una estación en la que se encontró abundancia de residuos en la playa, los cuales, por acción de los rayos de sol, el viento y las olas se degradan y terminan en la zona de playa y en la zona submareal. Además, se debe considerar que la pintura plástica que recubre las embarcaciones se desgasta y se convierten en MP en forma de films o fragmentos.

En la estación S11 ubicada en Pulticub se encontró un total de 891 fragmentos que representa el 35.63% del total de MP de esa estación.

En la estación C28 ubicada en Punta Venados se encontró un total de 227 fragmentos lo que representa el 29.95 % del total de MP de la estación.

La figura 15 muestra la abundancia por color de MP, en el muestreo 2016 se encontró la mayor abundancia de MP en color blanco y transparente, en segundo lugar, se encontraron MP en color azul, además se encontró abundancia en color negro, amarillo y rojo en orden descendente de abundancia.

El 65.52% del total de MP corresponde a MP de color blanco y transparente de los cuales la mayor abundancia se encontró en forma de fibras.

El 23.63% del total de MP corresponde a MP de color azul.

Los resultados de MP por color no se extrapolaron, ya que se presentan en total de MP del total del muestreo y no por estación, por lo cual no se pueden extrapolar.

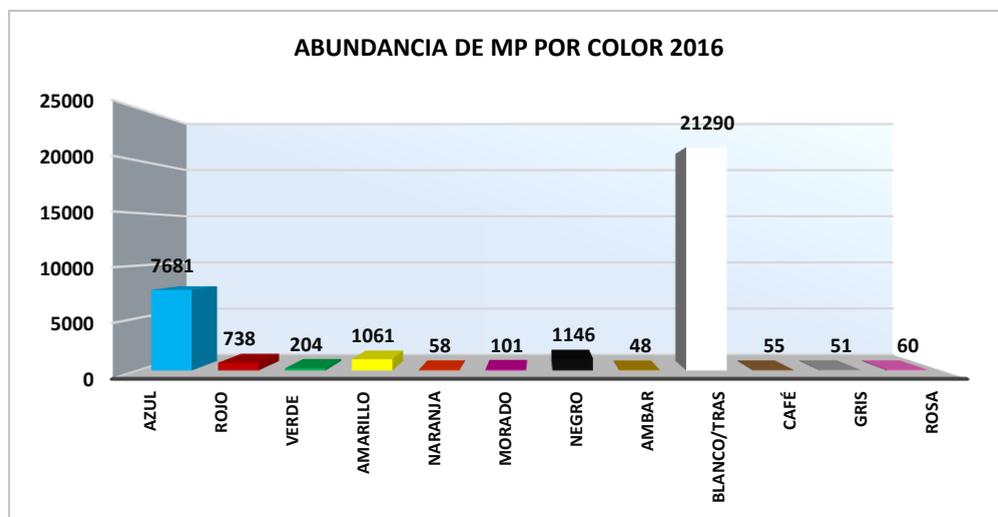


Fig. 15. Abundancia de MP por color 2016

## RESULTADOS 2018

La tabla 5 muestra los resultados del muestreo 2018. En las primeras filas se observan los resultados por forma de MP, en fibras se agrupo fibras, microfibras y bolitas de fibras. En la tabla también se muestran los resultados de las zonas de playa (submareal, intermareal, playa) en las que se encontraron MP.

En el muestreo 2018 se encontró un total de 22,340 MP con un rango de 360 MP de abundancia mínima a 4,240 MP de abundancia máxima.

La mayor abundancia de fibras se encontró en la estación 02 ubicada en Isla Gaviotas con un total de 3,580. La menor abundancia se fibras se encontró en la estación 06 ubicada en Playa Delfines con un total de 280.

Tabla 5. Resultados del muestreo 2018

ESTACIÓN	FIBRAS	FRAGMENTOS	ESPUMAS	FILM	ESFERAS	SUB MAREAL	INTER MAREAL	PLAYA	TOTAL
1	1020	60	0	40	0	200	280	640	1120
2	3580	240	0	420	0	280	620	3340	4240
3	460	40	0	0	0	80	180	240	500
4	940	1060	0	20	120	800	440	900	2140
5	340	160	0	0	0	140	80	280	500
6	280	40	0	40	0	60	80	220	360
7	1680	480	0	1420	0	220	1560	1800	3580
8	680	180	0	20	0	140	340	400	880
9	360	60	0	0	0	40	240	140	420
10	700	80	0	20	0	60	480	260	800
11	520	80	0	0	0	200	240	160	600
12	360	80	0	0	0	240	100	100	440
13	1020	120	0	20	0	160	180	820	1160
14	600	80	0	0	0	80	160	440	680
15	1020	2600	0	20	0	140	440	3060	3640
16	640	220	0	20	0	100	120	660	880
17	300	80	0	20	0	60	200	140	400

La mayor abundancia de fragmentos se encontró en la estación 15 ubicada en Playa Constituyentes, ubicada a un costado del puerto, en la salida de ferris de pasajeros en Playa del Carmen, con un total de 2,600 fragmentos. La menor abundancia de fragmentos se encontró en la estación 06 ubicada en Playa Delfines con un total de 40.

La mayor abundancia de películas se encontró en la estación 07 ubicada en la Laguna de Punta Allen, con un total de 1,400.

En este muestreo no se encontraron MP en forma de espuma en ninguna de las 17 estaciones de muestreo.

La mayor abundancia de esferas se encontró en la estación 04 ubicada al Norte de Isla Mujeres, con un total de 120. Es la única estación en la que se encontraron esferas en el muestreo 2018.

La mayor abundancia de MP en la zona submareal se encontró en la estación 04 ubicada en el norte de Isla Mujeres con un total de 800. La menor abundancia de MP en la zona submareal se encontró en la estación 09 ubicada en Punta Allen con un total de 40.

La mayor abundancia de MP en la zona intermareal se encontró en la estación 07 ubicada en la Laguna de Punta Allen con un total de 1,560. La menor abundancia de MP se encontró en la estación 05 ubicada en Playa Tortugas y en la estación 06 ubicada en Playa Delfines ambas con un total de 80.

La mayor abundancia de MP en la zona de playa se encontró en la estación 02 ubicada en Isla Blanca Gaviotas con un total de 3340. La menor abundancia de MP en zona de playa se encontró en la estación 12 ubicada en Playa Santa Fe en Tulum con un total de 100.

La estación con mayor abundancia de MP totales fue la estación 02 ubicada en Isla Blanca Gaviotas con un total de 4,240. En la estación 15 ubicada en Playa Constituyentes se encontró un total de 3,640. En la estación 07 ubicada en la Laguna de Punta Allen se encontró un total de 3,580. Siendo las estaciones con mayor abundancia de MP.

La menor abundancia de MP se encontró en la estación 06 ubicada en Playa Delfines con un total de 360.

En el muestreo 2018 se tomaron muestras en 17 estaciones desde Punta Allen hasta Isla Blanca en Cancún, incluyendo Isla Mujeres norte, se encontró un total de 22,340 MP, de los cuales la mayor abundancia fueron fibras como se aprecia en la figura 16 y en la tabla 5, aproximadamente el 0.53% corresponde a MP primarios (esferas o pellets), el 9.2 % a films o películas y el 25.3% a fragmentos.

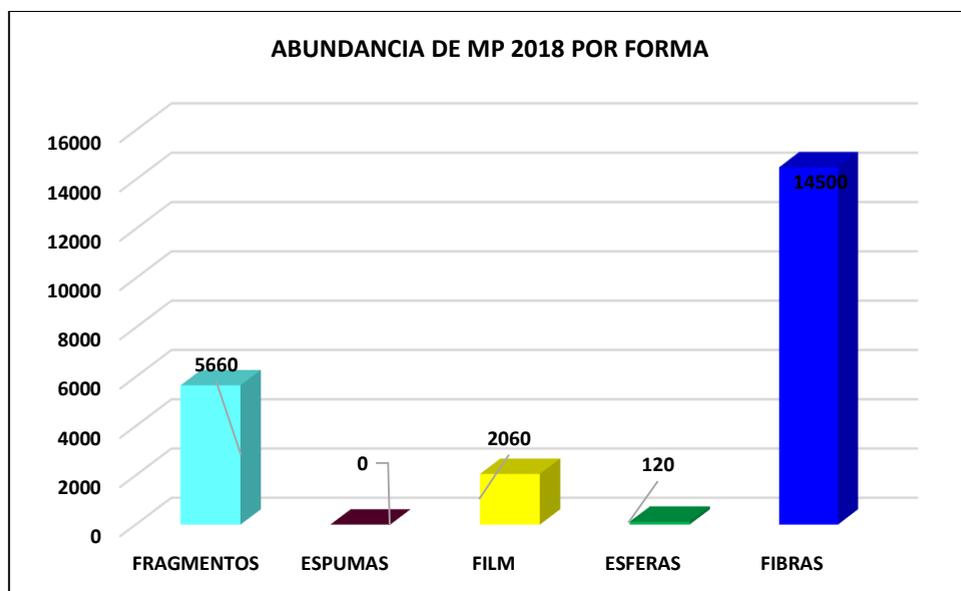


Fig. 16. Abundancia de MP 2018 por forma

La mayor abundancia de MP encontrados fue en forma de fibras con un total de 14,500 en total en las 17 estaciones de muestreo.

Se encontraron 5,660 fragmentos y 2,060 films o películas. Se encontraron 120 esferas o MP primarios. En este muestreo no se encontraron espumas en ninguna de las 17 estaciones de muestreo.

En 2018 se obtuvo un total de 22,340 MP de los cuales los MP rígidos, es decir, fragmentos, films o películas, pellets o esferas y espumas se agruparon como MP, con la finalidad de apreciar la diferencia de abundancia de MP diferentes a fibras y poder hacer la comparación. A su vez las fibras, microfibras y bolitas de fibras fueron agrupadas en fibras. Como se aprecia en la figura 17 el total de fibras es de 65% y el total de MP rígidos es del 35 %, la abundancia de fibras es considerablemente superior a cualquier otro tipo de MP de otras formas.

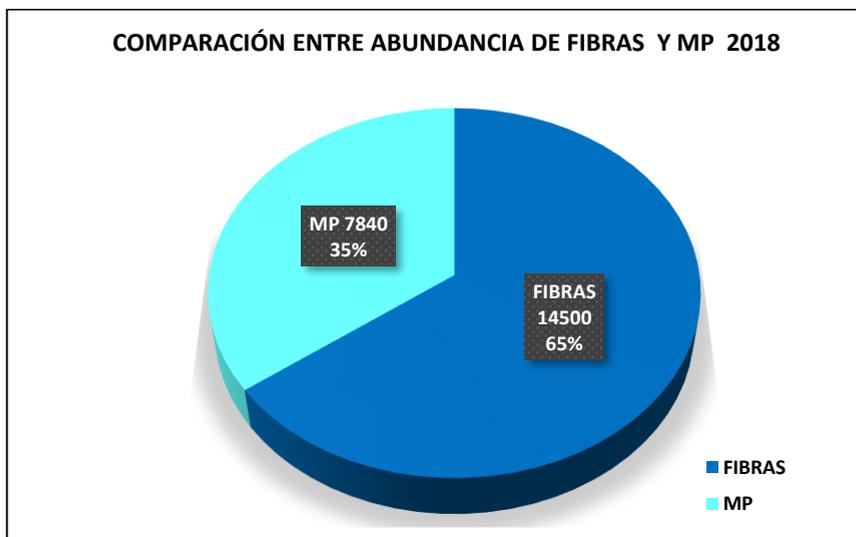


Fig. 17. Comparación de abundancia de fibras y MP rígidos 2018

En el muestreo 2018 se tomaron muestras en la zona submareal aproximadamente a un metro de profundidad, en la zona intermareal y en la zona de playa. Como se aprecia en la figura 18 en la zona de playa se encontró el 60.87% del total de MP, por lo que la zona de playa es la zona con mayor abundancia de MP, el 25.69 % de los MP se encontraron en la zona intermareal y el 13.42% del total MP se encontraron en la zona submareal, siendo la zona submareal la zona con menor abundancia de MP. Por lo que se puede inferir que los MP provienen de tierra hacia el mar. Las muestras de la zona de playa fueron tomadas entre 3 y

6 metros de distancia de la zona intermareal, en algunas estaciones coincide con la zona de reposos y recreación de los turistas.



Fig. 18. Abundancia de MP 2018 distribuidos en zona de playa

En la tabla 5 también se puede observar la abundancia de tipo de MP por forma y zona de playa.

En comparación con el muestreo 2016 en el muestreo 2018 en la zona submareal no se encontró mayor abundancia que en la zona intermareal, esto puede deberse a que en el muestreo 2018 no se tomaron muestras en Holbox, que fueron las estaciones en donde se encontró mayor abundancia de MP en la zona submareal (tabla 4 y 5).

En el muestreo 2018 la estación con mayor abundancia de MP fue la 02 ubicada en Isla Blanca al Norte de Cancún con un total de 4,240 MP (figura 19), en la estación 15 ubicada en Playa

Constituyentes en Playa del Carmen se encontraron un total de 3,640 MP, la tercera estación de abundancia corresponde a la 07 ubicada en Punta Allen W del lado de la laguna con un total de 3,580 MP. La estación con menor abundancia de MP fue Playa Delfines ubicada en la zona sur de Cancún (tabla 5). Playa Constituyentes e Isla Mujeres son estaciones con amplia afluencia de turistas durante todo el año, Akumal y Puerto Morelos también son estaciones con amplia abundancia de MP y de afluencia de turistas, diversos autores confirman la relación de la abundancia de MP en costas con turismo y cercanas a zonas urbanas.

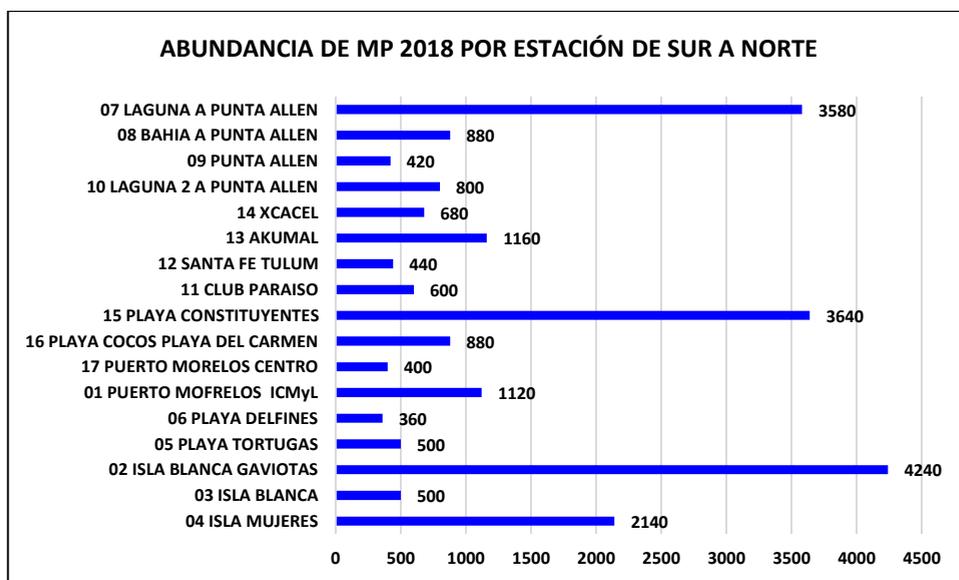


Fig. 19. Abundancia de MP 2018 por estación de muestreo ordenada de sur a norte

En el muestreo 2018 se encontraron MP con forma de fibras, films o películas, esferas o pellets y fragmentos, los MP tipo fibra se encontraron en mayor abundancia en comparación con las otras formas de MP. Como se aprecia en la figura 20, en 14 de las 17 estaciones de muestreo la forma de MP más abundante son fibras, excepto en las estaciones 04 y 15 ubicadas en Isla Mujeres Norte y Playa Constituyentes en Playa del Carmen, en las cuales se encontró mayor

abundancia de MP en forma de fragmentos, en la estación 07 ubicada en Punta Allen W del lado de la Laguna, se encontró un total de 1,680 fibras, 1,420 film y 480 fragmentos, el total de los MP encontrados en esta estación son de una abundancia superior en MP rígidos que los MP de forma de fibra.

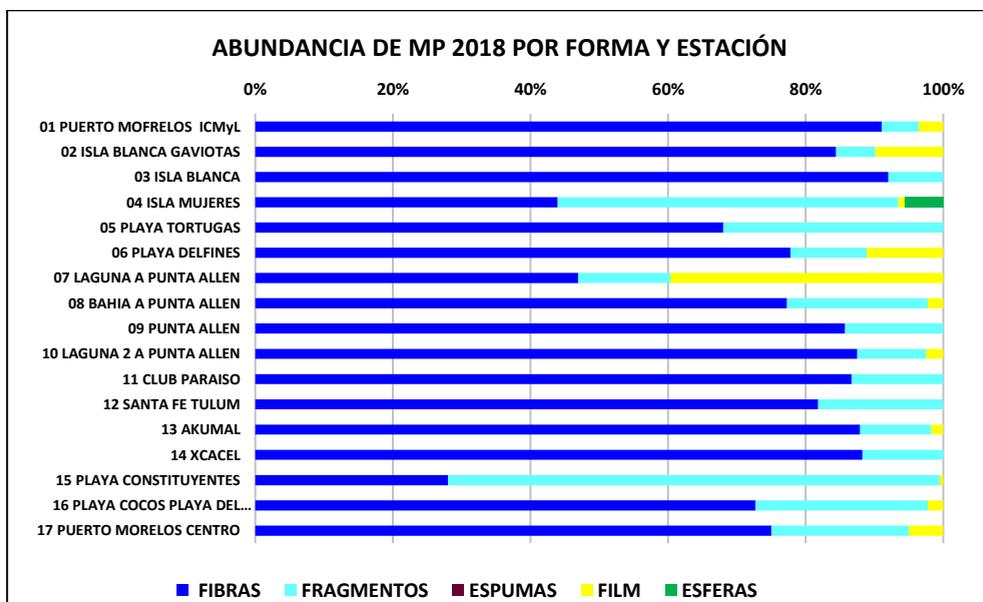


Fig. 20 Abundancia de MP 2018 por forma y estación de muestreo.

En la estación 15 ubicada en Playa Constituyentes en Playa del Carmen el 71.42% del total de MP en la estación corresponden a fragmentos.

En la estación 04 ubicada en Isla Mujeres Norte el 49.5% del total de MP corresponde a fragmentos.

En la estación 07 ubicada en la Laguna de Punta Allen el 39.66% del total de MP corresponde a Films. En esta estación se encontró la mayor abundancia de películas de las 17 estaciones de muestreo.

En la estación 05 ubicada en Playa Tortugas Cancún el 32% del total de MP corresponden a fragmentos.

La figura 21 muestra la abundancia de MP de acuerdo al color, la mayor abundancia de MP se encontró en color Blanco y transparente, en orden de mayor a menor se encontraron MP en color azul, amarillo verde y rojo, se encontraron MP en otros colores con abundancia menor a 10 MP.

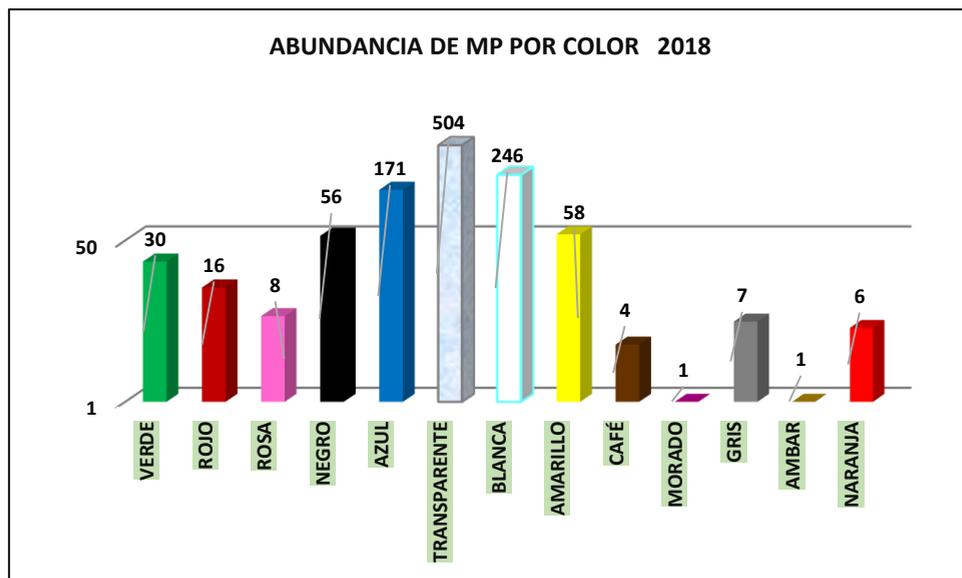


Fig. 21. Abundancia de MP por color 2018

El 67.68% del total de los MP corresponden a MP de color blanco y transparente, el 15.43% del total corresponden a MP de color azul.

La mayor abundancia de MP blancos y transparentes corresponden a MP en forma de fibras.

## **RESULTADOS 2021**

La tabla 6 muestra los resultados del muestreo 2021, se muestran los resultados por forma de MP, y por zona de playa en la que se encontraron los MP.

En el muestreo 2021 se encontró un total de 100,486 MP con un rango de abundancia mínima de 520 MP a 28,478 de abundancia máxima.

Las estaciones con mayor abundancia de MP en forma de fibras fueron la estación 10 ubicada en Punta Piedra con un total de 5,390, y la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel con un total de 5,288. La estación con menor abundancia de fibras fue la estación 12 ubicada en Akumal con un total de 390.

Las estaciones con mayor abundancia de MP en forma de fragmentos fueron las estaciones 05 ubicada en Pulticub con un total de 27,003, y la estación 21 ubicada en el centro Cozumel con un total de 14,870. La estación con menor abundancia de fragmentos fue la estación 31 ubicada en el centro de Puerto Morelos con un total de 50.

Las estaciones con mayor abundancia de espumas fueron la estación 10 ubicada en Punta Piedra con un total de 30, la estación 14 ubicada al este de Isla Mujeres y la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel, ambas con un total de 28 espumas.

Tabla 6. Resultados del muestreo 2021

ESTACIÓN	FIBRAS	FRAGMENTOS	ESPUMAS	FILM	ESFERAS	SUBMAREAL	INTERMAREAL	PLAYA	POST	TOTAL
2	650	1000	0	30	0	1290	390			1680
3	3900	2480	0	2580	160	8200	920			9120
4	790	1540	0	0	70	1250	1150			2400
5	1464	27003	3	8	0	500	640	1763	25576	28478
6	1550	270	10	19	0	390	270	453	736	1849
7	450	530	20	20	0	450	570			1020
8	600	450	0	200	0	800	450			1250
9	777	95	0	20	0	450	230	213		893
10	5390	890	30	30	0	450	210	5680		6340
11	1527	90	0	0	0	200	220	1053	145	1617
12	390	130	0	0	0	250	270			520
13	1769	194	0	2	0	230	470	388	878	1966
14	1454	905	28	2	9	330	90	616	1362	2397
15	500	90	0	0	10	210	110	280		600
16	620	130	0	0	0	380	90		280	750
17	1690	790	20	0	230	1800	320	610		2730
18	3369	520	0	8	20	2687	180	1050		3917
19	1020	140	0	10	20	370	370	120	330	1190
20	720	60	10	0	0	150	210	70	360	790
21	5288	14870	28	620	133	5655	1112	14172		20938
22	1638	74	0	5	0	140	180	616	781	1717
23	440	200	0	0	0	250	70	170	150	640
24	1006	138	0	0	0	100	320	517	208	1145
25	600	60	0	10	0	150	210	110	200	670
26	1120	160	10	10	0	560	140	290	310	1300
27	690	100	0	0	0	160	190	200	240	790
28	450	80	0	10	0	180	110		250	540
29	650	90	0	10	0	360	120	270		750
30	1420	60	0	0	0	70	900	170	340	1480
31	960	50	0	0	0	470	150	80	310	1010

La estación con mayor abundancia de films o películas fue la estación 03 ubicada en Chetumal con un total de 2,580, en la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel también se encontró amplia abundancia de films con un total de 620.

La estación con mayor abundancia de esferas fue la estación 17 ubicada en Puerto Juárez con un total de 230, en la estación 03 ubicada en Chetumal se encontró una abundancia de 160 y en la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel un total de 133 esferas.

La estación con mayor abundancia de MP en la zona submareal fue la estación 03 ubicada en Chetumal con un total de 8,200. En la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel se encontró una abundancia de 5,655. La estación con menor abundancia de MP en la zona submareal fue la estación 30 ubicada enfrente de la UASA de Puerto Morelos con un total de 70.

Las estaciones con mayor abundancia de MP en la zona intermareal fue la estación 04 ubicada en Calderitas con un total de 1,150 y la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel con un total de 1,112. En las estaciones 03 ubicada en Chetumal se encontró una abundancia de 920 y en la estación 30 ubicada en Puerto Morelos UASA, se encontró un total de 900.

La estación con menor abundancia de MP en la zona intermareal fue la estación 23 ubicada en Isla Blanca con un total de 70.

La estación con mayor abundancia de MP en la zona de playa fue la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel con un total de 14,172. En la estación 10 ubicada en Punta Piedra se encontró una abundancia de 5,680 MP.

La estación con menor abundancia de MP en la zona de playa fue la estación 20 ubicada en el oeste de Cozumel con un total de 70.

La estación con mayor abundancia de MP en la zona de post playa fue la estación 05 ubicada en Pulticub con un total de 25,576.

La estación con menor abundancia de MP en la zona de post playa fue la estación 11 ubicada en Playa Santa Fe en Tulum con un total de 145.

La estación con mayor abundancia de MP totales fueron las estaciones 05 ubicada en Pulticub con un total de 28,478 y la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel con un total de 20,938. En la estación 03 ubicada en Chetumal se encontró una abundancia de 9,120 MP y en la estación 10 ubicada en Punta Piedra un total de 6,340 MP.

La estación con menor abundancia de MP fue la estación 12 ubicada en Akumal con un total de 520.

En 2021 se realizó el muestreo en 30 estaciones desde Chetumal hasta Holbox, incluyendo Isla Mujeres y Cozumel, encontrando un total de 100,486 MP, la mayor abundancia de MP que se encontró fue en forma de fragmentos con un total de 53,189, se encontró un total de 42,893 fibras, en esta categoría se agrupo fibras, microfibras y bolitas de fibras.

La menor abundancia de MP fue en forma de espumas con un total de 158 espumas, se encontró un total de 651 esferas (MP primarios), y un total de 3,594 films o películas (figura 22 y tabla 6).

El 52.93% del total de los MP corresponde a fragmentos, el 42.68 % corresponde a fibras, el 3.57% a films, el 0.15 % a espumas y el 0.64% a esferas (MP primarios).

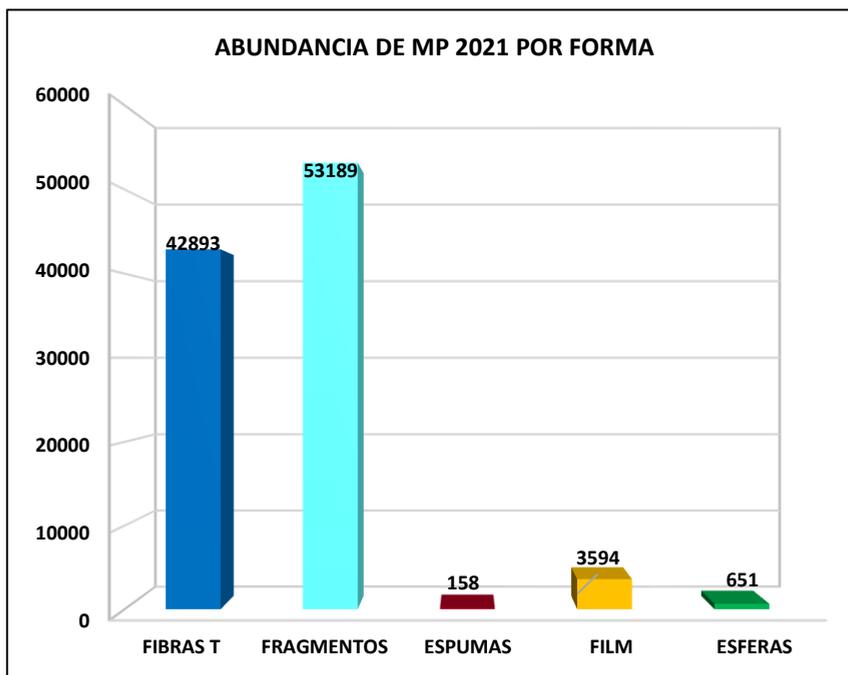


Fig. 22 Abundancia de MP 2021 por forma

En el muestreo 2021 se encontró un total de 100,486 MP en las 30 estaciones de muestreo, de los cuales el 57% del total, es decir, 57,593 MP corresponden a MP rígidos (en este grupo se consideraron fragmentos, espumas, esferas y films), en comparación con fibras (en este grupo se consideraron fibras microfibras y bolitas de fibras) se encontró un total de 42,893 Fibras, que corresponde al 43% del total de los MP (figura 23). La mayor abundancia de los MP se encontró en MP rígidos.

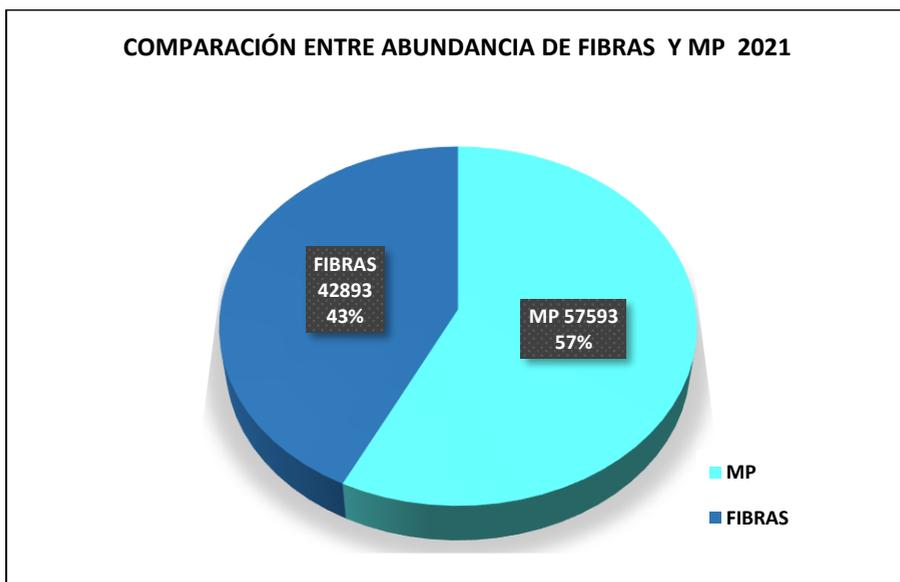


Fig. 23. Comparación de la abundancia de MP rígidos y fibras 2021

En el muestreo 2021 se tomaron muestras en cuatro zonas de la playa, en la zona submareal aproximadamente a 1 metro de profundidad, en la zona intermareal, en la zona de playa entre 3 y 6 metros de distancia de la zona intermareal, y en la zona de post playa entre 10 y 15 metros de distancia de la zona intermareal. Se tomó la decisión de incluir la zona de post playa en la investigación para un análisis más completo. En este muestreo se encontró la mayor abundancia de MP en la zona de post playa con un total de 32,454 (figura 24), lo que corresponde al 32.29% del total de MP, en la zona de playa se encontró un total de 28,889 MP lo que corresponde al 28.74% del total de MP, en la zona submareal se encontró un porcentaje similar con 28.34% de MP y un total de 28,481, la zona intermareal es la zona con menor abundancia de MP, se encontró un total de 10,662 lo que corresponde al 10.61% de MP.

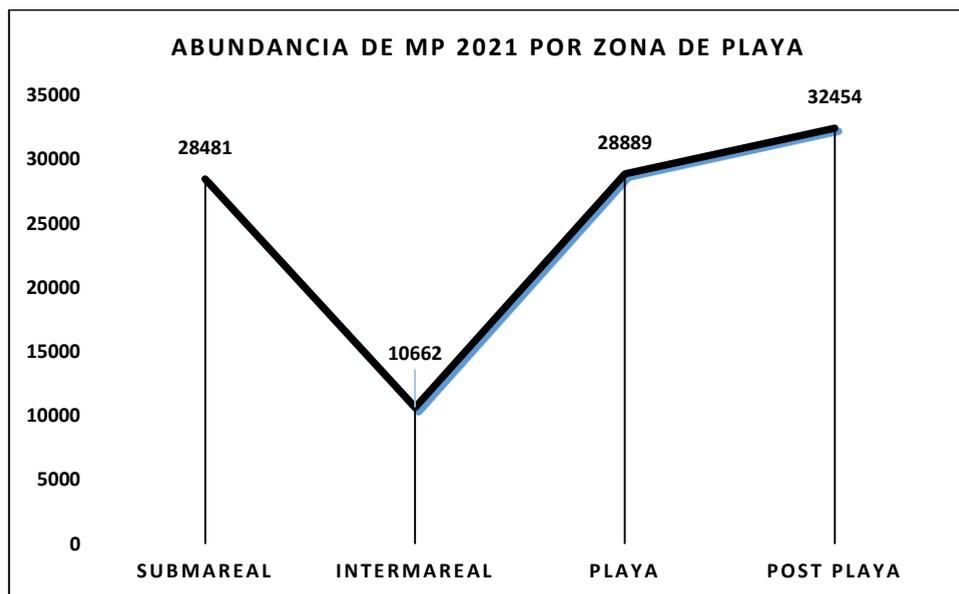


Fig. 24. Abundancia de MP 2021 por zona de playa

Es importante considerar que de las 30 estaciones de muestreo sólo en 22 estaciones fue posible tomar muestras en la zona de playa, y en 17 estaciones en la zona de post playa, sin embargo, la mayor abundancia se encontró la zona de playa y post playa. En las 30 estaciones se tomó muestras en las zonas submareal e intermareal (tabla 6).

La siguiente fotografía (5) fue tomada en la zona de post playa, a 15 metros de la zona intermareal, en la Playa Santa Fe ubicada del lado derecho de la Zona Arqueológica de Tulum. En esta zona se encuentran ubicadas la mayoría de las palapas de descanso para turistas. Los plásticos que se observan fueron encontrados en un área de 30 x 30 cm por 3 cm de profundidad aproximadamente.



Fotografía 5. Fragmentos de mesoplásticos y MP encontrados en playa Santa Fe

En 2021 se realizó muestreo en 30 estaciones, la mayor abundancia se encontró en la estación 05 ubicada en Pulticub con un total de 28,478 de MP (figura 25), en la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel se encontró una abundancia de 20,938 MP, en la estación 03 ubicada en Chetumal se encontró un total de 9,120 MP. En las estaciones 12 ubicada en Akumal y la estación 28 ubicada en el este de Holbox, fueron las estaciones con menor abundancia de MP con un total de 520 y 540 MP respectivamente.

En 12 de las 30 estaciones de muestreo se obtuvo una abundancia mayor a 1,000 MP, en 2 de ellas (estaciones 05 y 21) la abundancia fue mayor a 20,000 MP (figura 25).

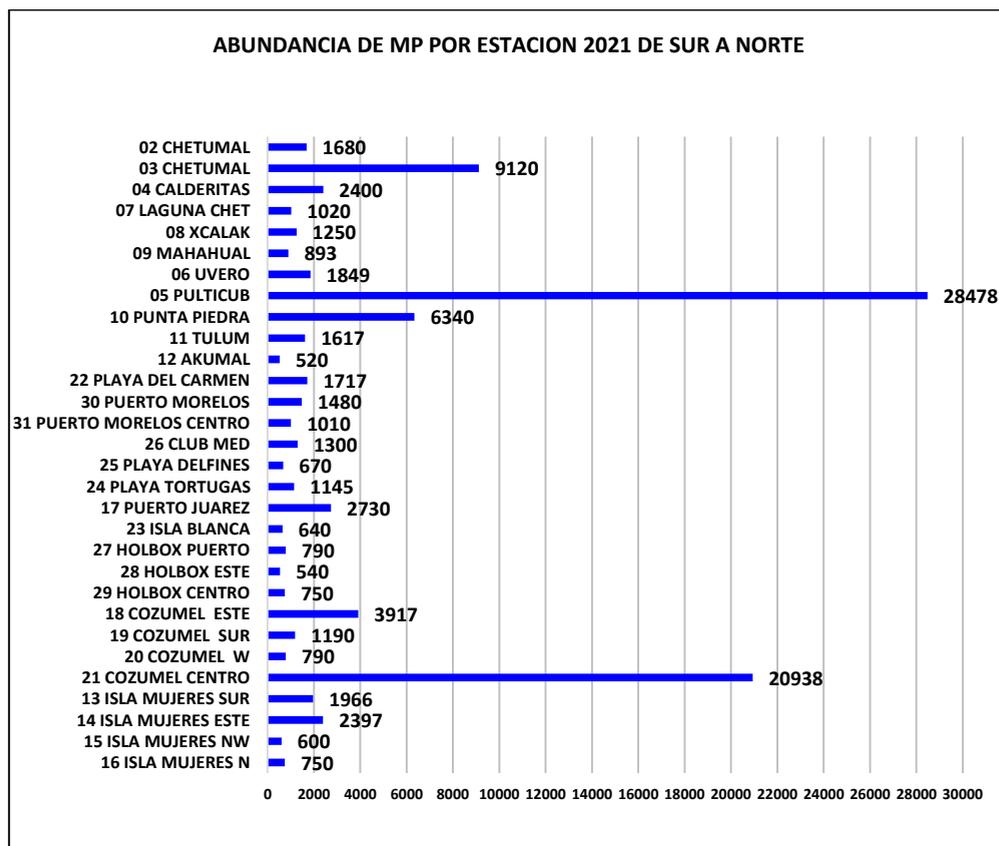


Fig. 25. Abundancia de MP por estación 2021 ordenadas de sur a norte

En la estación 05 ubicado en Pulticub se encontró un total de 27,003 fragmentos (figura 26), que corresponden al 94.8% del total de la estación. En la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel se encontró un total de 14,870 fragmentos que corresponden a 71% del total de MP de la estación, en la estación 04 ubicada en Calderitas se encontró un total de 1,540 fragmentos que corresponden al 64.16% del total de MP de la estación, en la estación 02 ubicada en Chetumal se encontró un total de 1,000 fragmentos que corresponden al 59.52% del total de MP de la estación.



Fig. 26. Abundancia de MP 2021 por forma y estación

En 18 de las 30 estaciones de muestreo se encontró abundancia de más del 80% de los MP en forma de fibras (figura 26).

La mayor abundancia de films se encontró en las estaciones 03 ubicada en Chetumal con un total de 2,580 films que corresponden al 28.28 % del total de MP de la estación, en la estación 08 ubicada en Xcalac se encontró una abundancia de 200 films, que corresponden al 16% del total de MP de la estación y en la estación 21 ubicada en el centro de Cozumel se encontró un total de 620 films (figura 26).

La mayor abundancia de esferas se encontró en la estación 17 ubicada en Puerto Juárez con 230 esferas que corresponden al 8.4% del total de MP de la estación (figura 26).

La mayor abundancia de MP por color se encontró en MP de color azul con un total de 7,297 MP (figura 27), se encontró una abundancia de 7,038 MP en color transparente y 957 MP en color verde, 955 MP en color blanco y 818 MP en color amarillo, siendo los colores de mayor abundancia de MP en el muestreo 2021.

La abundancia de color blanco y transparente corresponde al 43.92% del total de MP, la abundancia en azul corresponde al 40.1% del total de MP.

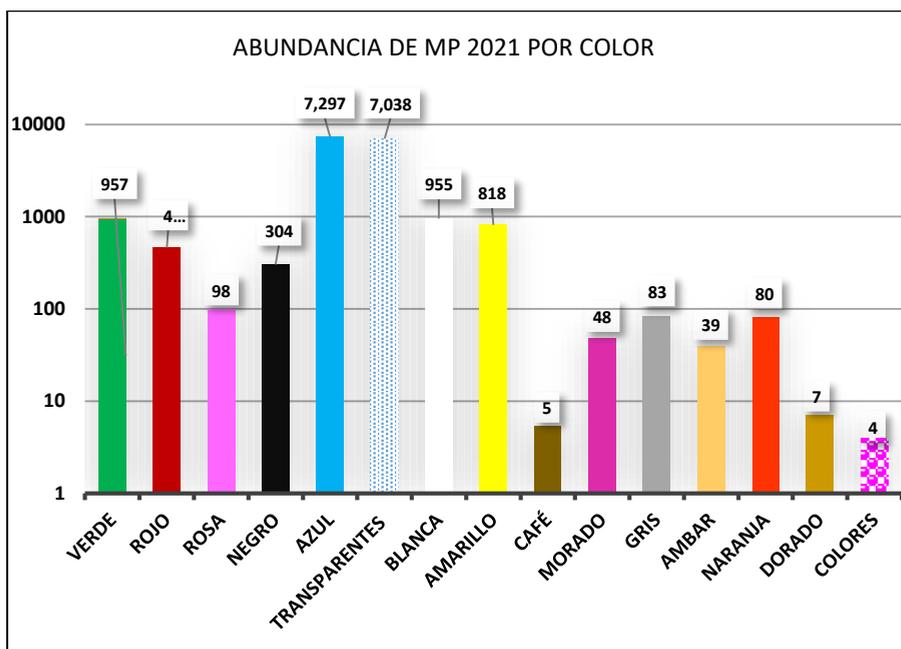


Fig. 27. Abundancia de MP 2021 por color

## COMPARACIÓN DE ABUNDANCIA DE MP EN LOS MUESTREOS 2016, 2018 Y 2021

En el análisis comparativo de los tres muestreos no se consideraron las estaciones que no son comparativos con otros años, es decir, las estaciones en las que solo se tomaron muestras en uno de los tres años de muestreo. Del muestreo 2016 se consideraron 32 de las 46 estaciones del muestreo, en 2018 se consideraron 13 estaciones de las 17 estaciones de muestreo, del muestreo en 2021 se consideraron 29 de las 30 estaciones (tabla 3), esto se hizo con la finalidad de poder llevar a cabo el análisis de los datos de una forma más comparable.

La tabla 7 muestra los resultados de cada zona de estación en cada muestreo, se realiza la comparación de los tres muestreos. Debido a que no se tomaron muestras en las cuatro zonas de playa en los tres muestreos, no se pudo tomar muestras en las mismas estaciones de muestreo en los tres años, se tomó la decisión de considerar las estaciones que tenían por lo menos dos años de muestreo comparables.

La mayor abundancia en la zona intermareal se encontró en la estación ubicada en Isla Mujeres Norte en el muestreo 2016. La zona intermareal con menor abundancia se encontró en la estación Isla Blanca en el muestreo 2021.

La mayor abundancia en la zona submareal se encontró en la estación ubicada en el centro de Holbox en el muestreo 2016 y en la estación ubicada en el centro de Puerto Morelos en el muestreo 2016. La menor abundancia en la zona submareal se encontró en la estación ubicada en el centro de Punta Allen en el muestreo 2018.

La mayor abundancia en la zona de playa se encontró en la estación ubicada en el centro de Cozumel en el muestreo 2021. La menor abundancia se encontró en la estación ubicada al oeste de Cozumel en el muestreo 2021.

Tabla 7. Comparación de la abundancia de MP por zona de playa y por año de muestreo

ESTACIÓN	Intermareal 2016	Intermareal 2018	Intermareal 2021	Submareal 2016	Submareal 2018	Submareal 2021	Playa 2018	Playa 2021	Post Playa 2021
Chetumal S2	708		390			1290			
Chetumal S3	568		920			8200			
Calderitas	527		1150			1250			
Majahual S	594		230	831		450		213	
Pulticub	888		640	1613		500		1763	25576
Uvero	361		270	440		390		453	736
Laguna de Chetumal	632		570	2851		450			
Xcalac	470		450	112		800			
Tulum	233	100	220	114	240	200	100	1053	145
Pta. Allen W	152	340		129	140		400		
Pta. Allen E	279	1560		337	220		1800		
Pta. Allen C	273	240		341	40		140		
Pta. Allen E	162	480		102	60		260		
Akumal	216	180	270	80	160	250	820		
Isla Mujeres N	14542	440	90	3068	800	380	900		280
Isla Mujeres S	1518		470	6457		230		388	878
Isla Mujeres W	994		110	189		210		280	
Isla Mujeres E	3755		90	3417		330		616	1362
Cozumel E	584		180	454		2687		1050	
Cozumel S	158		370	122		370		120	330
Cozumel W	242		210	284		150		70	360
Cozumel C	523		1112	1225		5655		14172	
Isla Blanca	2093	620	70	2492	280	250	3340	170	150
Playa Del Carmen	2938	440	180	2931	140	140	3060	616	781
Playa Tortugas	1545	80	320	3610	140	100	280	517	208
Playa Delfines	838	80	210	2257	60	150	220	110	200
Club Med	1306		140	208		560		290	310
Puerto Juárez	6953		320	2969		1800		610	
Holbox Puerto	4965		190	7962		160		200	240
Holbox Centro	1154		120	13398		360		270	
Holbox Este	9896		110	4149		180			250
Pto Morelos Icmyl UASA		280	900		200	70	640	170	340
Pto Morelos centro	4249	200	150	12473	60	470	140	80	310

En la zona de post playa solo se realizó muestreo en el muestreo 2021. La mayor abundancia se encontró en la estación ubicada en Pulticub. La menor abundancia se encontró en la estación ubicada en Playa Santa Fe en Tulum.

En comparación de las 4 zonas de muestreo, la mayor abundancia se encontró en la zona de post playa en la estación ubicada en Pulticub con 25,576 MP en el muestreo 2021.

En la tabla 8 se muestran los resultados de MP/Kg obtenidos en los tres muestreos, para la comparación se eligieron solo aquellas estaciones que pueden ser comparables, es decir que en dos o tres de los muestreos se tomaron muestras en la misma estación. Para la comparación de los tres muestreos los resultados se presentan en MP/Kg para hacer un análisis lo más preciso posible.

Tabla 8. Comparación de estaciones de muestreo 2016, 2018, 2021

ESTACIÓN	FIBRAS/Kg 2016	FIBRAS/Kg 2018	FIBRAS/Kg 2021	FRAGMENTOS/Kg 2016	FRAGMENTOS/Kg 2018	FRAGMENTOS/Kg 2021	ESFERAS/Kg 2016	ESFERAS/Kg 2018	ESFERAS/Kg 2021	FILMS/Kg 2016	FILMS/Kg 2018	FILMS/Kg 2021	ESPUMAS/Kg 2016	ESPUMAS/Kg 2018	ESPUMAS/Kg 2021	TOTAL 2016	TOTAL 2018	TOTAL 2021
Chetumal S2	646		325	48		500	0		0	9		15	5		0	708		840
Chetumal S3	497		1950	56		1240	0	80	12			1290	2		0	567		4560
Calderitas	496		395	32		770	0	35	0			0	0		0	528		1200
Laguna de Chetumal	1709		225	25		265	0	0	7			10	1		10	1741		510
Xcalac	243		300	49		225	0	0	0			100	0		0	291		625
Majahual S	575		259	136		32	0	0	1			7	1		0	712		297
Uvero	338		388	63		68	0	0	1			5	0		3	401		462
Pulticub	805		366	446		6751	0	0	0			2	0		1	1250		7120
Pta. Allen W	107	227		34	60		0	0		0	7		0	0		140	293	0
Pta. Allen E	239	560		70	160		0	0		0	473		0	0		308	1193	0
Pta. Allen	241	120		67	20		0	0		0	0		0	0		307	140	0
Pta. Allen E	110	233		21	27		0	0		1	7		1	0		132	267	0
Tulum	140	120	382	34	27	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	147	404
Akumal	133	340	195	16	40	65	0	0	0	0	7	0	0	0	0	148	387	260
Playa del Carmen	2663	340	410	261	867	19	0	0	0	1	7	1	10	0	0	2935	1213	429
Puerto Morelos ICMyL		340	355		20	15	0	0			13	0		0	0	0	373	370
Puerto Morelos Puerto	7912	100	240	449	27	13	0	0	0	1	7	0	0	0	0	8361	133	253
Club Med	581		280	174		40	1		0	2		3	0		3	758	0	325

Playa Delfines	1435	93	150	107	13	15	0	0	0	0	13	3	0	0	0	1541	120	168
Playa Tortugas	2335	113	252	241	53	35	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2578	167	286
Puerto Juárez	4789		563	113		263	0		77	1		0	59		7	4961	0	910
Isla Blanca	2165	1193	110	128	80	50	0	0	0	0	140	0	0	0	0	2293	1413	160
Holbox Puerto	6299		173	142		25	6		0	18		0	0		0	6464	0	198
Holbox Centro	7040		217	230		23	0		0	7		3	0		0	7276	0	242
Holbox Este	6583		150	434		27	0		0	6		3	0		0	7023	0	180
Isla Mujeres N	8678	313	207	127	353	43	0	40	0	1	7	0	0	0	0	8805	713	250
Isla Mujeres S	3851		442	137		49	0		0	1		1	0		0	3988	0	491
Isla Mujeres W	531		167	59		30	0		3	3		0	0		0	592	0	200
Isla Mujeres E	3547		364	38		226	0		2	1		1	0		7	3586	0	600
Cozumel E	451		1123	62		173	0		7	4		3	0		0	517	0	1306
Cozumel S	110		255	30		35	0		5	0		3	0		0	140	0	298
Cozumel W	213		180	49		15	3		0	0		0	0		3	264	0	198
Cozumel C	395		1763	417		4957	3		44	34		207	13		9	860	0	6980
<b>Total</b>	<b>65850</b>	<b>4093</b>	<b>12183</b>	<b>4286</b>	<b>1747</b>	<b>15989</b>	<b>12</b>	<b>40</b>	<b>253</b>	<b>108</b>	<b>680</b>	<b>1653</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>70344</b>	<b>6560</b>	<b>30119</b>

En el muestreo 2016 la forma más abundante de MP fue en forma de fibras, el resultado esta resaltado en rojo. La abundancia de los MP en forma de espumas disminuyo del muestreo 2016 al 2021, esto puede deberse a la disminución de venta de artículos desechables de este tipo de polímero, anteriormente la mayoría de las hieleras desechables se utilizaban de espuma de polietileno mejor conocido como unicel, en la actualidad cada vez menos comercios distribuyen este tipo de artículos desechables (Ley para la prevención, gestión integral y economía circular de los residuos de Quintana Roo, artículo 22, sección II).

Se observa aumento en la abundancia de MP primarios del 2016 al 2018 y la abundancia es más notoria para el muestreo 2021, este tipo de MP se encuentran presentes en jabones detergentes, artículos de limpieza personal como pastas de dientes o jabones faciales entre otros.

La abundancia de MP en forma de films es mayor del muestreo 2016 al 2018, y visiblemente mayor del muestreo 2016 al 2021.

En el total de MP obtenidos en los tres muestreos se observa la mayor abundancia en el muestreo 2016, sin embargo, se tiene que considerar que la forma más abundante de MP del muestreo 2016 fueron fibras.

La mayor abundancia de MP se remarcó con rojo para cada forma de MP, en cada muestreo, y en amarillo fuerte se remarcó la abundancia alta.

Como se observa en la tabla 6 la mayor abundancia del muestreo 2016 se encontró en las estaciones Isla Mujeres norte y Puerto Morelos centro, sin embargo, en el muestreo 2018 Puerto Morelos fue la segunda estación con menor abundancia de MP, en ambas estaciones se encontró baja abundancia de MP para los muestreos 2018 y 2021, por lo que se comprueba la necesidad de un monitoreo constante en las playas, ya que se desconoce que pudo haber sucedido, si los MP migraron de mar hacia la playa o de playa a submareal y de submareal a mar profundo, los MP pudieron enterrarse, o pudiera ser que las muestras en 2016 se tomaron en zonas más contaminadas que las muestras tomadas en años posteriores, para poder encontrar respuestas a estas preguntas es necesario tener mayor número de datos y muestreos con diferentes períodos, para hacer una correlación o un descarte que tenga que ver con el clima, el cambio de la dirección del viento estacional, temporadas vacacionales entre otros, ya que como se mencionó, los MP no desaparecen y son casi imposibles de limpiar o recolectar, sin embargo, la abundancia de MP en algunas estaciones de muestreo disminuyó considerablemente.

Pulticub es una estación en donde se observa escaso turismo además de ser una zona con una población mínima, sin embargo, se observó una amplia abundancia de MP en 2016 y en 2021, en la estación ubicada en el centro de Cozumel se observó amplia abundancia de turistas y amplia abundancia de MP en los muestreos 2016 y 2021, en ambas estaciones hubo aumento de MP del 2016 al 2021, sin embargo, la diferencia poblacional y de turismo de una estación a otra, conlleva a buscar una explicación de abundancia de MP en las corrientes oceánicas, o la acción del viento.

En las figuras 28 y 29 se observa la abundancia de MP por forma por cada muestreo, como se puede observar en el muestreo 2016 la forma más abundante de MP fueron fibras, con un porcentaje de 93.44% del total de MP obtenido en todas las estaciones en ese año.

En la figura 28 y 29 se observa que en el muestreo 2018 disminuye la abundancia de MP en forma de fibra, de 93.44% obtenido en 2016 al 64.9% obtenido en 2018, en porcentaje pudiera no ser tan notoria la disminución de abundancia de fibras, sin embargo, si se observan las figuras 28 y 29 la abundancia en fibras/Kg paso de 1,995 en el muestreo 2016 a 315 en el muestreo 2018, en 2021 la abundancia de fibras fue de 420 fibras/Kg, sin embargo, el porcentaje de abundancia de fibras fue menor del muestreo 2018 al muestreo 2021 por lo que en el muestreo 2021 no es forma de MP más abundante, y la abundancia en fibras/Kg aumento de 315 en 2018 a 420 en el muestreo 2021, con lo que se demuestra que no está disminuyendo la presencia de fibras, sino que está aumentando la presencia de MP rígidos es decir aquellos que no son fibra.

En ambas figuras se observa el aumento en abundancia de MP en forma de fragmentos, en 2016 la abundancia de fragmentos fue de 130 fragmentos/Kg, en 2018 fue de 134 fragmentos/Kg, sin embargo, en el muestreo 2021 la abundancia de fragmentos fue de 551

fragmentos/Kg, por lo que en el muestreo 2021 la forma más abundante de MP fue en forma de fragmentos.

También se observa el aumento en MP primarios (esferas), en el muestreo 2016 la abundancia de MP primarios encontrados corresponde al 0.01% del total de MP, en 2018 corresponde al 0.6% y para el muestreo 2021 la abundancia de MP primarios aumento a 0.84%, dicha abundancia se compara en relación de MP de 1:6 del muestreo 2016 al muestreo 2018 y de 1:22 del muestreo 2016 al muestreo 2021.

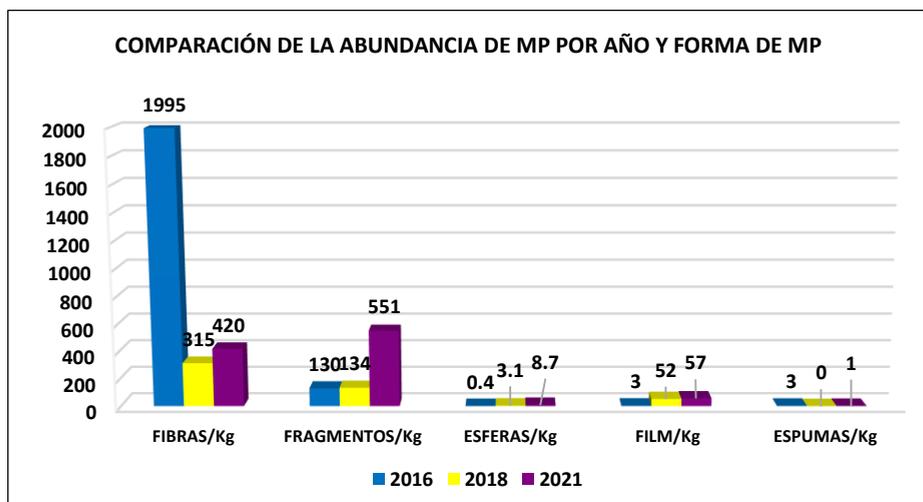


Fig. 28. Comparación de la Abundancia de MP por forma por cada muestreo

La abundancia de MP en forma de espumas disminuyó del muestreo 2016 al 2021 en relación 3:1, como se observa en la tabla 8 y en las figuras 28 y 29 no se encontraron MP en forma de espumas en ninguna de las estaciones del muestreo 2018. Lo anterior comprueba el aumento en abundancia de MP en forma de fragmentos, films y esferas (MP primarios) y la disminución de abundancia en los MP en forma de fibra y espumas, la disminución de fibras puede deberse

a que el muestreo se realizó durante la pandemia por COVID-19, periodo durante el cual la ocupación hotelera y turística disminuyó considerablemente en toda la Riviera Maya, incluso se detuvo en periodos intermitentes en los cuales había picos rojos de aumento de casos de pacientes COVID. Al disminuir la presencia de turistas disminuye el uso y lavado de ropa de cama y de toallas, prendas que son diariamente utilizadas en hoteles, hostales y casas de huéspedes, como afirma Browne et al, (2011) en cada ciclo de lavado se pueden desprender más de 1900 fibras y terminar en el desagüe.

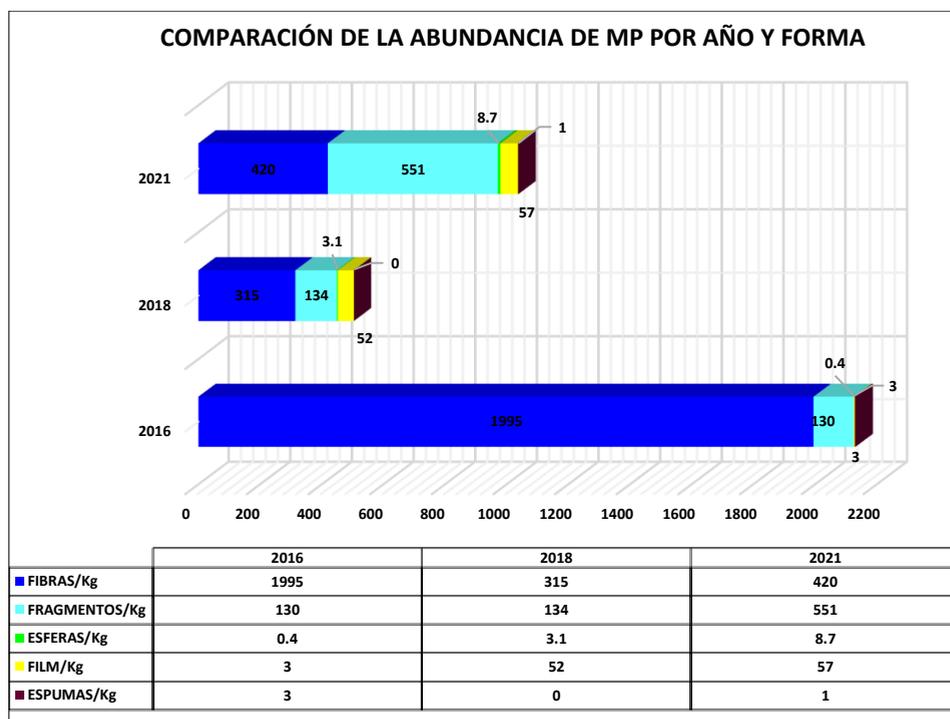


Fig. 29 Comparación de la Abundancia de MP por forma por cada muestreo

La disminución de MP en forma de espumas puede estar relacionado también con la disminución de turistas durante la pandemia, el uso de envases desechables de un solo uso

como son vasos, platos y hieleras de espuma de polietileno disminuyo durante la pandemia tanto por turistas nacionales y extranjeros como por turismo local que sale a vacacionar el fin de semana, además de que este tipo de material plástico es cada vez menos usado por la población.

En la figura 30 se observa la comparación entre los MP rígidos, es decir, films, pellets, fragmentos, espumas y los MP en forma de fibra, se observa el aumento en la abundancia MP/Kg rígidos del muestreo 2016 al 2018, así como 2018-2021, en el muestreo 2016 la abundancia de fibras fue de 93.6% del total de MP en ese muestreo, para el muestreo 2018 la abundancia de fibras fue del 62.39% del total de MP del muestreo, sin embargo para el muestreo 2021 la abundancia de fibras fue del 40.4% del total de MP del muestreo. Por lo tanto, podemos afirmar que la abundancia de MP diferentes a fibras ha aumentado progresivamente durante los 5 años de diferencia del muestreo 2016 al 2021.

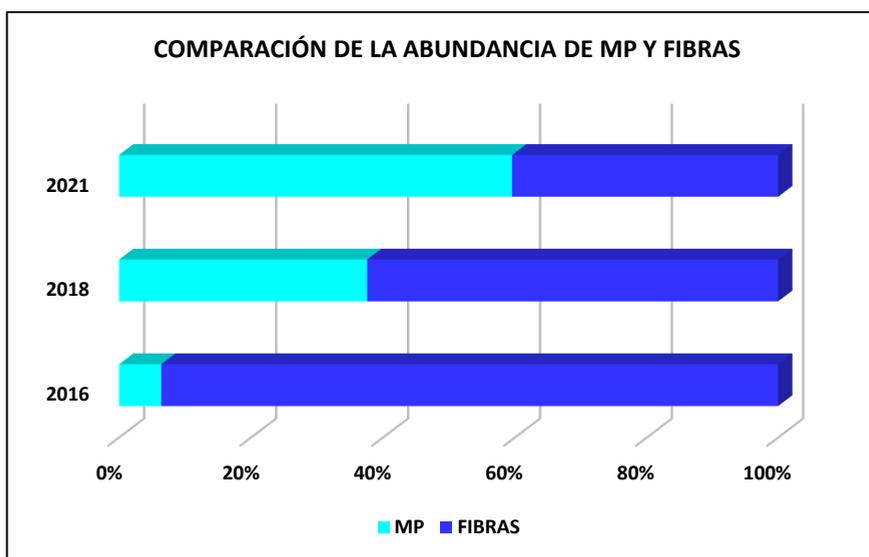


Fig. 30. Comparación de la abundancia de MP rígidos y fibras

El muestreo 2021 se realizó durante la pandemia, la ocupación hotelera era mínima, lo cual puede estar relacionado con la disminución de residuos de los hoteles y zonas comerciales, que puede a su vez, estar relacionado también con la disminución de fibras y MP en aguas residuales.

Álvarez-Zeferino et al., (2020) en su estudio realizado en playas mexicanas encontraron la mayor abundancia de MP en forma de fragmentos rígidos (53%), y menor abundancia en espumas (15%) y fibras (11%). Resultado que coincide con los obtenidos en este estudio en el muestreo 2021.

Hernández- Sánchez et al. (2021) describe a la Isla de Hierro ubicada en el Atlántico como un Hot spot de plástico, encontró 9,206 piezas plásticas de las cuales el 68% corresponde a MP en forma esferas o fragmentos. La Isla de Hierro se encuentra en el Atlántico, los Vientos Alisios soplan al norte del Ecuador y llevan el agua hacia las Islas Antillas, en donde pasan por estrechos hacia el Mar Caribe. El agua del Mar Caribe es impulsada por estos vientos, los cuales chocan con el Continente, de esta forma abundantes plásticos y MP pueden provenir de este hot spot hacia Quintana Roo.

En el muestreo 2016 solo se consideró la recolección de muestras en las zonas ubicadas en submareal e intermareal, sin embargo, contrariamente a lo que se creía en ese momento, la mayor abundancia de MP se encontró en la zona submareal con un total del 53.7% del total de MP, por lo que se decidió ampliar la zona de playa para futuros muestreos, en el muestreo 2018 el muestreo se realizó considerando las zonas submareal, intermareal y playa esta última aproximadamente entre 3 y 5 m de distancia de la zona intermareal. En este muestreo se observó la mayor abundancia de MP en la zona de playa, como se observa en la figura 31 la abundancia de MP en la zona de playa corresponde al 61.49% del total de MP.

En el muestreo 2021 se realizó la recolección de muestras en las zonas submareal, intermareal, playa y post playa, esta última a una distancia entre 10 y 15 m de la zona intermareal, en la figura 31 se observa que en la zona de post playa se encontró el 43.97% del total de MP, por lo que se considera el viento como un factor determinante en el transporte de MP de la zona urbana a la zona de playa.

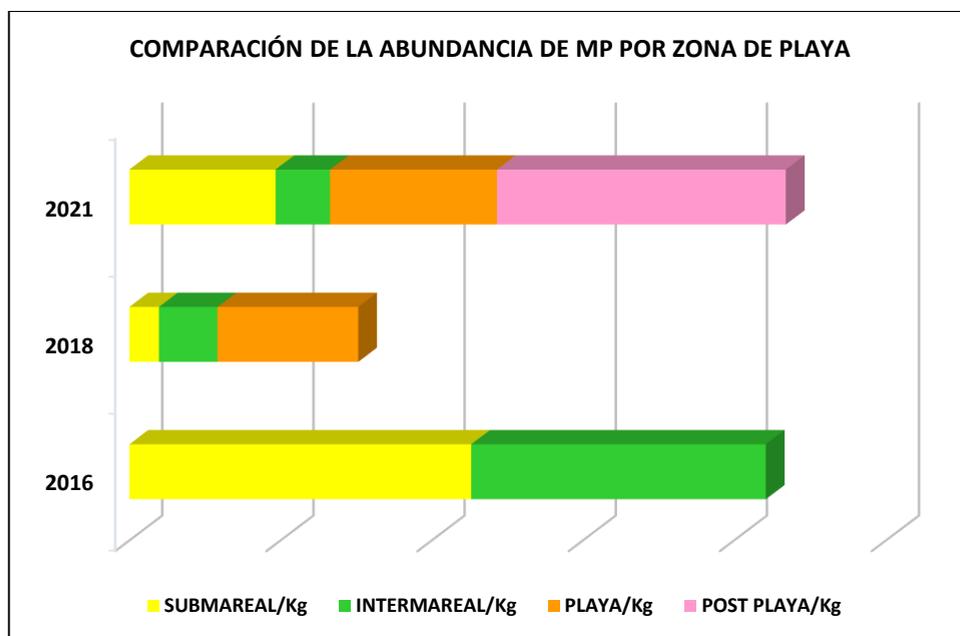


Fig. 31. Comparación de la abundancia de MP por zona de playa

Arreola- Alarcón et al. (2022). Afirman que la zona de transición entre el ambiente marino y terrestre son propensos a la presencia de MP por su contacto con la acción de las olas y su contacto con la atmósfera. Considera importante conocer el transporte del continente a la zona intermareal. Afirma que los MP se transportan de las costas al Océano abierto debido a sus complejas configuraciones hidrodinámicas (Wang et al., 2020<sup>a</sup>. Wang et al., 2020b). Como se

observa en este estudio las zonas con mayor abundancia de MP fueron la zona de playa y post playa.

Andrady (2017) afirma que dadas las condiciones de degradación de plástico en la zona de playa (la zona de playa y post playa comparten las mismas características de tener alto efecto de radiación UV, alta temperatura y alta disponibilidad de oxígeno) es razonable especular que la mayoría de los MP secundarios se localicen en esta zona y posteriormente sean arrastrados al océano por acción del viento y/o el oleaje.

En su estudio realizado en peces Sánchez- Hernández et al., (2021) menciona que los peces que tienen hábitat y alimentación en el lecho marino (debido a que el lecho marino funciona como sumidero de MP) presentaron mayor abundancia de MP en el intestino. Por lo que se recomienda para futuras investigaciones ampliar los muestreos a columna de agua y muestras de sedimento más allá de la zona submareal, en la cual se encontró amplia abundancia de MP en los muestreos 2016 y 2021.

En la figura 32 se observa la abundancia de los diferentes tipos de MP encontrados en los 3 años de muestreo, como se observa en el muestreo 2016 se encontró una alta abundancia de fibras, principalmente en la zona norte del estado en donde predomina la zona turística dominada por conjunto de hoteles a pie de playa como son Playa del Carmen, Cancún, Isla Mujeres, y Holbox. El aumento en la abundancia de fragmentos se observa hacia la zona sur del estado en las estaciones ubicadas en Chetumal, Calderitas, Pulticub, con excepción de Cozumel centro que se encuentra en la zona Norte del Estado, en cuya estación de muestreo se encontró amplia abundancia de MP en forma de fragmentos en los muestreos 2016 y 2021, siendo más notorio el aumento de fragmentos en el muestreo 2021.

En las estaciones ubicadas en Punta Allen solo fue posible hacer muestreo en 2016 y 2018, sin embargo, se observa el aumento en la abundancia de MP de 2016 a 2018. Se propone hacer un nuevo muestreo para monitorear el aumento de abundancia de MP, esta consideración se debe a que es una zona que forma parte de la Reserva de la biósfera de Sian Ka an, sin embargo, la abundancia de residuos plásticos observados durante el muestreo 2018, es suficientemente alarmante, cabe destacar que no es una zona urbana de alto índice de población, por lo que se considera que los residuos plásticos, así como los MP pueden provenir de las corrientes marinas que los arrastran, como ya se mencionó el viento que viene del Ecuador lleva el agua a través del mar Caribe hacia las Antillas, llevando consigo abundantes residuos plásticos.

La estación Pulticub se encuentra en un pequeño pueblo de 12 habitantes (INEGI, 2020), sin embargo, en esta estación en el muestreo 2016 y así como en el muestreo 2021 se encontró amplia abundancia de MP en forma de fragmentos, cabe mencionar que no es una zona turística y como se observa en la tabla 9, el tamaño de grano de Pulticub es mayormente arena media-fina, Flores-Ocampo (2023) afirma que las fibras debido a su tamaño pueden migrar fácilmente a través de los espacios porosos y retenerse en los sedimentos, por lo que estos actúan como sumidero de MP, contrariamente los MP de forma de fragmento, películas o esferas no migran en los poros por lo que permanecen en la superficie del sedimento quedando expuestos a las corrientes oceánicas. (Xue et al., 2020; Hu et al., 2021), lo anterior muestra la relación del tamaño de grano y la acumulación de MP en el sedimento (Flores-Ocampo, 2023), por lo cual se considera que la presencia de MP en forma de fragmentos puede estar relacionada con arrastre de plásticos por corrientes marinas y por acción del viento considerando que en la zona donde se encontró mayor abundancia de MP en el muestreo 2021 fue la zona de post playa.

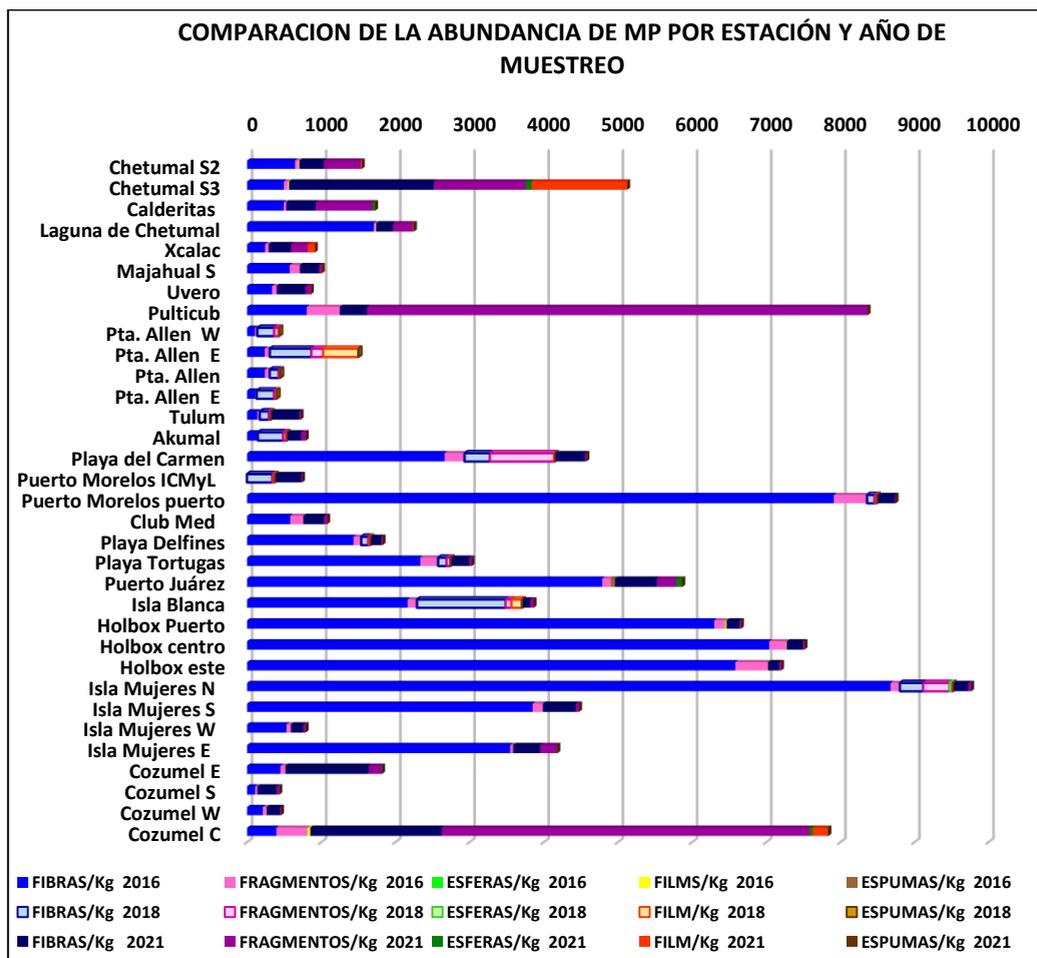


Fig. 32. Comparación de la abundancia de MP por estación y año de muestreo.

Cruz-Salas et al. (2021) afirma que, de los 72 residuos sólidos encontrados en la Isla Virgen de la Isla de Holbox, la mayoría provienen de otros países, por lo que se considera que los residuos fueron arrastrados por las corrientes marinas de la Corriente de Loop y Yucatán que convergen en las Costas de Quintana Roo.

Cruz Salas afirma que es común que al aumentar el turismo aumente en las Islas la generación de residuos, así como, los problemas de la gestión y manejo de estos de una forma adecuada, en la Isla de Holbox existe un tiradero a cielo abierto aproximadamente a 1.2 Km de distancia de la zona de muestreo del Centro y del Puerto, estaciones con amplia abundancia de MP, los resultados obtenidos en la estación de Holbox centro coincide con el estudio realizado por Cruz- Salas en amplia abundancia de MP, en su estudio realizado en Holbox en 2022.

La tabla 9 muestra la relación de grano de arena en cada estación de muestreo, se muestra el porcentaje de grano: grava grano-arena gruesa, arena media - muy fina, limo-arcilla. Y se resalta las estaciones en las que se encontró mayor abundancia, así como abundancia alta de MP en cada año de muestreo. De los tres años de muestreo, en donde se observa que la mayor abundancia de MP se encontró en muestras con tipo de grano medio-muy fino. Como ya se mencionó antes, lo anterior muestra la relación del tamaño de grano y la acumulación de MP en el sedimento (Flore-Ocampo, 2023), dicha relación se establece al determinar que en arena con grano fino habrá mayor abundancia de MP que en sedimento grueso, ya que este último tiene mayor espacio intersticial en el cual el agua (oleaje) y/o el viento pueden actuar para arrastrar los MP a otras zonas de más baja energía.

Tabla 9. Tamaño de grano de arena por estación de muestreo, clasificación Wentworth, 1922

ESTACIÓN	>5 mm GRAVA GRANO - ARENA GRUESA	>0.5 ARENA MEDIA - ARENA MUY FINA	>0.063 LIMO-ARCILLA
Chetumal S2	29.5	70.5	0.0
Chetumal S3	93.5	6.5	0.0
Calderitas S4	93.2	6.8	0.0
Sur Majahual S5	0.3	99.7	0.0
Sur Majahual S6	7.6	92.3	0.0
Laguna de Chetumal S7	61.0	38.7	0.3
Laguna de Chetumal W S8	21.3	78.7	0.1
Xcalac S9	13.4	86.5	0.0
Majahual S10	10.3	89.5	0.1
Pulticub S11	98.8	1.2	0.0
Uvero S12	3.8	96.2	0.0



Hotel X S13	0.9	98.9	0.2
Pta. Allen W C14	17.8	72.8	9.4
Pta. Allen E C15	4.8	95.2	0.0
Pta. Allen E C16	1.3	98.7	0.0
Pta. Allen C17	3.6	96.4	0.0
Pta. Allen Pueblo C18	2.0	98.0	0.0
Boca Paila W C19	2.8	97.0	0.2
Boca Paila E C20	7.2	89.2	3.6
Zamach E C21	8.6	91.4	0.1
Tulum Z. Arqueológica C22	0.6	99.2	0.1
Akumal C23	14.2	85.4	0.4
Cozumel W C24	68.1	31.8	0.0
Cozumel Pta. Celarain C25	28.5	71.4	0.1
Cozumel E C26	49.7	50.3	0.0
Cozumel Centro C27	37.2	62.8	0.1
Punta Venado C28	24.7	75.3	0.0
Colegio Tepeyac N30	3.9	96.1	0.0
Playa Car N31	2.0	98.0	0.0
Playa Del Carmen Club Canibal N32	1.0	99.0	0.0
Playa Del Carmen Hotel Porto N33	5.1	94.9	0.0
Holbox W N34	37.3	62.7	0.0
Holbox E N35	1.6	98.2	0.2
Holbox Puerto N36	10.1	89.6	0.3
Holbox Centro N37	61.0	38.9	0.1
Isla Mujeres S N38	18.1	81.8	0.0
Isla Mujeres E N39	23.5	76.5	0.0
Isla Mujeres N N40	0.2	99.8	0.0
Isla Mujeres W N41	4.7	95.2	0.1
Puerto Juárez N42	5.5	94.4	0.1
Club Med N43	7.5	92.4	0.1
Playa Delfines N44	4.6	95.4	0.0
Playa Chac Mool N45	18.1	81.9	0.0
Playa Tortugas N46	0.3	99.7	0.0
Isla Blanca N47	0.4	99.6	0.0
Puerto Morelos Puerto N48	4.3	95.3	0.3

-  Mayor abundancia 2016
-  Abundancia alta 2016
-  Mayor abundancia 2018
-  Abundancia alta 2018
-  Mayor abundancia 2021
-  Abundancia alta 2021

Sin embargo, debido a que la mayoría de las estaciones de muestreo tiene una granulometría similar no es concluyente este parámetro como método comparativo entre estaciones de muestreo, es decir, el mayor porcentaje de arena de las estaciones de muestreo posee arena que va de grano medio a grano muy fino.

A pesar de no encontrarse diferencia significativa en este estudio entre la relación del tamaño de grano y la abundancia de MP, se debe de considerar de gran importancia la presencia de MP en el sedimento ya que esta presencia altera la permeabilidad en los sedimentos y afecta la transferencia de calor entre los granos de sedimento (Carson et al., 2011). Además de ser un potencial riesgo por estar biodisponible para ingestión para la fauna local.

En los tres muestreos la mayor abundancia de MP encontrados fue en color blanco o transparente, esto se debe a que gran porcentaje de los MP en estos colores corresponden a MP en forma de fibras, por lo que se puede observar en la figura 33 que la abundancia de MP en este color disminuyó a la par que disminuyó en porcentaje de fibras encontradas del muestreo 2016 al muestreo 2021, en el muestreo 2016 el porcentaje de los MP en color blanco o transparente fue del 65.5 % del total de MP, para el muestreo 2021 el porcentaje de MP del mismo color fue de 43.9%. La abundancia de MP en color azul, aumento del 23.6% en el muestreo 2016 a 40.1% en el muestreo 2021, este resultado está relacionado con el aumento de fragmentos y films del 2016 al 2021.

Los MP de color blanco son los más abundantes en diversos estudios realizados en México y en el mundo, incluyendo el estudio actual en la Riviera maya. Flores-Ocampo (2023) comenta que el 55% de MP encontrados en diversos estudios son en colores claros, transparentes, blancos, amarillos.

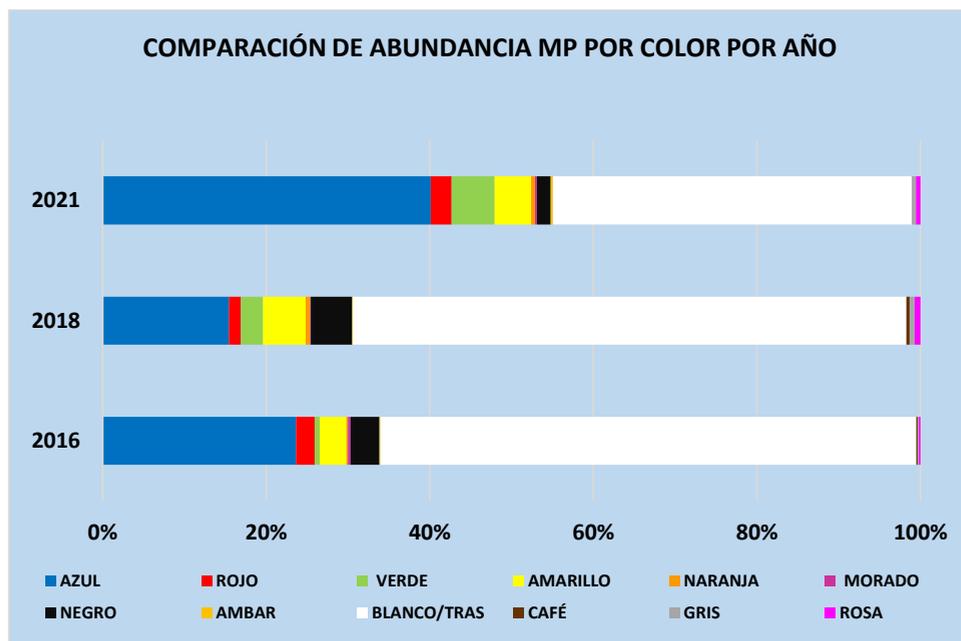


Fig. 33. Comparación de la abundancia de MP por color por año de muestreo.

Flores-Ocampo (2023) afirma que las fibras blancas y azules son MP asociados al arte de pesca (Stelios, 2008).

Sujitha et al. (2021). Encontraron que el 43 % de los MP encontrados en estómagos de 87 peces analizados en la bahía Magdalena en el Pacífico Norte, corresponden a color blanco, el 36% es de color azul y el 18% en color rojo.

Sánchez Hernández et al. (2021) en su estudio realizado en el Golfo de México mencionan que los MP encontrados en columna de agua, sedimentos e intestinos de peces predominan en color negro en menor abundancia en azul y rojo.

Álvarez- Zeferino et al. (2020) mencionan en su estudio realizado en Playas mexicanas, que los colores de MP más abundantes en estudios Internacionales coinciden con nuestro resultado al ser el azul, rojo, negro y blanco los colores más abundantes en diversos estudios.

Bonyadi et al, (2022) afirman que los MP de color oscuro (azul, negro, verde) son más atractivos para los organismos acuáticos que los MP blancos, lo cual puede ser una explicación del porque la mayor abundancia de MP encontrados son de color blanco y transparente.

Andrady (2017) afirma que los plásticos dependiendo de su composición química y exposición a rayos UV pueden cambiar de color, por ejemplo, el PE, PP, PS, PET, PC y PVC pueden cambiar a un color amarillo o naranja como resultado de la oxidación

Conocer los colores de MP encontrados en el tracto digestivo de los peces nos brinda información sobre los MP que los organismos confunden con alimento y se comprueba el riesgo de daño a la fauna por la presencia de MP.

Álvarez Zeferino et al. (2020) afirma que cuando diferentes especies ingieren MP los contaminantes adsorbidos y los aditivos utilizados en algunos plásticos pueden filtrarse y entrar a la cadena trófica (Fossi et al., 2016; Martellini et al., 2018; Borges et al., 2020).

Retama et al. (2016) en su estudio realizado en la playa de Huatulco encontró MP en el siguiente orden de abundancia en color blanco, negro, azul, rojo y café claro, afirma que el efecto de color sobre la biodisponibilidad de MP es importante ya que puede favorecer la ingesta de estos, al ser confundidos con alimento.

## RESULTADO DE ANALISIS INFRAROJO FTIR-ATR

Se eligieron 100 muestras de MP de los tres muestreos, las muestras se componían de MP primarios y secundarios, entre ellos fibras, fragmentos, pellets, films, todos ellos de diferentes colores y tamaños (fotografía 06). Se analizaron las 100 muestras de MP con un espectrómetro de infrarrojo en el cual se introdujo cada una de las muestras y se obtuvo la lectura de pantalla como la fotografía 07, posteriormente todos los datos se trabajaron en Excel y se graficaron como se observa en las figuras 34 y 35, se obtuvo la abundancia de cada polímero con los siguientes resultados: 33 eran muestras de polietileno de alta y baja densidad (PE), 29 de polipropileno (PP), 9 de policloruro de vinilo (PVC), 5 de polietilentereftalato (PET), 4 de poliestireno (PS) y 20 de otro tipo de polímeros.

Los resultados obtenidos coinciden con otros estudios (Mandal et al., 2023, Álvarez-Zeferino et al., 2020, Mazariegos-Ortiz et al., 2020, Ribarí et al. 2022, Sagawa et al., 2018, Álvarez-Hernández et al., 2019, López Velázquez et al., 2024, Piñón-Colín et al., 2020,) en los que los MP más abundantes son de polímeros tipo polipropileno (PP), así como de polietileno (PE) en menor abundancia polietilentereftalato (PET) y poliestireno (PS). En estudios similares se encontró los siguientes resultados similares: Ramírez et al. (2020) encontraron mayor abundancia de MP pertenecientes a polímeros de PP, PE combinación PE-PP, poliamida, PET, PAM y PVC entre otros. Piñón-Colín et al. (2018) encontraron que los principales polímeros eran poliacrílico, poliacrilamida, tereftalato de polietileno, poliéster y nailon. Ortega-Borchardt et al. (2022) encontraron que los principales polímeros eran polietilentereftalato (PET), polipropileno (PP) y polietileno (PE).

Los artículos fabricados a base de polipropileno (PP) son diversos en el hogar se utiliza en botellas, envases, artículos de higiene alfombras, juguetes, electrodomésticos, en el sector

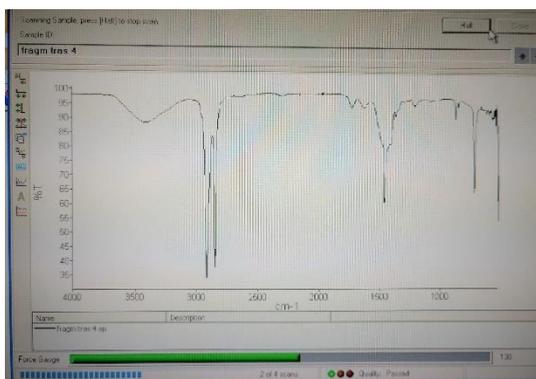
médico se usa en jeringas, accesorios médicos, equipos de diagnóstico entre otros, se utiliza también en el sector textil, fabricación de maletas, en el sector automotriz en piezas diversas, se utiliza para embalaje, empackado de comida rápida, cables de luz, entre otros.

El polietileno de alta y baja densidad (PE) se utiliza en el hogar en juguetes, biberones, cubetas, papel plástico para envolver, pañales desechables, en la industria en productos agroindustriales, cables, tuberías, piezas mecánicas, en el sector médico en jeringas, catéteres, bolsas de sangre, se utiliza en productos de consumo diario, como, por ejemplo, artículos de limpieza, alimentos del hogar, bolsas, empaques de alimentos y bebidas, productos de belleza y cuidado personal entre otros.

Como podemos observar ambos tipos de polímeros se utilizan en diversos sectores, que, a su vez, son utilizados todos los días por millones de personas, por lo cual, suena lógico que sean la fuente de abundantes piezas de MP, debido a su amplio y constante uso a nivel mundial.



Fotografía 06 Muestras de MP



Fotografía 07 Imagen de software de spectrum 100

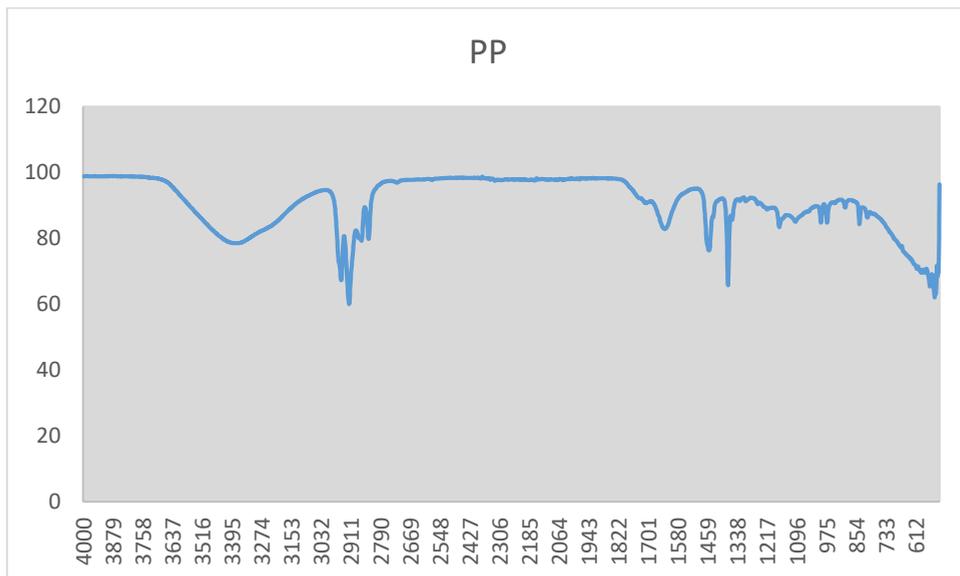


Fig. 34 Imagen de espectrometría de infrarrojo

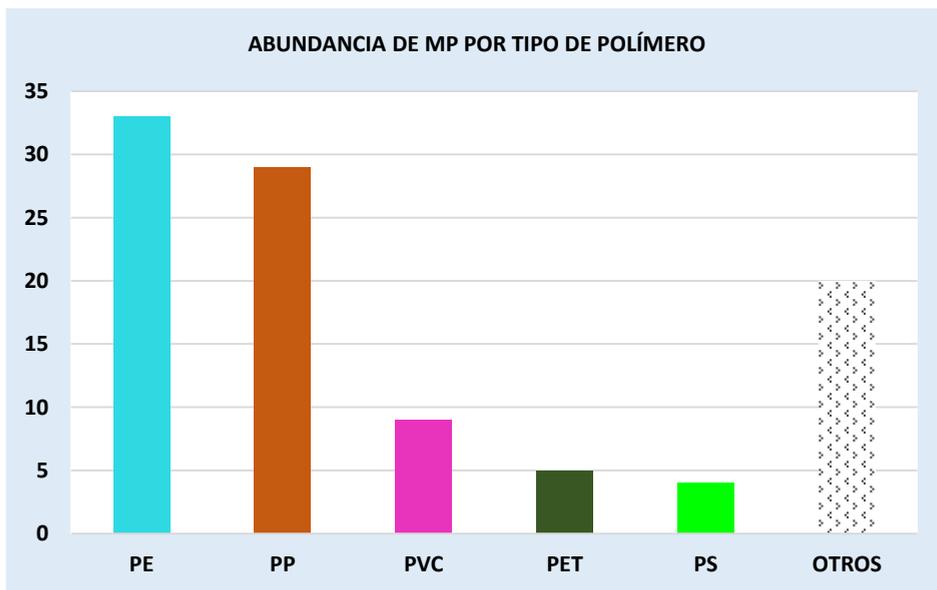


Fig. 35 Abundancia de MP por tipo de polímero.

En la figura 36 se muestran las estaciones con mayor abundancia de MP marcados con iconos rojos, las estaciones con alta abundancia de MP con iconos color naranja, estaciones con abundancia media de MP en color amarillo y las estaciones con menor abundancia de MP en color verde, para cada año de muestreo.

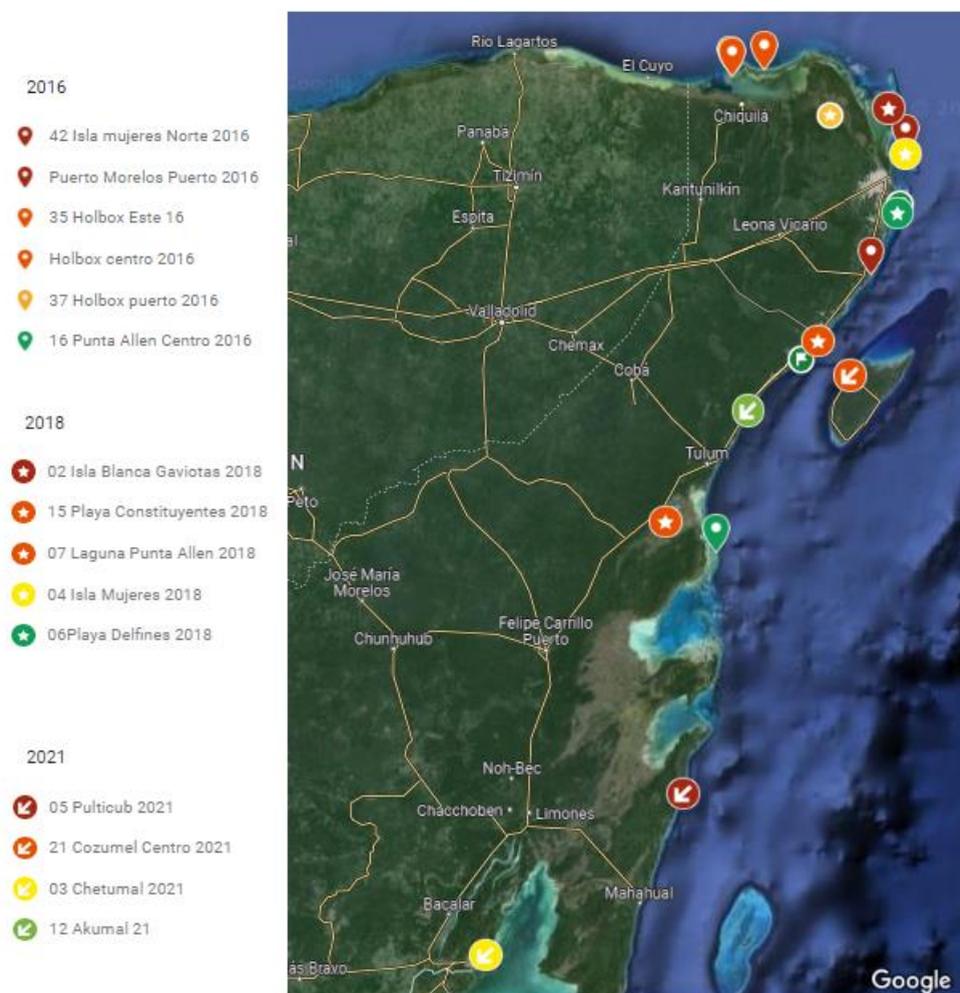


Fig. 36 Mapa de las zonas con mayor abundancia, abundancia alta y menor abundancia de MP.

La figura 37 está basada en la figura 36 (figura anterior en la que se muestran las estaciones de mayor abundancia de MP a menor abundancia de MP) y sobre el mismo mapa se superpusieron las estaciones con mayor abundancia turística en el año 2019 representados con un icono de color rojo, con icono naranja abundancia alta, con icono amarillo fuerte abundancia alta y con icono amarillo claro abundancia media, de la misma forma los iconos con alta abundancia de MP van de color rojo a color verde de acuerdo con la abundancia de MP por año de muestreo. Se observa que en Chetumal coincide la abundancia media turística con la abundancia media de MP.

En Isla Mujeres norte en 2016 se encontró la mayor abundancia de MP y en 2018 fue una estación con abundancia media y en 2019 hubo una abundancia media de turismo en esta estación.

En 2016 se encontró abundancia alta de MP en dos estaciones de Holbox y abundancia media en una estación más, en 2019 hubo abundancia media de turismo. En 2021 se encontró alta abundancia de MP en Cozumel, en 2019 esta estación recibió una abundancia alta de turistas.

En Playa del Carmen se encontró una abundancia alta de MP y tuvo una abundancia media de turismo en 2019. Como se puede observar las estaciones con abundancia de MP también presentaron alta abundancia de turismo.

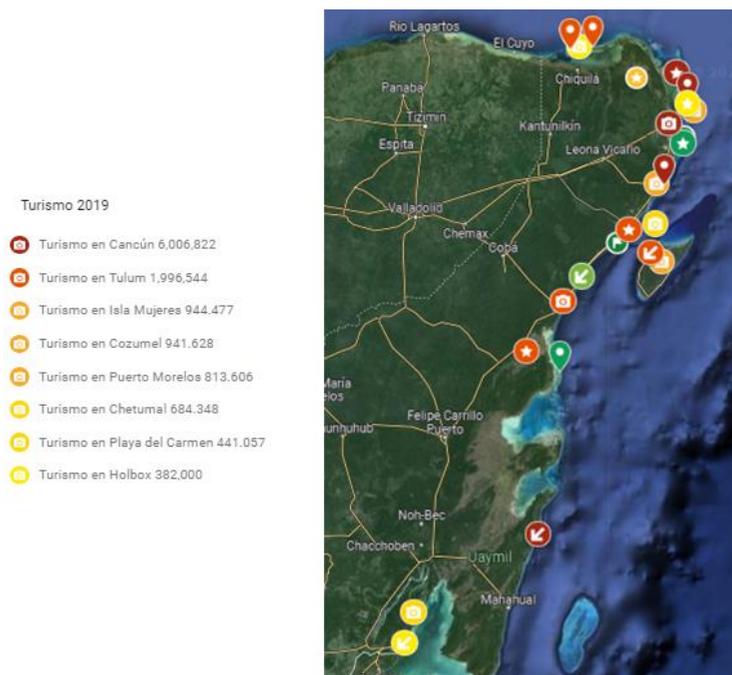


Fig. 37 Relación de la abundancia de MP e índice turístico

En el muestreo 2016 la estación con mayor abundancia de MP fue Isla Mujeres zona norte y Puerto Morelos centro, Holbox centro, puerto y este presentaron amplia abundancia de MP, estas estaciones son zonas de alta demanda turística además de ser zonas portuarias o cercanas a puerto de desembarco de pasajeros, la estación con menor abundancia de MP en 2016 fue el centro de Punta Allen.

En el muestreo 2018 la estación con mayor abundancia de MP fue Isla Blanca al norte de Cancún, en Playa Constituyentes ubicada en Playa del Carmen y la Laguna de Punta Allen se encontró amplia abundancia de MP, en Isla Mujeres Norte se encontró abundancia media y la estación con menor abundancia fue Playa Delfines ubicada en Cancún. Isla Blanca y la Laguna de Punta Allen son zonas que no presentan alta demanda turística, sin embargo, son

estaciones donde la abundancia de MP es elevada, dicha abundancia podría estar relacionada con corrientes marinas o con mal manejo de residuos.

En 2021 la estación con mayor abundancia de MP fue la estación Pulticub ubicada al sur de Quintana Roo, es una zona con baja población, y turismo local principalmente, sin embargo, se encontró la mayor abundancia de MP en la zona de post playa, como ya se mencionó la abundancia de MP puede estar relacionado con corrientes marinas, así como influencia del viento en esta estación. En la estación Cozumel centro se encontró abundancia alta, es una estación de continuo transito turístico debido a ser una zona de desembarco de pasajeros del ferry, la estación 03 en Chetumal presento una abundancia media y la estación de Akumal fue la estación con menor abundancia de MP (mapa 4).

En Isla Mujeres N 2016 la mayor abundancia se encontró en la zona intermareal, en Holbox Este también se encontró la mayor abundancia en la zona intermareal, en Holbox Centro, Holbox puerto y Puerto Morelos la mayor abundancia de MP se encontró en la zona submareal, la mayor abundancia de MP en este muestreo se encontró en la zona submareal, sin embargo, en las estaciones con mayor abundancia de MP, dicha abundancia se encontró en la zona intermareal (ANEXO).

En el muestreo 2018 en Isla Blanca Gaviotas, Playa Constituyentes y laguna de Punta Allen, la mayor abundancia se encontró en la zona de playa (ANEXO). Como ya se mencionó la abundancia de MP en Isla Blanca, así como en Punta Allen, la abundancia de MP puede estar relacionada con corrientes oceánicas, acción del viento y mal manejo de residuos, ya que son estaciones con baja influencia turística.

En Pulticub 2021 la mayor abundancia se encontró en la zona de post playa a pesar de ser una estación de escaso turismo y con una población de una decena de habitantes, en la cual solo se puede explicar la abundancia de MP con corrientes oceánicas, acción del viento y mal manejo de residuos. En Cozumel centro la mayor abundancia se encontró en la zona de playa (ANEXO), en 2021 la zona con mayor abundancia de MP fue la zona de post playa seguido de la zona de playa.

Los MP tienen fuentes varias entre ellas alta influencia turística, alta población en islas o zonas cercanas a costa, actividades, turísticas, industriales o portuarias, desembocadura de ríos, aguas residuales provenientes de barcos, desagües de domésticos, industriales o de comercios como lo son grandes hoteles, la influencia del viento ( en el caso de Quintana Roo la presencia de los vientos alisios), las corrientes oceánicas que intervienen en gran medida en la dispersión y acumulación de MP, en el caso de Quintana Roo, la corriente de Yucatán y Loop o corriente de Lazo, contribuyen considerablemente en el depósito de MP en las playas del estado, ya que transportan grandes cantidades de agua, mientras que la Corriente de Yucatán transporta un gran caudal de agua a grandes velocidades de sur a norte, la corriente de Lazo se caracteriza por remolinos de 300km de diámetro y hasta 1000 m de profundidad (Cruz-Salas, 2022; Alba, 2018; SEMARNAT, 2017).

En 2018 en 8 de las estaciones la mayor abundancia de MP se encontró en forma de fibras, en una estación fibras y fragmentos, en una fibras, fragmentos y esferas, en una fibras y films y en tres estaciones fibras, fragmentos y films (ANEXO).

En 2021 en 5 estaciones se encontró mayor abundancia de fibras, en una estación fragmentos, en 16 estaciones fibras y fragmentos, en dos estaciones fibras, fragmentos y esferas, en seis estaciones fibras, fragmentos y films (ANEXO).

Como se puede observar en las gráficas del anexo la mayor abundancia de MP se encontró en forma de fibras y fragmentos en los muestreos 2018 y 2021. El aumento de MP primarios es notorio en las gráficas del muestreo 2021.

## CONCLUSIONES

En el muestreo 2016 se muestrearon 46 estaciones en las cuales se encontró un total de 168,034 MP con un rango de 264 a 17,610, el 93 % del total de MP fueron fibras.

En el muestreo 2018 se muestrearon 17 estaciones en las cuales se encontró un total de 22,340 MP con un rango de 360 a 4,240, el 65 % del total de MP fueron fibras.

En el muestreo 2021 se muestrearon 30 estaciones en las cuales se encontró un total de 100,486 MP con un rango de 520 a 28,478, el 43 % del total de MP fueron fibras.

El aumento de abundancia de MP primarios es considerablemente mayor en el muestreo 2021.

La mayor abundancia de MP en forma de fibras se encontró en el muestreo 2016 y 2018, sin embargo, el aumento de abundancia de MP en forma de fragmentos, films y esferas dio como resultado que las fibras ya no se consideraran como la forma de MP más abundante para el muestreo 2021.

Se observa la disminución de porcentaje de abundancia de fibras, sin embargo, esto no significa que la abundancia de fibras está disminuyendo, sino que está aumentando el porcentaje de abundancia de MP diferentes a fibras como son fragmentos, films y esferas.

Las corrientes oceánicas, el viento y el mal manejo de residuos juegan un papel muy importante como factores de presencia de MP, es notorio principalmente en estaciones de baja influencia turística y/o poblacional.

La mayor abundancia de MP en forma de fibras se encontró en estaciones con amplia influencia turística, por lo cual podría estar relacionada con aguas residuales provenientes de los hoteles y/o barcos de crucero, uso de trajes de baño y ropa de playa.

En las estaciones de muestreo en puertos también se encontró amplia abundancia de MP, por lo que podría estar relacionado con el arte de pesca, actividades recreativas, desgaste de las embarcaciones, así como desgaste de diversos artículos plásticos relacionados con estas actividades.

La mayor abundancia de MP se encontró en las zonas de playa y post playa por lo cual se considera importante considerar nuevos muestreos tomando núcleos de muestra en zonas más alejadas de las que se tomaron como post playa (10 a 15 m de la zona intermareal) es decir, en donde sea posible alejarse más allá de 15 metros en la playa. De igual forma se recomienda en futuros muestreos tomar muestras más allá de la zona submareal (1 m de profundidad), así como en columna de agua y de ser posible en zonas profundas, peces y columna de agua.

La mayor abundancia de MP se encontraron en color blanco o transparente que pueden estar relacionados con MP en forma de fibra, fragmentos de bolsas, aros de six pack, fragmentos de botellas o embaces, fragmentos de charolas, platos y empaques de comida rápida, entre otros.

La mayoría de las playas del estado de Quintana Roo posee sedimento de granulometría fina o muy fina, (el rango de las playas muestreadas fue de medio fino a limo), por lo cual no se puede utilizar como parámetro comparativo, sin embargo, la granulometría del sedimento conlleva a la propensidad de la acumulación de MP en el sedimento. La alta abundancia de MP en el sedimento conlleva a problemas de permeabilidad del sedimento y afecta la transferencia de calor entre los granos.

Diversas estaciones con amplia abundancia de MP coinciden con ser estaciones de amplia afluencia turística, por lo que la presencia de MP puede estar relacionada con el turismo y actividades turísticas.

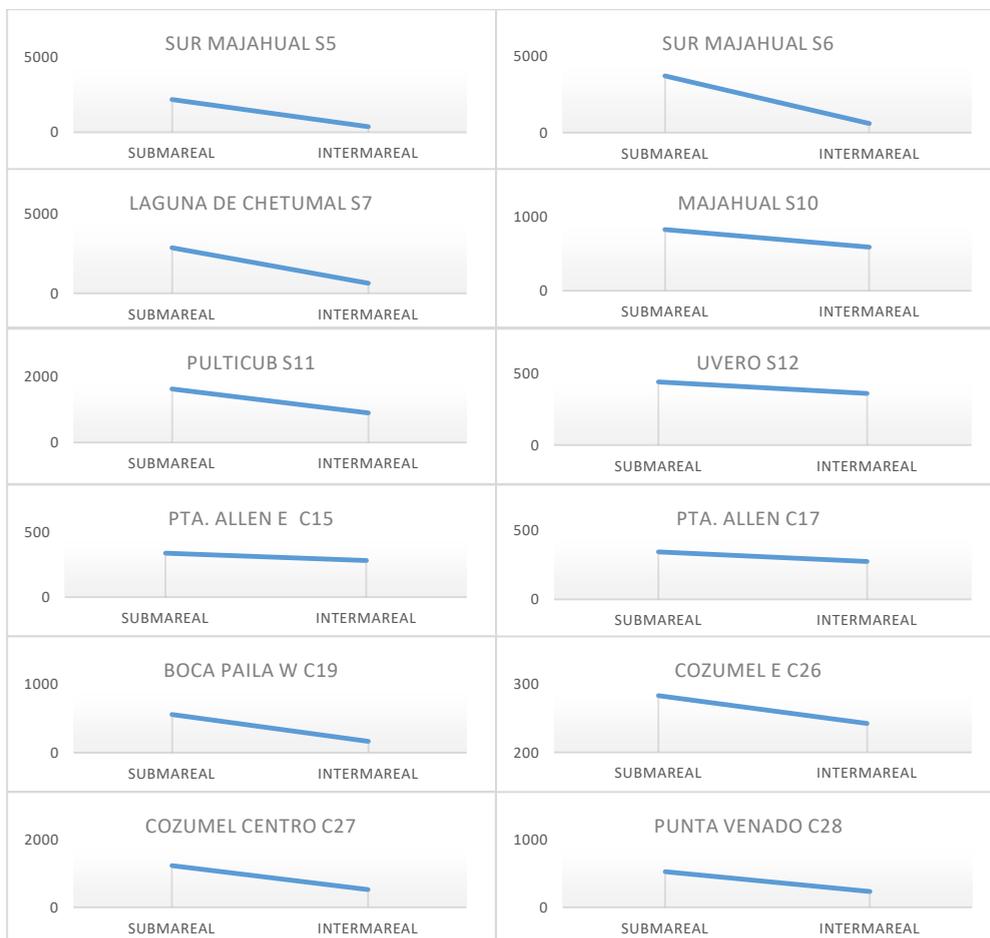
Los principales tipos de polímeros encontrados en los muestreos fueron Polipropileno (PP) y polietileno de alta y baja densidad (PE) de acuerdo con el análisis FTIR-ATR. Como ya se mencionó el polietileno (PE) es utilizado para elaboración de bolsas plásticas, anillos de six pack, redes, popotes, material de empaquetado, envases de comida y de cosméticos, entre otros, el polipropileno (PP) es utilizado para elaboración de ropa, cuerdas, tapas de botellas, redes, textiles, embalaje, envases de todo tipo, entre otros. Por lo que se relaciona con residuos mal gestionados, turismo y el arte de pesca.

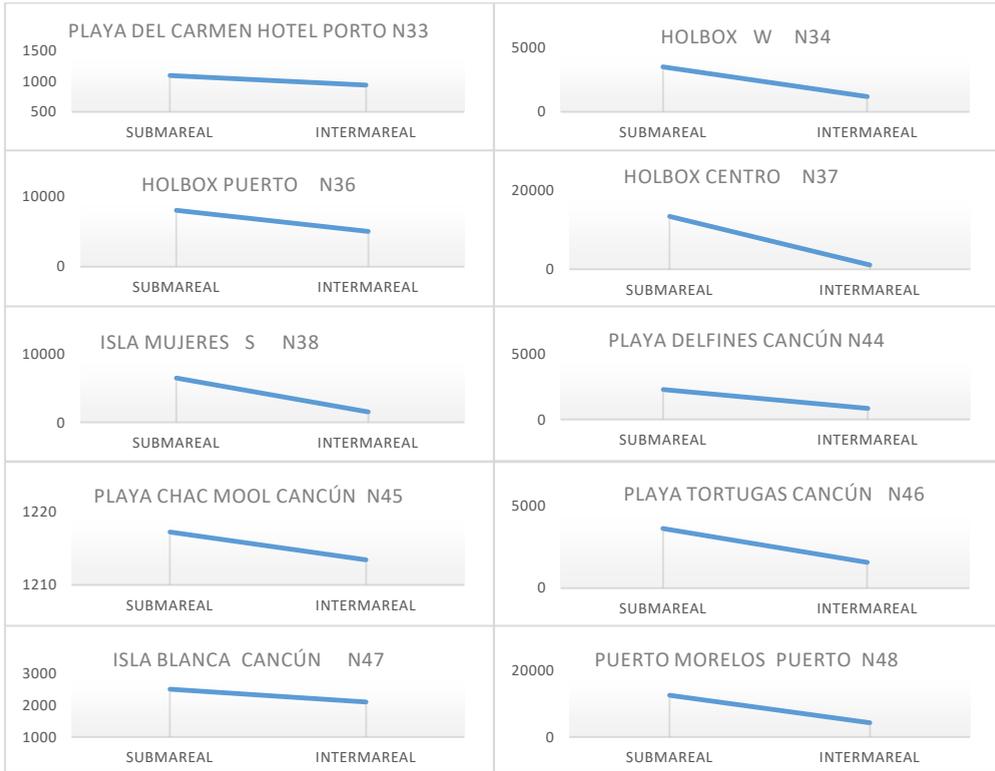
Es necesario continuar con la investigación de presencia de MP en el medio ambiente para poder garantizar un medio ambiente seguro y sano para las generaciones futuras, para la conservación de la flora y fauna, así como de espacios de recreación con valor escénico como las hermosas playas de México.

## ANEXO

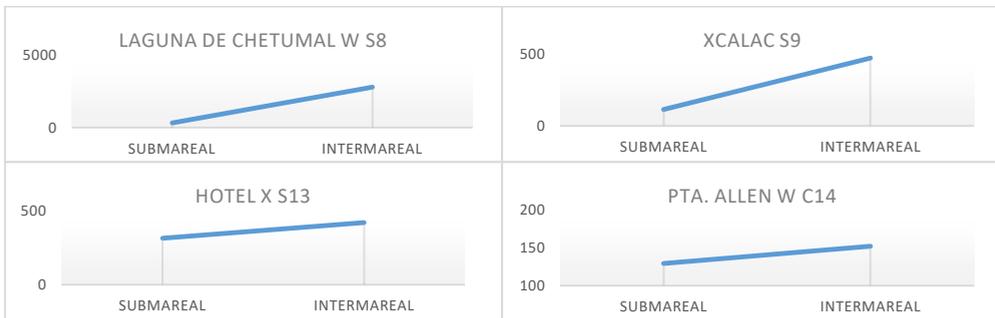
### ABUNDANCIA DE MP POR ZONA DE PLAYA 2016

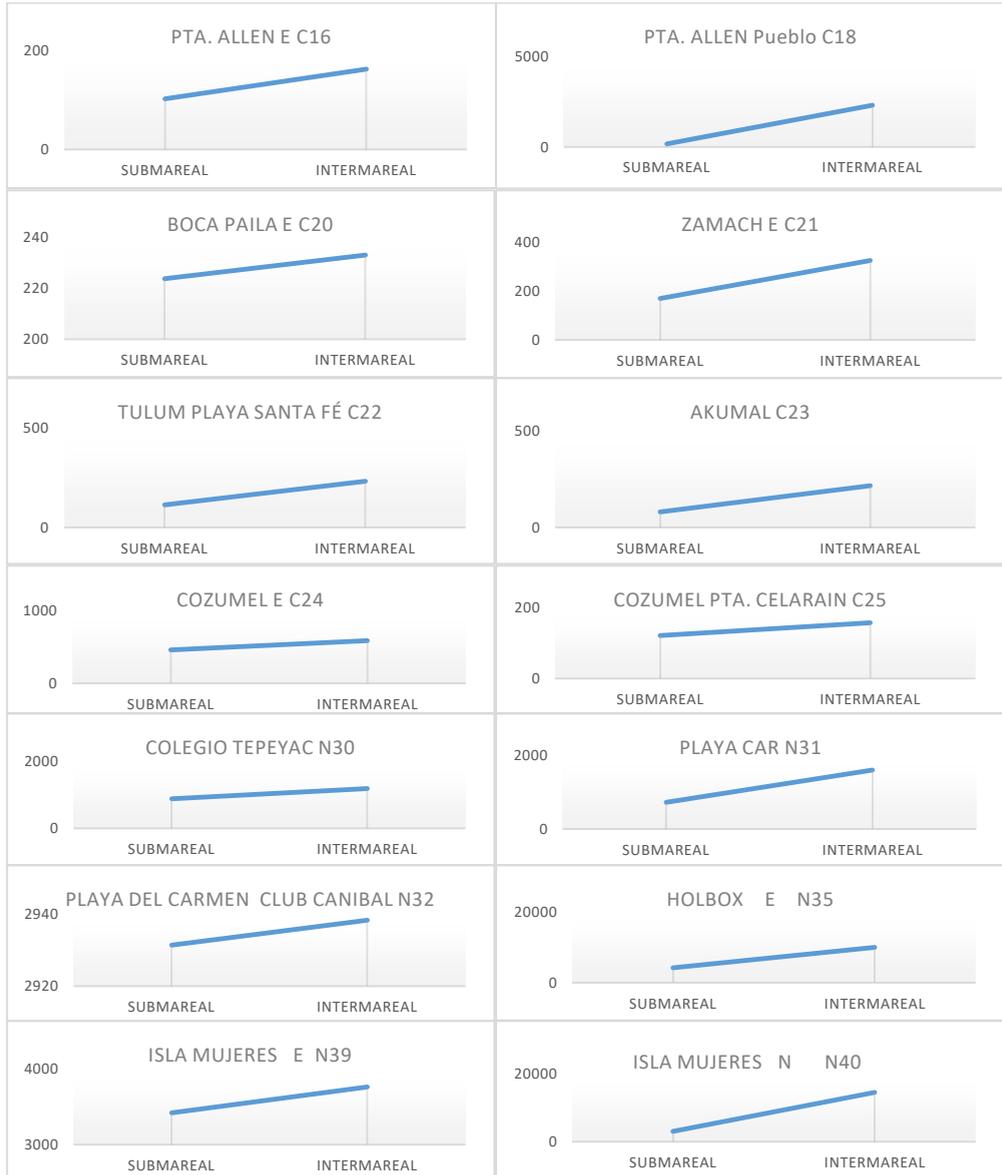
#### ESTACIONES CON MAYOR ABUNDANCIA DE MP EN ZONA SUBMAREAL

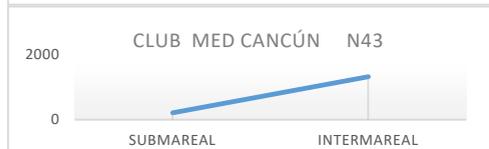
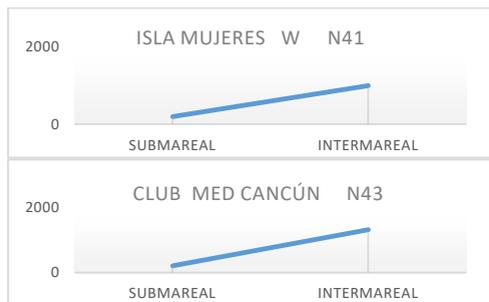




**ABUNDANCIA DE MP 2016 EN ZONA INTERMAREAL**







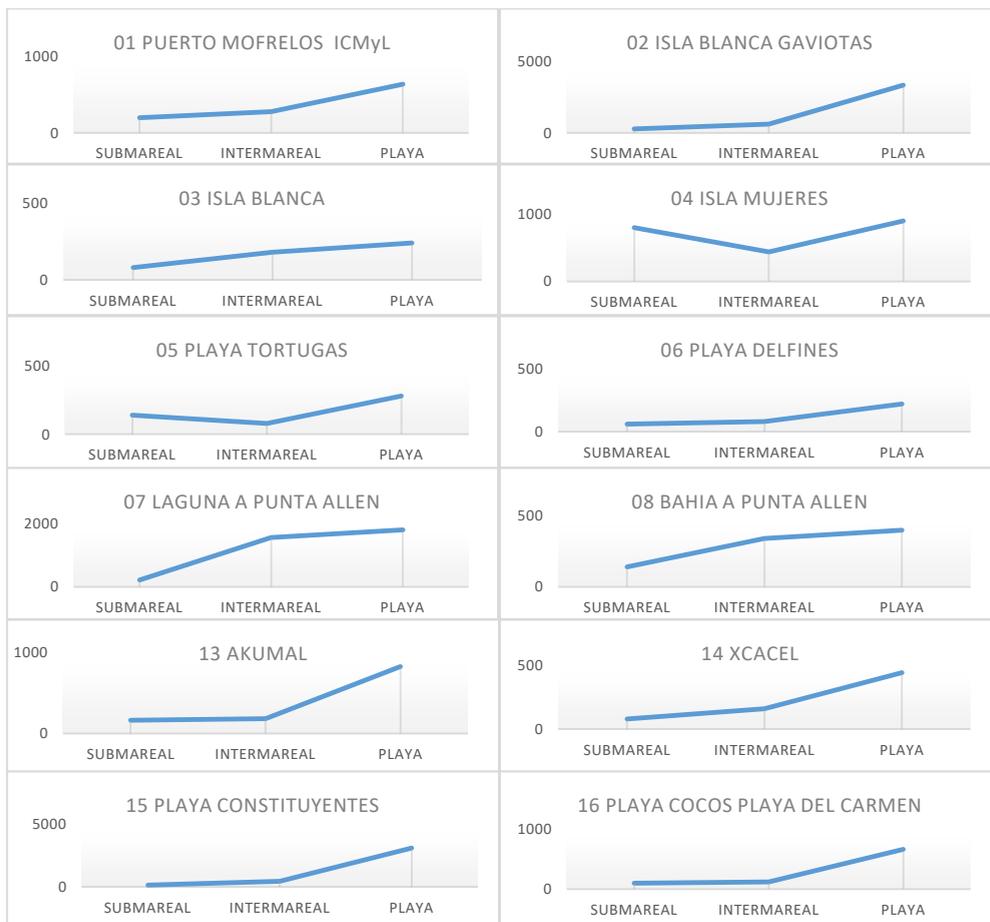
### ABUNDANCIA DE MP 2018 EN ZONA SUBMAREAL



### ABUNDANCIA DE MP 2018 EN ZONA INTERMAREAL

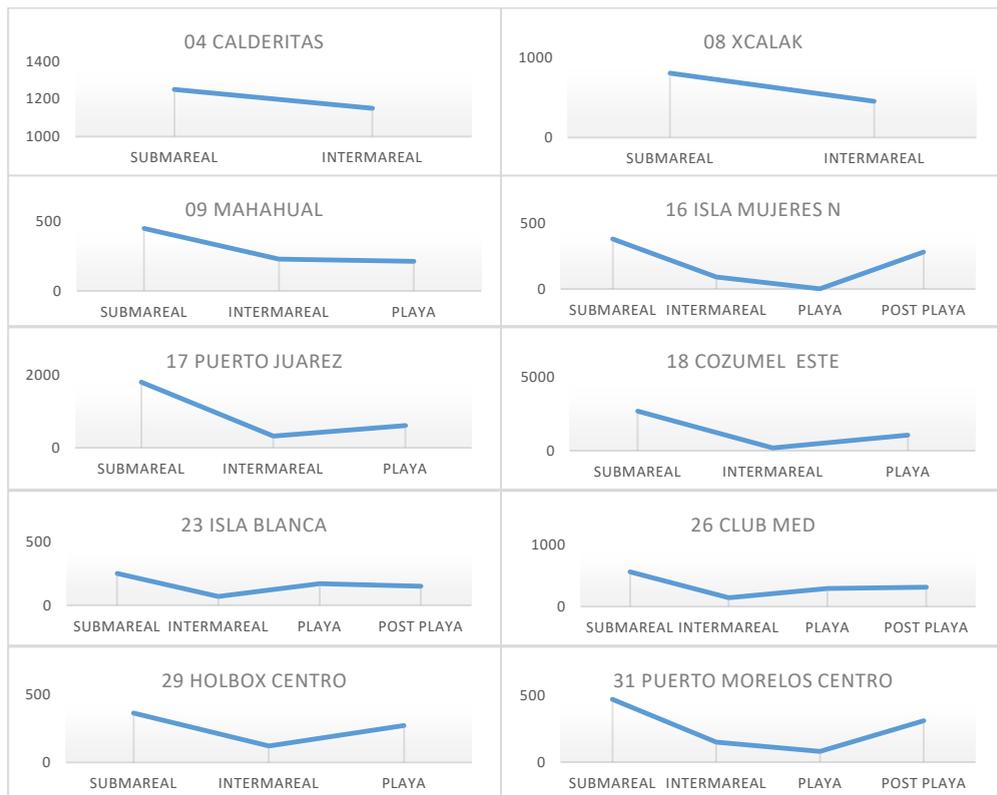


### ABUNDANCIA DE MP 2018 EN ZONA DE PLAYA

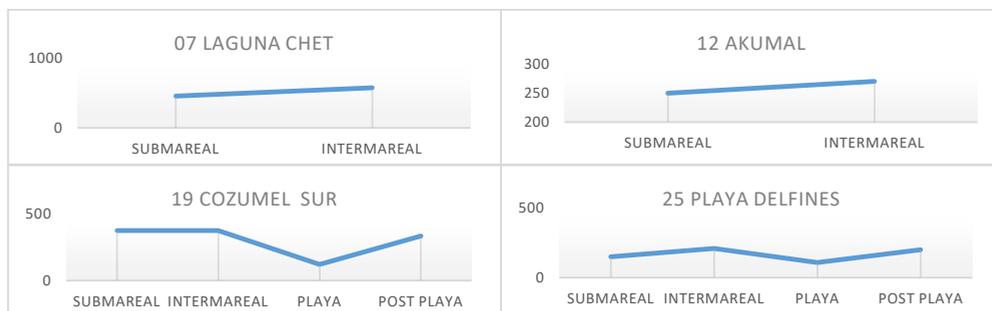


### ABUNDANCIA DE MP 2021 EN ZONA SUBMAREAL



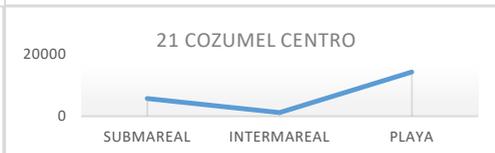


**INTERMAREAL**



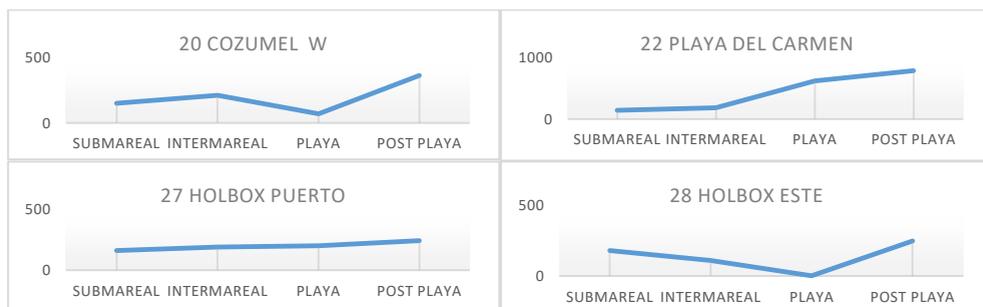


**PLAYA**



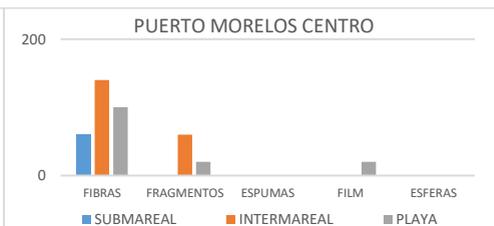
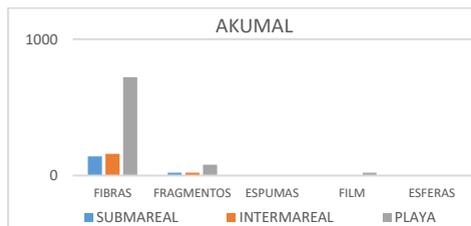
**POST PLAYA**





ESTACIONES 2018 CON MAYOR ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS DE ACUERDO AL TIPO DE MP.  
ESTACIONES 2018 CON MAYOR ABUNDANCIA DE FIBRAS

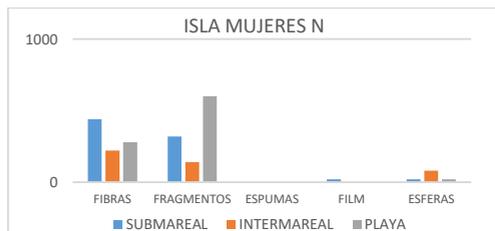




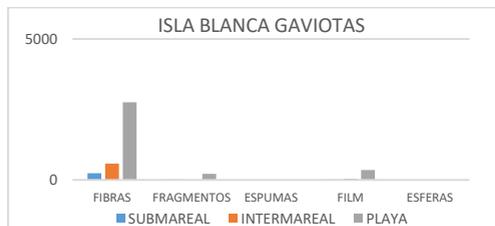
#### FIBRAS Y FRAGMENTOS



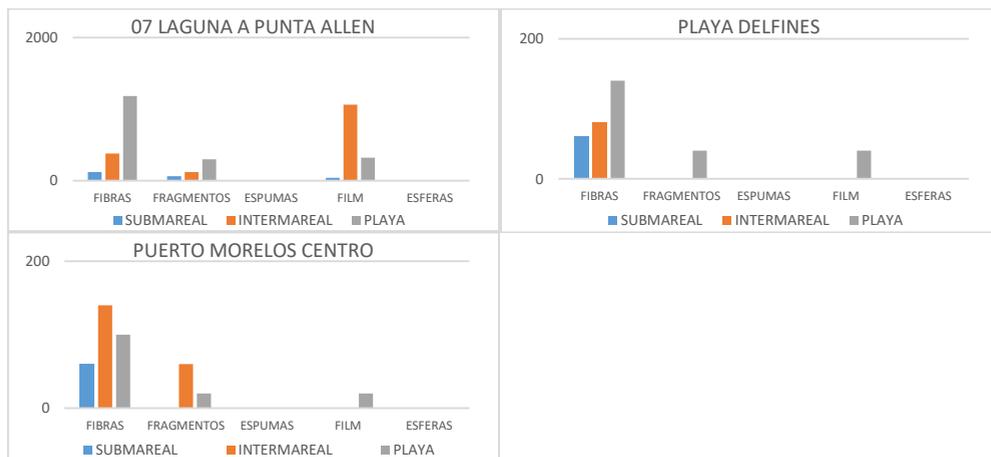
#### FIBRAS, FRAGMENTOS Y ESFERAS



#### FIBRAS Y FILMS

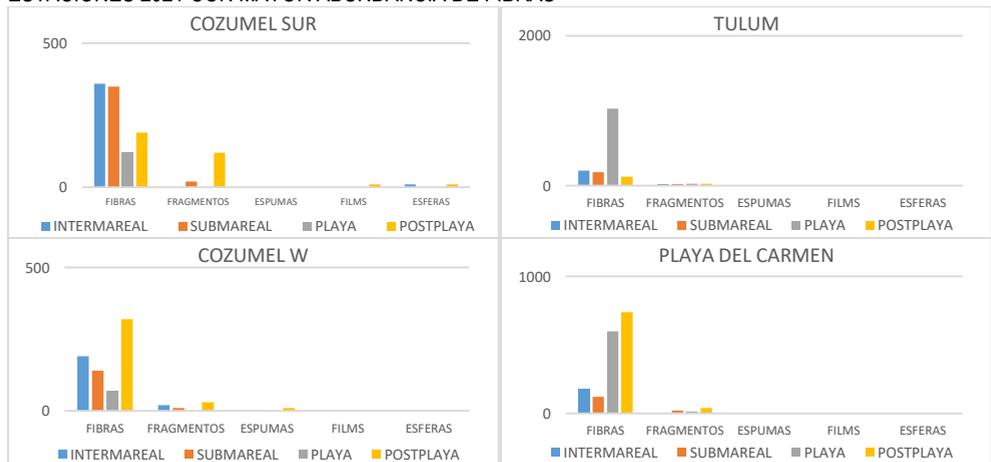


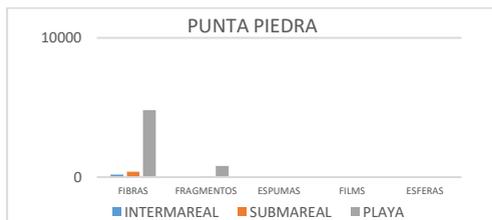
## FIBRAS, FRAGMENTOS Y FILMS



ESTACIONES 2021 CON MAYOR ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS DE ACUERDO AL TIPO DE MP.

ESTACIONES 2021 CON MAYOR ABUNDANCIA DE FIBRAS

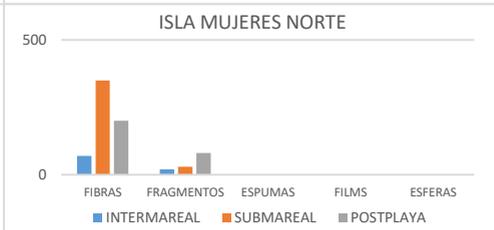
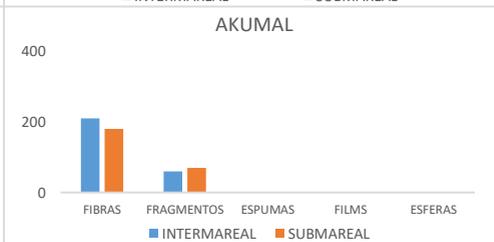
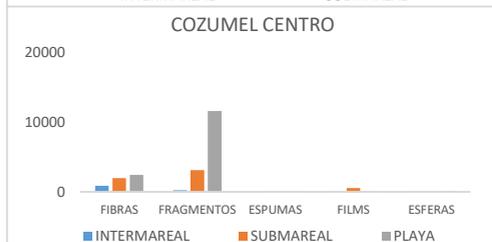
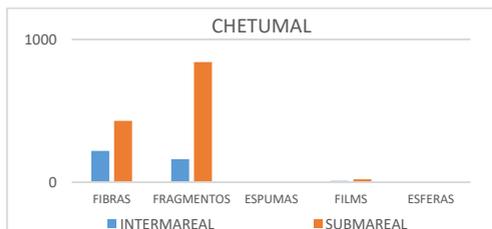




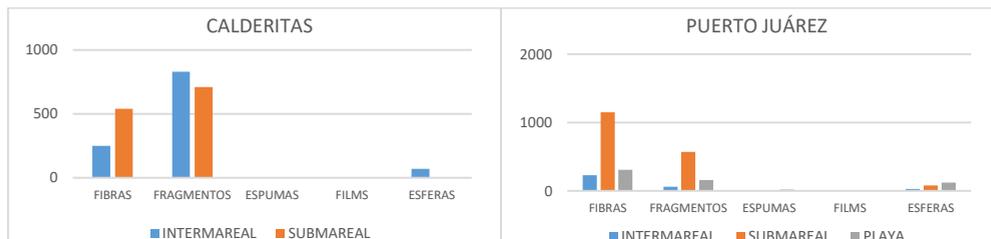
**FRAGMENTOS**



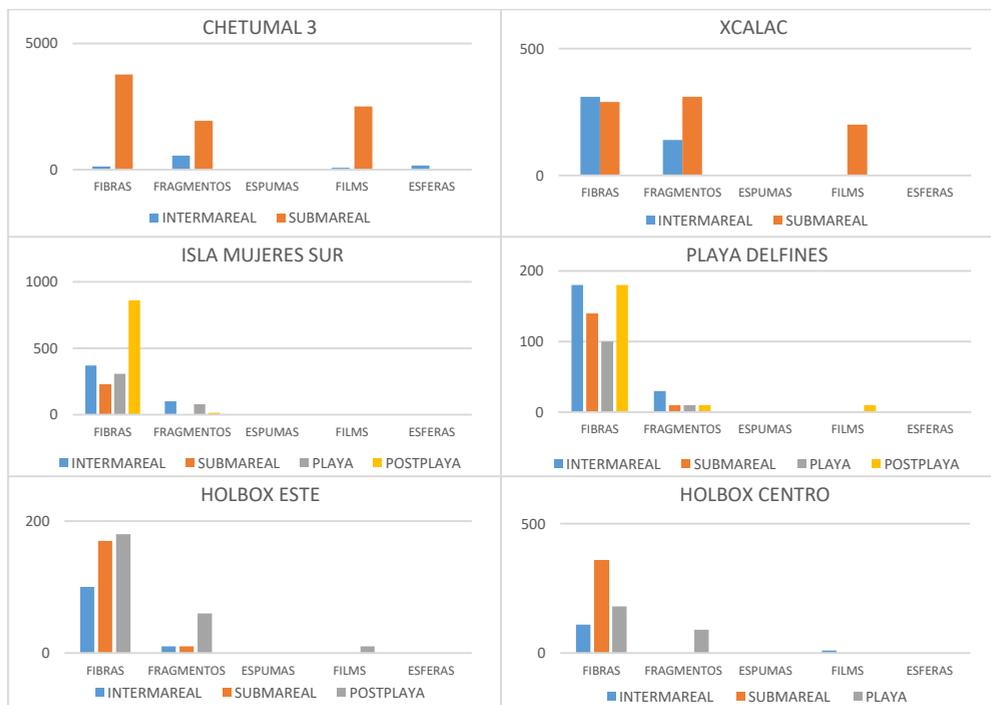
**FIBRAS Y FRAGMENTOS**







**FIBRAS, FRAGMENTOS Y FILMS**



## REFERENCIAS

Alimba CG, Faggio Caterina. 2019. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Volume 68, May 2019, Pages 61-74.

Alonso E.R., Paz C. Generación y manejo de residuos sólidos en áreas naturales protegidas y zonas costeras: el caso de isla holbox, Quintana Roo. *Sociedad y Ambiente*, 1 (5) (2014), pags. 92.

Álvarez-Lopez Tello Jonás, Robles Celerino, F. del Castillo Rafael, Contaminación por microplásticos en bosques neotropicales, sabanas, plantaciones de pinos y pastizales en las tierras bajas de Oaxaca, México: resultados preliminares. *Indicadores ecológicos*. Volumen 121, febrero de 2021, 107084.

Álvarez-Zeferino Juan Carlos, Ojeda-Benítez Sara, Cruz-Salas Arely Areanely, Martínez-Salvador Carolina, Vázquez-Morillas Alethia. 2020. Microplásticos in Mexican beaches. *Recursos, conservación y reciclaje*. 155. 104633

Amaya Márquez Angélica Isabel, 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: *Ophiacoma echinata*. Tesis de maestría del Instituto de Ciencias del mar y Limnología de la UNAM

Andrady A.L., 2011. Microplastic in the marine environment. *Mar. Pollut. Bull.*, 62 (2011), pp. 1596-1605, 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Andrady, A.L., Neal, M.A., 2009. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 364, 1977-1984.

Arreola Alarcón Monserrat I., Reyes Bonilla H., Shakti JS., Rodriguez Gonzalez Francisco, Parlamentario Jonathan. 2022. Tendencias estacionales de los microplásticos alrededor de los arrecifes de coral en Parques Nacionales Marinos Protegidos seleccionados del Golfo de California, México. Boletín de Contaminación Marina. Vol. 175. 113333.

Athié Gabriela., Reyes-Jiménez Tania., De la Miyar-Loza Mariana., Enríquez Cecilia., Sheinbaum Julio., Marín Marck., Mariño Ismael. Variabilidad de la corriente de Yucatán en el Caribe Mexicano y su efecto en la surgencia de Yucatán. Primer congreso CEMIE-Océano. 2021

Barnes David K. A., Francois Galgani, C. Richard, RC Thompson y Morton Barlaz. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos. Trans. R.Soc. B, 364 (2009), pp. 1985 - 1998, 10.1098 /rstb.2008.0205

Barnes D.K., Galgani F., Thompson R.C., M. Barlaz. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B Biol. Sci., 364 (2009), pp. 1985-1998

Belzagui Francisco., Buscio Valentina., Gutiérrez-Bouzán C., Vilaseca Mercedes. Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. Science of the total Enviromental. Vol. 762. 2021.144165.

Bologaro Crevenna Recaséns Andrea. Estudio de la vulnerabilidad y programa de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático en diez destinos turísticos estratégicos, así como propuesta de un sistema de alerta temprana a eventos hidrometeorológicos extremos, informe técnico final anexo 1 (sección III) modelo hidrodinámico Cancun. Fondo sectorial Conacyt-SECTUR. Proyecto clave 165452. Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. 2008

Borges Ramírez Merle M., Mendoza Franco Edgar F., Escalona Segura Griselda, Rendón Von Ostena Jaime. 2020. La densidad plástica como factor clave en la presencia de microplásticos en el tracto gastrointestinal de peces comerciales de la Bahía de Campeche México. Contaminación ambiental. Vol. 267. 115659.

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. Environ. Sci. Technol. 45, 9175–9179.

Browne M.A., Dissanayake A., Galloway T.S., Lowe D.M. 2008. Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis*. Environ. Sci. Technol., 42 (13) (2008), pp. 5026-5031. Wesch et al., 2016

Browne M.A., Galloway T.S., Thompson R.C. 2010. Spatial patterns of plastic debris along estuarine shorelines. Environ. Sci. Technol., 44 (2010), pp. 3404-3409

Browne M.A., Galloway T., Thompson R. 2007. Microplastics an emerging contaminant of potential concern. Integrated Environmental Assessment and Management, 3 (2007), pp. 559-561

Bullard J.E., Ockelford A., O'Brien P., McKenna N.C. 2021. Preferential transport of microplastics by wind. Atmospheric Environment. Volume 245, 15 January 2021, 118038

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. Mar. Pollut. Bull., 62 (2011), pp. 1708-1713

Castro Zarate Edith Xiadani, 2019. Análisis cuantitativo de microplásticos de tamaño 0.05 mm a 5.00 mm en sedimentos costeros del norte del Caribe Mexicano. Tesis de licenciatura de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Claessens M., Meester S.D., Landuyt L.V., Clerck K.D., Janss C.R. 2011. Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Mar. Pollut. Bull.*, 62 (10) (2011), pp. 2199-2204

Cole Matthew, Liddle Corin, Consolandi Giulia, Drago Claudia, Hird Cameron, Lindeque Penelope K., Galloway Tamara S. 2020. Microplastics, microfibrils and nanoplastics cause variable sub-lethal responses in mussels (*Mytilus* spp.) *Marine Pollution Bulletin*. Volume 160, November 2020, 111552.

Cole M., Lindeque P., Halsband C., Galloway TS. 2011. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Mar. Pollut. Toro.*, 62 (2011), pp. 2.588 mil - 2,597, 10.1016

Cowger W., Gray A.B., Eriksen M., Moore C., M. Thiel.2019. Evaluating wastewater effluent as a source of microplastics in environmental samples H.K.Karapanagioti, I.K. Kalavrouziotis (Eds.), *Microplastics in Water and Wastewater*, IWA Publishing, London, UK (2019), pp. 109-131

Cózar A., Echeverría F., González Gordillo JL, Irigoien X., Ubeda B., Hernández León S., Palma AT, Navarro S., García de Lomas J., Ruiz A., Fernández de Puelles ML, Duarte CM. 2014. Escombros plásticos en el mar abierto. *Proc. Natl. Acad. Sci. EE.*, 111(2014), pp. 10.239 -10, 244.

Crawford C.B., Quinn B., 2017. *Microplastics pollutants*. 9780128094068, Elsevier Science (2017)

Cruz Salas Arely Areanely, Alvarez Zeferino Juan Carlos, Ojeda Benitez Sara, Cruz Sotelo Samantha E., Vázquez Morillas Alethia. 2022. Residuos sólidos y microplásticos en las playas de la Isal de Holbox, México. *Estudios Regionales en Ciencias Marinas*. Vol. 53. Junio 2022. 102423

Curren E., Kuwahara VS., Yoshida T., Leong SCY. 2021. Microplásticos marinos en la región de la ASEAN: una revisión del estado actual del conocimiento. *Reinar. Contaminación*. 288pp. 117776.

Datos climatológicos de Quintana Roo. Viento, tiempo y clima. [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/quintana-roo\\_m%C3%A9xico\\_3520889](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/quintana-roo_m%C3%A9xico_3520889)

Dekiff Jens, Remy D, Klasmeier J, Fries E. 2014. Occurrence and spatial distribution of microplastic in sediments from Norderney. *Environmental pollution*. Vol. 186. Pag 248-256.

Derraik JGB. 2002. La contaminación del medio marino por desechos plásticos: una revisión. *Boletín de contaminación marina*, 44 (2002), págs. 842 – 852

Díaz, S.C. Variabilidad de los ciclones tropicales que afectan a México. *Interciencia*. Vol. 35, núm. 4, abril de 2010, pp. 306-310.

Dris R., Gasperi J., Saad M., Mirande C., Tassin B. 2016. Fibras sintéticas en la lluvia atmosférica: ¿una fuente de microplásticos en el medio ambiente? *Mar. Pollut. Toro.*, 104 (2016), pp. 290 - 293, 10.1016 / j. marpolbul. 2016.01.006

Eo Soeun, Hee Hong Sang, Kyoung Song Young, Jongsu Lee, Lee Jongmyoung, Won Joon Shim. 2018. Abundancia, composición y distribución de microplásticos de más de 20  $\mu\text{m}$  en las playas de arena de Corea del Sur. *Contaminación ambiental*. Volumen 238, julio de 2018, páginas 894-902.

Eriksen M., Maximenko N., Thiel M., Cummins A., Lattin G., Wilson S., Rifman S. 2013. Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Mar. Pollut. Bull.*, 68 (1) (2013), pp. 71-76

Fisher, V., Elsner, N.O., Brenke, N., Schwabe, E., Brandt, A., 2015. Plastic pollution of the Kuril-Kamchatka Trench area (NW Pacific). *Deep Sea Res. II* 111, 399e405. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.08.012>.

Flores-Ocampo., Armstrong S. 2023. Abundance and composition of microplastics in Tampico beachsediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*. 191(2023). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891>

Fossi MC., Marsili L., Bains M., Giannetti M., Coppola D., Guerranti C., Caliani I., Minutoli R., Lauriano G., Finioia MG., Rubegni F., Panigad S., Bérube M., Urbán Ramírez J., Panti C. Rocual común y microplásticos: los escenarios del Mar Mediterraneo y el Mar de Cortés. 2016. *Reinar contaminar*. 209. Pags 68-78. 10.1016/J. ENVPOL. 2015.11.022

Foro ambiental. 2017. Analizan contaminación por microplásticos en mares de México. <http://www.foroambiental.com.mx/analizan-contaminacion-por-microplasticos-en-mexico/>

Garcés-Ordóñez Ostin, Espinosa Luisa F., Pereira Cardoso Renan, Barroso Cardozo Issa Bárbara, Meigikos dos Anjos Roberto. Contaminación de basura plástica a lo largo de playas arenosas en el Caribe y la costa del Pacífico de Colombia. *Contaminación ambiental*. Volumen 267, diciembre de 2020, 115495.

García L., Gracia M.A., Bello E., Aldasoro E. M. Metabolismo social y ecoturismo: la problemática de los residuos en isla holbox, Quintana Roo, México. *Ciencia nueva.*, 10 (20) (2018), pag. 779-822, 10.21640/ns.v10i20.1401

GeissenViolette, Mol Hans, Klumpp Erwin, Umlauf Günter, Nadal Marti, van der Ploeg Martine, Sjoerd E.A.T.M. van de Zee, Coen J. Ritsema. 2015. Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*. Volume 3, Issue 1, 1 March 2015, Pages 57-65.

Geyer R., Jambeck JR, Law KL. 2017. Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados. *Sci. Adv.*, 3 (2017), artículo e1700782, 10.1126 / sciadv.1700782

Gómez Hernández Izchel Romana, 2016. Efectos 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 del Instituto de Ciencias del mar y Limnología de la UNAM.

Gregory M.R. 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings: entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (2009), pp. 2013-2025

Hidalgo-Ruz V., Thiel N. 2013 Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science Project. *Marine Environmental Research*. Volumes 87–88, June–July 2013, Pages 12-18.

Hopewell J., Dvorak R., Kosior E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, 364 (1526) (2009), pp. 2115-2126, 10.1098/rstb.2008.0311

Indicadores turísticos del Caribe Mexicano 2019, SEDETUR, Secretaría de turismo del estado de Quintana Roo. [https://sedeturqroo.gob.mx/ARCHIVOS/indicadores/Indicador-Tur-Dic-2019\\_actualizado.pdf](https://sedeturqroo.gob.mx/ARCHIVOS/indicadores/Indicador-Tur-Dic-2019_actualizado.pdf)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2016

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2004/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI, c2004.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario de estadísticas por unidad federativa 2010 Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI, c2010.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2013 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2013. 744 p.

Iñiguez ME, Conesa JA, Fullana A. 2016. Incidencia y tratamiento de desechos marinos: una revisión. *Renovar. Sostener. Energy Rev.*, 64 (2016), págs. 394 - 402, 10.1016 / j. rser. 2016.06.031.

Iñiguez M.E., Conesa J.A., Fullana A. 2016. Marine debris occurrence and treatment: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 64 (2016), pp. 394-402, 10.1016/j.rser.2016.06.031

Jayasiri H.B., Purushothaman C.S., Vennila A. 2013. Quantitative analysis of plastic debris on recreational beaches in Mumbai, India. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 77, Issues 1–2, 15 December 2013, Pages 107-112.

Karthik R., Robin R.S., Purvaja R., Ganguly D., Anandavelu I., Raghuraman R., Hariharan G., Ramakrishna A., Ramesha R. 2018. Microplastics along the beaches of southeast coast of India. *Sci. Total, Environ.*, 645 (2018), pp. 1388-1399, 10.1016/j.scitotenv.2018.07.242

Kukulka T., Proskurowski G., Morét-Ferguson S., Meyer DW, Law KL. 2012. El efecto de la mezcla del viento en la distribución vertical de desechos plásticos flotantes. *Geophys. Res. Letón.*, 39 (2012), artículo L07601.

Lambert S., Wagner M. 2016. Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene. *Chemosphere*, 145 (2016), pp. 265-268

Lattin G.L., Moore C.J., Zellers A.F., Moore S.L., Weisberg S.B. 2004. A comparison of neustonic plastic and zooplankton at different depths near the southern California shore. *Marine Pollution Bulletin*, 49 (2004), pp. 291-294

Liu Xiaojing., Zhang Yilei., Sun Xinyue., Zhang Wenyue., Shia Xu., Shia Xu. 2022. El estrés oxidativo inducido por di-(2-etil hexil) ftalato promueve la apoptosis y necroptosis mediada por microplásticos en el músculo esquelético de ratones al inhibir la vía PI3K/AKT/mTOR. *Toxicología*. Vol. 474 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.tox.2022.153226>

Liu K., Wu T., Wang X., Song Z., Zong C., Wei N., Li D. 2019. Transporte constante de microplásticos terrestres al océano a través de la atmósfera. *Reinar. Sci. Technol.*, 53 (2019), págs. 10612 - 10619, [10.1021 / acs.est.9b03427](https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03427).

Liu Yi, Wenzhi Liu, Yang Xiaomei, Wang Jie, Hui Lin, Yang Yuyi. 2021. Microplastics are a hotspot for antibiotic resistance genes: Progress and perspective. *Science of The Total Environment*. Volume 773, 15 June 2021, 145643

López-Velázquez K., Duque-Olivera K., Santiago-Gordillo D., Hoil-Canul E., Guzmán-Mar J., Villanueva-Rodríguez M., Ronderos-Lara J., Castillo-Quevedo C., Ceballos-Quiroz J. Microplastics on Sandy beaches of Chiapas, México., *Regional Studies in Marine Science*. Vol. 70.2024. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103381>.

Lozano RL., Mouat J., 2009. Basura marina en la región del Atlántico nororiental: evaluación y prioridades de respuesta. *KIMO internacional* (2009).

Mapa de Viento en Quintana Roo. <https://es.windfinder.com/#3/17.5602/-33.5742/2022-05-23T00:00Z>

Martellini T., Guerranti C., Scopetani C., Ugolini A., Chela D., Cincinelli A. 2018. Una instantánea de los microplásticos en las zonas costeras del mar Mediterraneo. TrAC. Tendencias Anal. Química. 109. Pags 173-179. 10.1016/j.trac.2018.09.028.

Martins J., Sobral P. 2011. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: a matter of size. Mar. Pollut. Bull., 62 (2011), pp. 1649-1653

Martins J., Sobral P. 2011. Plastic marine debris on the Portuguese coastline: A matter of size? Marine Pollution Bulletin. Volume 62, Issue 12, December 2011, Pages 2649-2653.

Maximenko N., Hafner J., Niiler P. 2012. Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. Marine Pollution Bulletin, 65 (2012), pp. 51-62

Mazariegos-Ortíz Carlos, Rosales María de los Ángeles, Carrillo-Ovalle Leonel, Pereira Cardoso Renan, Costa Muniz Marcelo, Meigikos dos Anjos Roberto. 2020. Primera evidencia de contaminación por microplásticos en la playa de arena El Quetzalito del Caribe guatemalteco. Boletín de contaminación marina. Volumen 156, julio de 2020, 111220.

Moore C.J., Moore S.L., Leecaster M.K., Weisberg S.B. 2001. A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. Mar. Pollut. Bull., 42 (2001), pp. 1297-1300, 10.1016/S0025-326X (01)00114-X

Murphy F., Ewins C., Carbonnier F., Quinn B. 2016. Wastewater treatment works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. Environ. Sci. Technol., 50 (11) (2016), pp. 5800-5808

Murray F., Cowie PR., 2011. Contaminación plástica en el crustáceo decápodo *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758). Boletín de Contaminación Marina. 62 (2011), pp.1207-1217.

Nel HA, Froneman PW, 2015. Un análisis cuantitativo de la contaminación por microplásticos a lo largo de la costa sureste de Sudáfrica. *Mar. Pollut. Toro*, 101 (2015), págs.274 – 279.

Philip J.M., Aravind U.K., Aravindakumar C.T. 2018. Emerging contaminants in Indian environmental matrices – a review. *Chemosphere*, 190 (2018), pp. 307-326, [10.1016/j.chemosphere.2017.09.120](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.120)

Piñon-Colín T., Rodríguez-Jiménez R., Pastrana M., Rogel E., Toyohiko F.2018. Microplastic on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine pollution bulletin*. Vol. 131. Pag. 67-71. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.055>

Plastics Europe, 2016. Plastic The Facts 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste data. <http://www.plasticseurope.org/information-centre/publications.aspx>

Plastic Europe, 2018. Plastic The facts 2018. An analysis of European plastic production, demand and waste data.

Plastics Europe, 2019. Plastic The Facts 2019. An analysis of European plastics production, demand and waste data.

Plastics Europe, 2020. Plastic The Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data.

Plastics Europe, 2023. Plastic The Facts 2023. An analysis of European plastics production, demand and waste data.

PNUMa, 2016. Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas. Desechos plásticos marinos y microplásticos: lecciones e investigaciones globales para inspirer la acción y guiar el cambio de políticas. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/7720>

Ramírez-Álvarez Nancy, Rios Mendoza Lorena Margarita, Macías-Zamora Vinicio Macías, Oregel-Vázquez Lucero, Alvarez-Aguilar Arturo, Hernández-Guzmán Félix Augusto, Sánchez-Ororio José Luis, James Moore Charles, Silva-Jiménez Hortencia, Navarro-Olanche Luis Felipe. 2020. Microplastics: Sources and distribution in surface waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of The Total Environment*. Volume 703, 10 February 2020, 134838

Retama.I, M.P. Jonathan, V.C. Shruti, S. Velumani, S.K. Sarkar, Priyadarsi D. Roy, P.F. Rodríguez-Espinosa. 2016. Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 113 (2016) 530–535.

Ribeiro F., García AR, Pereira BP, Fonseca M., Mestre NC, Fonseca TG, Ilharco LM, Bebi anno MJ. 2017. Efectos de los microplásticos en *Scrobicularia plana*. *Mar. Pollut. Toro.*, 122 (1–2) (2017), págs. 379 – 391.

Rios L.M., Moore C., Jones P.R. 2007. Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin*, 54 (2007), pp. 1230-1237

Rios-Mendoza Lorena M., Feliciano Ontiveros-Cuadras, Leon-Vargas Daniela, Ruiz-Fernández Ana Carolina, Rangel-García Martín, Pérez-Bernal Libia Hascibe, Sanchez-Cabeza Joan Albert. 2021. Microplastic contamination and fluxes in a touristic area at the SE Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 170, September 2021, 112638

Rocha Santos T. y Duarte AC. 2017. Caracterización y análisis de microplásticos. *Comprehensive Analytical Chemistry*, Amsterdam, Países Bajos (2017).

Ruiz-Martinez Gabriel., Silva-Cesarin Rodolfo., Posada-Vanegas Gregorio., Comparación morfodinámica de la costa noroeste del estado de Quintana Roo, México. *Tecnología y ciencia del agua*. Versión on-line ISSN 2007-2422. 2013

Sadri SS, Thompson RC. 2014. Sobre la cantidad y composición de los desechos plásticos flotantes que entran y salen del estuario de Tamar, en el suroeste de Inglaterra. *Mar. Pollut. Toro.*, 81 (2014), pp. 55 – 60.

Sagawa N., Kawaai K., Hinata H. 2018. Abundance and size of microplastics in a coastal sea: comparison among bottom sediment, beach sediment, and surface water. *Mar. Pollut. Bull.*, 133 (2018), pp. 532-542, 10.1016/j.marpolbul.2018.05.036

Sánchez Hernández Lirio Jazmín, 2018. Evaluación de la Presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del estuario de Tecolutla, Veracruz. Tesis de maestría de la UAM.

Sanchez Hernandez Jazmin Lirio, Ramirez Romero Patricia, Rodrigo Gonzalez Francisco, Ramos Sanchez Victor H., Márquez Montes Raul Antonio, Paredes Rubio Hernando Romero, Sujitha SB., Parlamentario Jonathan. 2021. Evidencias estacionales de microplásticos en matrices ambientales de un estuario urbano dominado por turistas en el Golfo de México, México. *Quimiosfera*. Vol. 277. 130261.

Santos Dercia., Luzio Ana., Bellas Juan., Monteiro Sandra M. 2022. Cambios inducidos por microplásticos y cobre en la neurogénesis y las ADN metiltransferasas en las primeras etapas de vida del pez cebra. *Interacciones químico-biológicas*. Vol. 363(2022) 110021.

Shen Maocai., Li Yougong., Biao., Zhou Chenyun., Gong Jilai., Zeng Guangming. Smoked cigarette butts: Unignorable source for environmental microplastic fibers. *Science of the total environmental*. Vol. 791. 2021. 148384

Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ. Pollut.*, 185 (2014), pp. 77-83

Simon-Sánchez L., Grelaud M., Garcia-Orellana J., Ziveri P. 2019. River deltas as hotspots of microplastic accumulation: the case study of the Ebro River (NW Mediterranean). *Sci. Total Environ.*, 687 (2019), pp. 11861196, 10.1016/j.scitotenv.2019.06.168

Soursou Vasiliki., Campo Julian., Picó Yolanda. 2023. A critical review of the novel analytical methods for the determination of microplastics in sand and sediment samples. *TrAc Trends in Analytical Chemistry*. 166 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117190>

Stelios K. 2008. Los desechos marinos, un problema creciente: fuentes, distribución composición e impactos. *Contaminación marina: nueva investigación*. Capítulo 2.

Sujitha SB., Rodríguez González Francisco, Campos Villegas Lorena Elizabeth, Hernández Camacho Claudia J. Sarkar SK. 2021. Evidencias de microplásticos en diversas especies de peces frente a la costa Occidental del Océano Pacífico, México. *Gestión oceánica y costera*. Vol. 204. 105544

Thompson, R.C., Olsen, Y., Mitchell, R.P., Davis, A., Rowland, S.J., John, A.W.G., McGonigle, D., Russell, A.E., 2004. Lost at sea: where is all the plastic? *Science* 304. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1094559>, 838-838.

Thompson RC, Moore CJ, Vom Saal FS, Swan SH. 2009. Plásticos, medio ambiente y salud humana: consenso actual y tendencias futuras. *Transacciones filosóficas de la Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (2009), págs. 2153 – 2166

Tiwari M., Rathos T.D., Ajmal P.Y., Bhangare R.C., Sahu S.K. 2019. Distribution and characterization of microplastics in beach sand from three different Indian coastal environments. *Marine Pollution Bulletin*. Volumen 140, marzo de 2019, páginas 262-273

Tourinho PS., Ivar do Sul JA., Fillmann G., 2010. ¿Sigue siendo la ingestión de desechos marinos un problema para la biota marina costera del sur de Brasil? Boletín de Contaminación Marina. 60 (2010). pp. 396-401

UICN. 2021. Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Islas libres de residuos plásticos. <https://www.iucn.org/theme/marine-and-polar/our-work/close-plastic-tap-programme/plastic-waste-free-islands> .

Van Cauwenberghe L., Devriese L., Galgani F., Robbins J., Janssen C. 2015. Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. Marine environmental research. Vol. 111. Pag. 5-17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>

Von Moos N., Burkhardt-Holm P., Köhler A. 2012. Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel *Mytilus edulis* L. after an experimental exposure. Environmental Science and Technology, 46 (2012), pp. 11327-11335

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. Mar. Pollut. Bull., 109 (2016), pp. 178-183, [10.1016/j.marpolbul.2016.06.002](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.002)

Wang W., Gao H., Jin S., Li R., Na G. . 2019. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: a review Ecotoxicol. Environ. Saf., 173 (2019), pp. 110-117, [10.1016/j.ecoenv.2019.01.113](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113)

Wang T., Li B., Zou X., Wang Y., Li Y., Xu Y., C. Zhang, W. Yu. 2019. Emission of Primary Microplastics in Mainland China: Invisible but Not Negligible. Water Research (2019), [10.1016/j.watres.2019.06.042](https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.042)

Wang Duoqia, Lingcheng Su, Huada Daniel Ruan, Jiajun Chen, Jianzun Lu, Chiu-Hong Lee, Sabrina Yanan Jiang. 2021. Determinación cuantitativa y cualitativa de

microplásticos en ostras, agua de mar y sedimentos de las zonas costeras de Zhuhai, China. Boletín de contaminación marina. Volumen 164, marzo de 2021, 112000.

Wang Teng, Li Baojie, Zou Xinqing , Wang Ying, Li Yali, Xu Yongjiang, Mao Longjiang, Zhang Chuchu, Yu. 2019. Emisión de microplásticos primarios en China continental: invisible pero no despreciable. Investigación del agua. Volumen 162, 1 de octubre de 2019, Páginas 214-224.

Wesch C., Bredimus K., Paulus M., Klein R. 2016. Towards the suitable monitoring of ingestion of microplastics by marine biota: a review. Environ. Pollut., 218 (2016), pp. 1200-1208, 10.1016/j.envpol.2016.08.076

Wright S.L., Thompson R.C., Galloway T.S. 2013. The Physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. Environ. Pollut., 178(2013), pp.483-492.

Wu Hao., Liu Qiaohan., Yang Naikhi., Xu Shiwe. 2023. La coexposición en el ADN, detención del ciclo celular y necroptosis de las células de la granulosa ovárica en ratones al promover la producción de ROS. Ciencia del medio ambiente total. Vol 871 (2023) 161962. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161962>

Yanes, Javier. 2020. Los microplásticos la contaminación más ubicua de la tierra y el mar. Ambiente ciencia. <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-cientificos-hallan-nivel-mas-alto-microplasticos-fondo-marino-20200501095857.html>

Yonkos LT, Friedel EA, Perez-Reyes AC, Ghosal S., Arthur CD. 2014. Microplásticos en cuatro ríos estuarinos en la Bahía de Chesapeake, EE. UU. Reinar. Sci. Technol., 48 (2014), pp. 14 195 - 14.202

Ziaeddin Bonyadi, Zeinab Maghsodian, Mohammad Zahmatkesh, Javad Nasiriara, Bahman Ramavandi. Investigation of microplastic pollution in Torghabeh River sediments, northeast of



Instituto de Ciencias  
del Mar y Limnología



---

Iran.Journal of Contaminant Hydrology. Volume 250. 2022.104064  
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104064>