



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA SUR  
Y CENTRO DE LAS COSTAS DE QUINTANA ROO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**Orientación en Ciencias Ambientales**

**P R E S E N T A**

**VIRGINIA TÉLLEZ ALCÁNTAR**

**DIRECTORA DE TESIS:**

**DRA. VIVIANE SOLÍS WOLFOWITS**

**CIUDAD DE MÉXICO, 2019**





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



## HOJA DE DATOS DEL JURADO

### Datos del alumno

Apellido paterno	Télez
Apellido materno	Alcántar
Nombre(S)	Virginia
Teléfono	5534863127

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Carrera

CIENCIAS DE LA TIERRA

Número de cuenta

412001899

### Datos del tutor

Grado	Doctor Investigador C
Nombre(s)	Viviane
Apellido paterno	Solís
Apellido materno	Wolfowits

### Datos del sinodal 1

Grado	Doctora
Nombre(s)	Alicia
Apellido paterno	Negrón
Apellido materno	Mendoza

### Datos del sinodal 2

Grado	Doctora
Nombre(s)	Laura
Apellido paterno	Mori
Apellido materno	

### Datos del sinodal 3



---

Grado	Doctor
Nombre(s)	Rodolfo Omar
Apellido paterno	Arellano
Apellido materno	Aguilar

Datos del sinodal 4

Grado	M. en E.M.S.
Nombre(s)	Isabel
Apellido paterno	Mejía
Apellido materno	Luna

Datos del trabajo escrito.

Título: Contaminación por microplásticos en la zona sur y centro de las Costas de Quintana Roo

Número de páginas	125
Año	2019

Palabras clave: Microplásticos, Quintana Roo, Intermareal, Submareal, fibras, microfibras.



---

*LA TIERRA TIENE LO  
SUFICIENTE PARA SATISFACER  
LAS NECESIDADES DE TODOS,  
PERO NO LAS AMBICIONES  
DE UNOS CUANTOS*

*Mahatma Gandhi*



---

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

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

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 de muestras.

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

Al Dr. Mario Mayen por su apoyo en el trabajo del laboratorio y por sus consejos.

Al M. en C. Arturo Toledano por su apoyo en la toma de muestras.

A la Dra. Morelia por permitirnos utilizar el laboratorio de Ecología de especies invasoras, en el Instituto de Ciencias del mar y limnología.

Al Dr. Jorge H. Limon Pacheco por su apoyo y correcciones en el trabajo escrito de tesis.



## **DEDICATORIA**

*A mi mami por dar todo por mí aún antes de conocerme, por inspirarme para nunca rendirme por difícil que pudiera ser.*

*A mi papá porque a su manera me enseñó a esforzarme para lograr cumplir mis metas, porque me enseñó que de los errores también se aprende y siempre hay que salir adelante.*

*A mis hermanos y hermanas porque cada uno de ellos ha inspirado una parte de mi vida y porque siempre han estado conmigo en este proceso, por su apoyo y sus palabras de aliento.*

*A mi hermano Vicente por ayudarme a resolver mis dudas en matemáticas y por a veces hacerlas más grandes.*

*A mi hermano Rogelio por retarme a crecer académicamente por escucharme y por su apoyo.*

*A mi hermana Sofía porque siempre ha estado conmigo en las buenas y en las malas, por apoyarme, por cuidar a mis hijos incluso mejor que yo, por sus tantos consejos y por todo su cariño.*

*A mi sobrino David porque siempre ha sido mi amigo, mi confidente, gracias por ayudarme en este difícil proceso, por aconsejarme, por escucharme y por todo tu apoyo incondicional sin importar la hora, por ayudarme a salir de mis crisis existenciales, por ayudarme a resolver mis tareas, por darme la fuerza que necesitaba para terminar este proyecto, gracias por ser mi amigo y por siempre estar a mi lado.*



---

*A mis sobrinos Pepe, Edgar, Ricardo, Roberto, Rodrigo por esas tardes de discusión y por ayudarme a resolver dudas en mis tareas, por sus palabras de aliento y sobre todo por pedirme que nunca me rindiera.*

*A mis amigos Paty, Sandy, Itzel, Diego, Juan Pablo, Sonia, Lupita, Thalía y Karem por todo el apoyo que me brindaron durante estos cinco años y por todos esos momentos felices, por hacerme reír tantas veces por su apoyo en las prácticas de campo y por todos los buenos momentos dentro y fuera de salón de clases.*

*A Xiadani por apoyarme tanto en el laboratorio, como fuera de él. Por escucharme, orientarme y aconsejarme por ser mi amiga y mi compañera de laboratorio, por todo su cariño y comprensión.*

*A mis jefes Gloria Osnaya, Carlos A. Cisneros y compañeros de trabajo Maricarmen Sánchez, Arturo Mata, Helena Ortiz, Nancy, por todo el apoyo que me brindaron durante toda mi carrera y durante la titulación, por sus palabras de aliento y por guiarme para seguir adelante.*

*En especial a Carlos y Maricarmen por todo el apoyo que me brindaron durante la tesis, por siempre decirme que me cambiara de carrera, y por hacerme reír de mi misma, por apoyarme con su opinión para mejorar el diseño de mi escrito.*

*A Xiadani por hacer tan divertido el trabajo de campo y por su apoyo y dedicación en el trabajo del laboratorio, por las horas dedicadas a escucharme y apoyarme.*





---

*A la señorita Irene de intendencia por acompañarme en las tardes y por apoyarme a recoger todo lo que yo ensuciaba al trabajar en el laboratorio y a la señorita Rosi por sus palabras de ánimo todos los días.*

*A Román por las horas de terapia en mis crisis existenciales, por su amistad y por alentarme a seguir adelante.*

*Pero en especial quiero dedicar mis logros a mis hijos Stefany, Odin y Vanessa por su apoyo y sacrificio en este difícil proyecto, por prepararme el lunch, por comprender y tolerar esas tardes de encierro, por apoyarme los fines de semana que la tarea me consumía, por ser mi luz en los momentos de oscuridad, por ser mi mayor inspiración. Porque no hay un ave que pueda volar sin alas.*



---

## ÍNDICE GENERAL

---

1. Índice general.....	9
2. Índice de Figuras.....	11
3. Índice de Tablas.....	13
4. Índice de Fotografías.....	14
5. Resumen.....	15
6. Introducción.....	16
7. Antecedentes.....	23
8. Justificación.....	28
9. Objetivos.....	29
9.1.    Objetivo general.....	29
9.2.    Objetivo particular.....	30
10. Hipótesis.....	30
11. Área de estudio.....	30
11.1    Ubicación geográfica.....	30
11.2    Características de la zona de estudio.....	31
11.3    Características geológicas y relieve.....	32
11.4    Características del litoral.....	32
11.5    Vientos dominantes.....	33
11.6    Características climáticas.....	35
11.7    Características hidrológicas.....	35
11.8    Fauna y flora.....	37
11.9    Importancia ambiental.....	38
11.10   Características demográficas.....	44
11.11   Zonas arqueológicas.....	45
11.12   Características económicas.....	46



---

11.13	Residuos.....	49
12.	Materiales y métodos.....	49
12.1	Trabajo de campo.....	51
12.2	Trabajo de laboratorio.....	52
12.3	Método de elutriación.....	54
12.4	Tratamiento de los datos.....	56
12.5	Trabajo estadístico.....	57
13.	Resultados y Discusión.....	59
13.1	Análisis de los datos de los microplásticos obtenidos en la fracción A.....	59
13.2	Microplásticos (todas las categorías).....	59
13.3	Comparación entre zona intermareal y submareal..	63
13.4	Relación arena-microplásticos.....	64
13.5	Análisis de los microplásticos por color.....	67
13.6	Fragmentos.....	68
13.7	Pellets o microesferas.....	70
13.8	Fibras.....	71
13.9	Microfibras.....	74
13.10	Bolitas de fibras.....	75
13.11	Películas o Films.....	77
13.12	Espumas.....	78
13.13	Fibras de vidrio.....	79
13.14	Vidrio.....	80
13.15	Resultados de la fracción B.....	82
13.16	Microplásticos (todas las categorías) fracción B.....	82
13.17	Comparación intermareal y submareal.....	85
13.18	Relación arena-microplásticos.....	86
13.19	Análisis de los microplásticos por color.....	88
13.20	Fragmentos.....	89
13.21	Fibras.....	91
13.22	Microfibras.....	92
13.23	Bolitas de fibras.....	93



13.24	Comparación entre la fracción A y fracción B.....	95
13.25	Comparación de los MP/L en ambas fracciones.....	95
13.26	Comparación de fibras, microfibras y bolitas de fibras en ambas fracciones.....	97
13.27	Comparación de fragmentos en ambas fracciones..	99
13.28	Comparación por abundancia de color ambas frac..	101
13.29	Comparación Intermareal-Submareal ambas frac....	103
13.30	Resultados fracción A+ Fracción B.....	103
13.31	Abundancia de MP/L por color ambas fracciones....	105
13.32	Resultados Intermareal-Submareal ambas frac.....	107
14.	Origen de los microplásticos encontrados.....	108
15.	Consideraciones Finales.....	108
16.	Conclusiones.....	111
17.	Anexos.....	114
18.	Bibliografía.....	115

## 2. ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Tamaño de partícula.....	20
Fig. 2	Microplásticos primarios y secundarios.....	21
Fig. 3	Localización geográfica del área de estudio y estaciones de muestreo.....	31
Fig. 4	Vientos dominantes de la Isla de Cozumel.....	33
Fig. 5	Vientos dominantes de Punta Allen.....	34
Fig. 6	Vientos dominantes de Chetumal.....	34
Fig. 7	Mapa de la Red Hidrográfica digital de México.....	36
Fig. 8	Mapa de sitios RAMSAR de Quintana Roo.....	39
Fig. 9	ANP competencia Federal.....	42



---

Fig. 10	ANP competencia Estatal.....	43
Fig. 11	Mapa de división política de Quintana Roo.....	44
Fig. 12	Metodología.....	50
Fig. 13	Variación de la abundancia de los microplásticos de la Fracción A.....	61
Fig. 14	Porcentaje de MP/L.....	62
Fig. 15	Abundancia de microplásticos por color.....	68
Fig. 16	Fragmentos de la fracción A.....	69
Fig. 17	Pellets de la fracción A.....	71
Fig. 18	Fibras de la fracción A.....	73
Fig. 19	Microfibras de la fracción A.....	75
Fig. 20	Bolitas de fibras de la fracción A.....	76
Fig. 21	Películas o Films fracción A.....	78
Fig. 22	Espumas de la fracción A.....	79
Fig. 23	Fibras de Vidrio de la fracción A.....	80
Fig. 24	Vidrios encontrados dentro de la fracción A.....	81
Fig. 25	Abundancia de MP inferiores a 0.5mm Fracción B.....	84
Fig. 26	Porcentaje de MP/L.....	85
Fig. 27	Abundancia por color Fracción B.....	89
Fig. 28	Microplásticos inferiores a 0.5 mm.....	90
Fig. 29	Fibras Fracción B.....	91
Fig. 30	Microfibras Fracción B.....	93
Fig. 31	Bolitas de fibras Fracción B.....	94
Fig. 32	Comparación de microplásticos Fracción A y B.....	96
Fig. 33	Comparación de microplásticos Fracción A y B.....	97



Fig. 34	Comparación de abundancia por color ambas fracciones	102
Fig. 35	Comparación de abundancia por color ambas fracciones	102
Fig. 36	Microplásticos fracción A + fracción B.....	105
Fig. 37	Abundancia de MP/L por color ambas fracciones.....	106
Fig. 38	Intermareal-Submareal ambas fracciones.....	107
Fig. 39	Resultado del análisis MANOVA para determinar la diferencia entre intermareal y submareal de la fracción A	114
Fig. 40	Resultado del análisis MANOVA para determinar la diferencia entre intermareal y submareal de la fracción B	114

### 3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Nombre y uso de los materiales de plástico usados a nivel mundial.....	18
Tabla 2	Ríos, lagunas y cuerpos de agua de Quintana Roo.....	37
Tabla 3	Sitios RAMSAR del estado de Quintana Roo.....	40
Tabla 4	ANP de Quintana Roo.....	41
Tabla 5	Zonas Arqueológicas del área de estudio.....	45
Tabla 6	Microplásticos de las 27 estaciones de estudio.....	59
Tabla 7	Estaciones con mayor abundancia de microplásticos Intermareal y submareal.....	63
Tabla 8	Resultados de las 27 estaciones y estimaciones MP/L.	66
Tabla 9	Estaciones con mayor abundancia de fragmentos/L....	70
Tabla 10	Microplásticos/L de las 27 estaciones.....	82



---

Tabla 11	Comparación Intermareal-Submareal de MP totales.....	86
Tabla 12	Total de MP, MP/L Y MP/Kg de las 27 estaciones.....	87
Tabla 13	Comparación abundancia de fibras/L por fracción.....	98
Tabla 14	Comparación de abundancia de fragmentos/L por fracción	100

#### **4. ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1.	El Castillo en Tulum.....	46
Fotografía 2.	Fragmento de la fracción A visto al microscopio.....	53
Fotografía 3.	Fragmento de vidrio visto al microscopio.....	54
Fotografía 4.	Microplásticos de la fracción B vistos al microscopio.	56
Fotografía 5.	Bolita de fibra vista al microscopio.....	76



## 5. RESUMEN

Los microplásticos (MP) constituyen un problema de contaminación ambiental poco conocido hoy en día. La presente investigación se llevó a cabo en las costas de Quintana Roo, México. Se realizaron 27 estaciones de muestreo desde Chetumal hasta Punta Venado (incluyendo la Isla de Cozumel). Las muestras recolectadas se dividieron en fracción A (5.0 a 0.5 mm) y fracción B (tamaño inferior a 0.5 mm). La fracción A fue revisada al microscopio estereoscópico y la fracción B se trató primero mediante el método de elutriación, para posteriormente también revisar las muestras obtenidas al microscopio. Se encontró 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 y el 85.2% a la fracción B. La estación C27 ubicada en el centro de Cozumel, fue el área con mayor abundancia de MP registrados. Se concluye que los MP, en su mayoría son secundarios, cuyo origen es diverso: contaminación directa o por descuido, abandono de residuos, que pueden ser comerciales, habitacionales o turísticos, así como, por descargas directas del drenaje. Este es el primer estudio que se hace en México, sobre todas las fracciones de MP encontradas en playas y servirá de base para profundizar en todos los aspectos de esta contaminación que nos aqueja de manera creciente y cuyas consecuencias no se han evaluado incluso a nivel internacional.





---

## 6. INTRODUCCIÓN

Los plásticos, desde que se su utilización se popularizó a mitades del siglo pasado, revolucionaron el mundo moderno. Por su gran utilidad y múltiples atributos, se han hecho indispensables para el desarrollo económico y social alrededor del mundo. Se componen de un material bioinerte, económico, de fácil limpieza y resistente. Al combinar el plástico con otros químicos, este adquiere características como alta flexibilidad, resistencia a la degradación por radiación UV y resistencia térmica o retardante al fuego.

El creciente uso del plástico se debe a los muchos beneficios que proporciona su uso en diferentes ámbitos. Por ejemplo, en el sector salud se utiliza en la fabricación de equipo médico más barato, ligero y de fácil traslado, en la fabricación de prótesis, insumos odontológicos, materiales quirúrgicos, de curación y productos de higiene, sin olvidar su uso en envases para el traslado y contención de medicamentos (Ambiente plástico, 2017); en el sector alimenticio, proporciona protección a los alimentos, permite su fácil transporte, evita la contaminación de alimentos y reduce riesgos a la salud.

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) en el 2016, reporta que en las últimas décadas “**1970-2010**”, se ha presentado un incremento en el uso de contenedores plásticos en el sector alimenticio de restaurantes y cafeterías que ofrecen comida rápida; en el sector automotriz y eléctrico para traslado de materiales; en la industria agroquímica para contener



químicos; en la agricultura mangueras de irrigación y contenedores con plantas y mallas protectoras entre otros. Finalmente y no menos importante, en la construcción representan materiales más ligeros y resistentes que se implementan en la infraestructura. En zonas turísticas se utilizan masivamente envases de plástico para el traslado, protección y contención de alimentos y bebidas, además de muchos otros artículos plásticos utilizados por los turistas, desde juguetes hasta muebles de playa como sillas, mesas y camastros, por lo que el turismo es considerado como una de las principales fuentes de ingreso de desechos plásticos al océano, ya sea de una manera deliberada o accidental. Otra fuente responsable de altos índices de residuos plásticos es sin duda la pesca y sobre todo la pesca fantasma (se llama así a los aparejos de pesca abandonados deliberadamente o no en el océano). (UNEP, 2016).

La palabra “plástico” hace referencia a la plasticidad del material con el que es fabricado; sin embargo, no se refiere a un material en particular. Los plásticos son polímeros que en su mayoría se extraen del petróleo, y se combinan con otras sustancias por ejemplo, con dibutilftalato (DBP), dietilftalato (DEP) o hexabromociclodecano (XPS o HBCD) que les confieren sus diversas propiedades como textura, resistencia, maleabilidad, temperatura, brillo y flexibilidad, entre otros (Plastics Europe, 2016).

Los polímeros de más demanda comercial se clasifican de acuerdo con su componente químico y densidad en: Polietileno de alta y baja



densidad (HDPE, LDPE), policloruro de vinilo (PVC), acrilonitrilo (ABS), policaprolacton (PCL), poliácido glicólico (PGA), alcohol polivinílico (PVA) (Gregory, 1978), poliestireno (PS), polipropileno (PP), y polietileno tereftalato (PET) (Andrady y Neal, 2009). En la Tabla 1 se muestran los plásticos de uso más frecuente.

**Tabla 1.** Nombre y el uso de los materiales de plástico más utilizados a nivel mundial.  
Fuente de elaboración propia

ACRÓNIMO	NOMBRE	NÚMERO DE RECICLAJE	DENSIDAD Kg/m <sup>3</sup>	PRODUCTO
PET	POLIETILENO TEREFTALATO	1	1 380	BOTELLAS DE AGUA, TEXTILES, TELECOMUNICACIONES
PES	POLIÉSTER	7	1 370	ROPA DE POLIÉSTER, BIOMÉDICA, JUGUETES, ETC
PE	POLIETILENO		950	CONTENEDORES DE ALMACENAJE
LDPE o PEBD	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	4	910-940	BOLSAS DE PLÁSTICO
HDPE o PEAD	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	2	940-970	BOTELLAS DE DETERGENTE
PVC	POLICLORURO DE VINILO	3	1 240-1 420	TUBERIAS, REVESTIMIENTOS, BOLSAS DE SANGRE, ETC.
PP	POLIPROPILENO	5	910	TAPAS DE BOTELLAS
PA	POLIAMIDA O NYLON	7	1 150	CEPILLOS DE DIENTES
PS	POLIESTIRENO	6	1 040	ENVASES DE COMIDA PARA LLEVAR
PU(PUR)	POLIURETANO		1 200	BARNICES, ADHESIVOS Y AISLANTES TÉRMICOS
TPU	POLIURETANO TERMOPLÁSTICO		1 230-1 550	CABLES, MANGUERAS, TUBOS FLEXIBLES
PVA	ALCOHOL POLIVINÍLICO		1 190	PAPEL ADHESIVO, REVESTIMIENTOS, PRODUCTOS DE HIGIENE, JUGUETES, ETC.



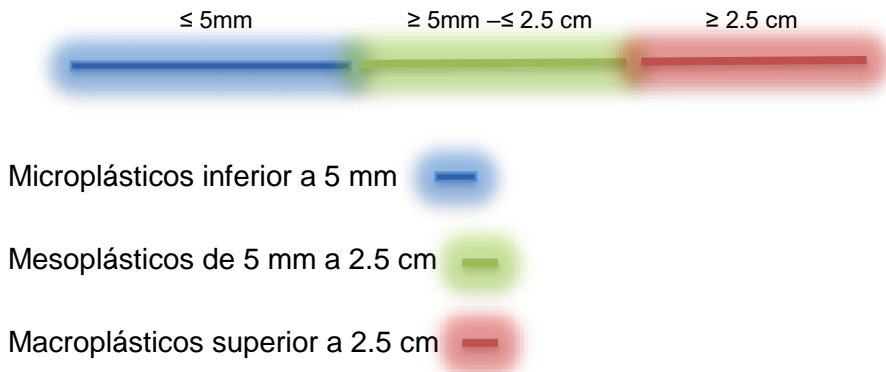
EP	RESINA EPÓXICA TERMOESTABLE		1 100-1 400	PINTURAS, ADHESIVOS, SISTEMAS ELÉCTRICOS, ARTE, INDUSTRIA ETC.
AC	ACRÍLICO		1 180	COMPONENTE DE AUTOMÓVILES, UTENSILIOS DE COCINA, MUEBLES, ARTÍCULOS MÉDICOS, ETC.
EPS	POLIESTIRENO EXPANDIDO		10-50	CONSTRUCCIÓN, AISLANTE TÉRMICO, BANDEJAS PARA COMIDA, ACONDICIONADOR DE PRODUCTOS FRÁGILES, ETC

La velocidad de degradación de los plásticos depende de los factores a los que se les exponga. La radiación ultravioleta (UV), juega un papel muy importante en la degradación de los plásticos, en el océano o las costas; sin embargo, en los fondos oceánicos, más allá de donde penetra la luz solar, los niveles de oxígeno y la temperatura son menores y la degradación es extremadamente lenta (GESAMP, 2015). En general, la degradación no es completa, bajo los efectos de la radiación solar y procesos físicos, químicos y biológicos, los plásticos pierden resistencia y se fragmentan, se oxidan o sufren mecanismos de abrasión, convirtiéndose en meso y microplásticos.

Los microplásticos (MP), objeto de este estudio, son partículas muy pequeñas de plástico cuyo tamaño va de 5.0 mm a 0.05 mm (Figura 1), estas partículas se detectaron primero en estómagos de aves en los años 60s (Rothstein, 1973). Sin embargo, no fue sino hasta la década siguiente cuando se comenzaron a citar en la literatura científica (Carpenter y Smith, 1972). Al inicio del milenio se les empezó a dar más importancia gracias a las investigaciones de Thompson y colaboradores (2004). Desde entonces, las investigaciones sobre estos han ido creciendo, con lo cual hoy en día se sabe que los microplásticos se



encuentran en todo tipo de ambientes, incluso en áreas consideradas vírgenes o muy alejadas e inhóspitas como el Ártico (Cózar, et al., 2014).



**Fig. 1.** Tamaños de partícula (NOAA, 2015) fuente basuras marinas

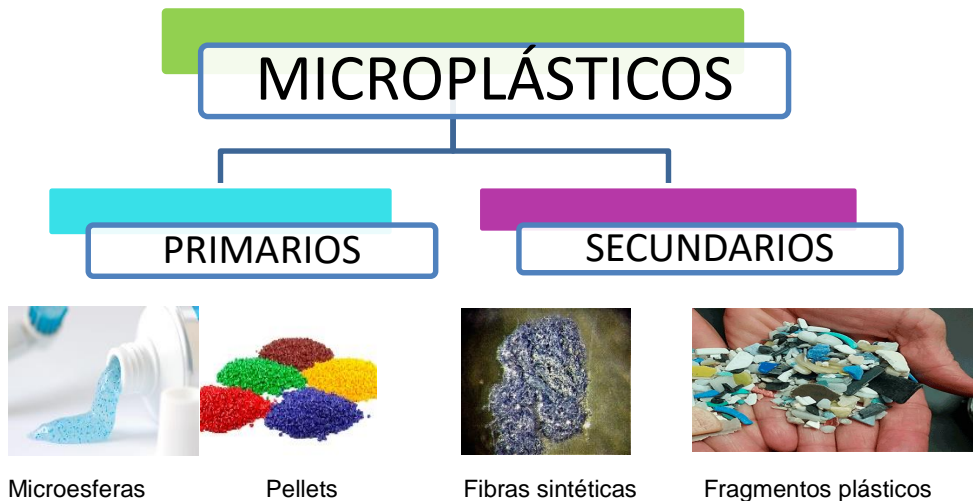
Los microplásticos se dividen en dos categorías: primarios y secundarios (Figura 2), por su origen: los primarios fueron creados como microplásticos y los secundarios son el producto de la degradación de plásticos más grandes.

Entre los primarios, destacan las micro-esferas de tamaño inferior a 500  $\mu\text{m}$  utilizadas principalmente en productos cosméticos, medicamentos y detergentes; también se encuentran los pellets que son partículas de 2-5 mm, los cuales terminan en el océano debido a derrames accidentales durante su manipulación o transporte (Gregory, 1978), o bien arrastrados hasta el mar con las aguas de desechos urbanos.

Los microplásticos secundarios se derivan de la degradación de los macroplásticos, que en cualquier ambiente quedan expuestos a la



radiación UV y/o factores físicos, químicos o biológicos. Dentro de este grupo también se encuentran las fibras sintéticas derivadas del lavado de la ropa, según un estudio llevado a cabo por Brown *et al.* (2011), este autor asegura que en un sólo lavado de prendas sintéticas se pueden liberar más de 1 900 fibras, que pueden llegar al océano o ríos, a través de desagües.



**Fig. 2 Microplásticos primarios y secundarios**

Dependiendo de su densidad, los microplásticos permanecen en la columna de agua o se hunden hacia los fondos marinos; es decir aquellos con una densidad inferior a  $1\ 020\ \text{Kg/m}^3$ , permanecen en la columna de agua y los de alta densidad se hunden y se acumulan en los sedimentos; la densidad común de los plásticos va de  $910$  a  $2\ 018\ \text{Kg/m}^3$ , la densidad del agua pura es de  $997\ \text{Kg/m}^3$ , y el agua de mar



tiene una densidad promedio de 1 027 a 1 029 Kg/m<sup>3</sup>. Esta puede variar dependiendo de la salinidad y de la temperatura del océano. La flotabilidad de los plásticos también se ve afectada por las corrientes de agua, el aire atrapado en la columna de agua y por la turbulencia (UNEP, 2016).

Los residuos plásticos, de todo tamaño, incluyendo los microplásticos de mayor densidad que el agua de mar, llegan a depositarse en los sedimentos, desde las playas hasta las fosas abisales.

Cuando estos llegan al mar, diferentes factores como las corrientes oceánicas, el viento y/o la marea contribuyen a su dispersión y eventual hundimiento. Un gran porcentaje de estos, de baja densidad, flotan durante un largo período viajando grandes distancias y alejándose de sus fuentes originales (Winston, 1982; Benton, 1995; Aliani y Molcard, 2003; Barnes y Fraser, 2003; Lozoya et al., 2016).

De acuerdo con el informe de basuras marinas de la UNEP correspondiente a 2014, en ese año, se produjeron en Europa 59 millones de toneladas, de los cuales se estima que de 4-8 millones de toneladas eran de plástico (UNEP, 2009; Jambeck et al., 2015). Se considera que más de un 70% de estas basuras marinas se encuentra en el fondo oceánico (Frias et al., 2016). De acuerdo con Woodall (2014), las profundidades oceánicas se han convertido en un depósito de residuos de plástico. Woodall (2014) afirma que cada km<sup>2</sup> de sedimentos marinos puede llegar a contener hasta 4 000 millones de restos plásticos microscópicos.



Actualmente a nivel mundial, la mayoría de las costas están contaminadas con plásticos y microplásticos. En las zonas de mayor población, así como aquellas con alto nivel de turismo o regiones pesqueras es donde se esperaría encontrar mayor acumulación de estos (Woodall et al., 2014).

## 7. ANTECEDENTES

El primer plástico se originó en 1860 en los Estados Unidos. John Hyatt inventó un tipo de plástico al que llamó celuloide, el cual se utilizó inicialmente como sustituto del marfil para la fabricación de bolas de billar. En 1907, Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico termofijo o termoestable. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. En 1930, químicos ingleses descubrieron el polietileno un termoplástico resultado de polimerizar el gas etileno, a la vez que en Alemania se creaba el poliestireno. Wallace Carothers inventó el nylon para uso de paracaídas en la Segunda Guerra mundial. Hacia los años 50's apareció el polipropileno. Posteriormente, al remplazar un átomo de hidrógeno por uno de cloruro en el etileno, se produjo el cloruro de polivinilo. Actualmente, el tereftalato de polietileno, desplaza al vidrio y al policloruro de vinilo en material de envasado (Gallardo, 1994).

En 1950 comenzó la producción masiva del plástico con 1.5 millones de toneladas anuales y a partir de entonces ha tenido un aumento de 5% anual según Andrady y Neal (2009). El aumento de la producción de plásticos está ligado a la constante demanda; en 2010 el Polietileno





encabezaba la lista de producción con 73 millones de toneladas, seguido del Polietileno tereftalato con 53 millones de toneladas; enseguida se encuentra el Prolipropileno con 50 millones de toneladas y el policloruro de vinilo con 35 millones de toneladas. Con menor producción, pero no despreciable, tenemos al Poliestireno y Poliuretano (Ambiente plástico, 2017).

En 2017 se produjeron 348 millones de toneladas de plástico a nivel mundial (Plastics-Europe 2018). De estos, 64.4 millones se fabricaron en Europa: en un 40% correspondieron a los sectores del envase y embalaje, principalmente en envasado de comida rápida o envasado desechable y un 20% en el sector de la construcción y la edificación. En esta industria se inició en los años 50's, el uso de los Policlorobifenilos (PCBs) que fueron prohibidos en los años 80 's por sus efectos nocivos al medio ambiente y por ser agentes cancerígenos (Kohler et al., 2005).

El 10% de la producción plástica en Europa fue utilizada en la industria automotriz (Plastics Europe, 2018). Del total de la producción en Europa sólo el 13% fue reciclado (Plastics Europe, 2016). El crecimiento de la producción de plástico a nivel mundial ha sido intenso, sobre todo en los últimos años: de 311 millones de toneladas en 2014 a 335 millones en 2016, 348 millones en 2017 y 350 millones en 2018 (Plastics Europe, 2018). Si la producción continúa con este crecimiento, se estima que en 2050 la demanda de plástico podría llegar a 2 000 millones de toneladas a nivel mundial (Andrady y Neal, 2009).



El primer reporte de microplásticos en columna de agua fue publicado por Carpenter et al., (1972), quienes describieron partículas de poliestireno de 0.01 mm a 2 mm encontradas en costas de Nueva Inglaterra. Carpenter y Smith en un estudio en el Mar del Sargazo (1972), publicaron concentraciones de 3 500 partículas con un tamaño que va desde 0.25 hasta 0.5 centímetros de diámetro por metro cuadrado; cinco años después, en 1977, Gregory menciona pellets o pequeños plásticos que contaminan las playas de Nueva Zelanda, provenientes de la industria. Estos fueron introducidos accidentalmente al medio ambiente durante su manejo o transporte. Se considera que los pellets que hoy en día se encuentran en las playas de Nueva Zelanda podrían rebasar incluso las 1 000 toneladas; Shiber, en 1979, comenta por primera vez la presencia de pellets contaminando las playas de Líbano.

Posteriormente 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 la actualidad, Fisher (2015), menciona que dicha concentración va desde los 60 hasta los 2 000 fragmentos de plástico por metro cuadrado en profundidades incluso superiores a los 5 000 m.

La primera definición de microplásticos fue hecha por Thompson et al., (2004), describiendo estos como residuos de 20  $\mu\text{m}$ . Posteriormente



Arthur et al., (2009) definieron como microplásticos a los fragmentos inferiores a 5 mm, medida que es comúnmente más aceptada.

Recientemente, 11 investigadores alrededor del mundo publicaron que del total de la basura encontrada en playas de California, 68 % corresponde a plásticos de diferente origen y tamaño (Rosevelt, et al., 2013). De forma similar en Taiwán el porcentaje de plásticos es de 77% (Liu et al., 2013). En Chile, la cifra es un poco más alta ya que del total de residuos en playas 86% son plásticos (Thiel, et al., 2013), mientras que en el Mar Negro se registra una cifra de 91% de plásticos sobre un total de 100% de residuos en playas (Topçu et al., 2013).

Sin embargo, la mayor cantidad de plástico registrada hasta enero del 2017, según el informe de basuras marinas de Ecologistas en acción, fue realizada en Fan Lau Tung Wan, Hong Kong reportándose 258 408 elementos por metro cuadrado (Fok y Cheung, 2015; Li W et al., 2016).

En Investigaciones recientes se ha informado que la presencia o ausencia de macroplásticos en distintos ambientes tanto terrestres como marinos, no determina la presencia o ausencia de microplásticos, por lo que se recomienda estudiar a este último por separado. (Dekiff et al., 2014; Anderson et al., 2016).

Los primeros trabajos experimentales sobre efectos de los microplásticos 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 microplásticos bajo diferentes condiciones experimentales en el ofiuero (*Ophiocoma*



*echinata*) pero estas no se dieron a conocer sino hasta 2016. Aunque obtuvo respuestas diferenciadas en función del nivel de contaminación, no obtuvo diferencias estadísticamente significativas de las variables evaluadas (Amaya Márquez, 2016). Y 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 microplásticos presentes (Gómez Hernández, 2016).

Posteriormente Retama Gallardo realizó una investigación en las playas de Huatulco, Oaxaca en el sureste del Pacífico mexicano. En este trabajo, se contabilizaron fibras y microplásticos, de 70 muestras de sedimento, encontrando un incremento de 374 microplásticos en abril 2013 a 518 en diciembre de 2014 (Retama Gallardo, 2016).

En un estudio en agua realizado en 2017 en Bahía de la Paz, Baja California Sur, Olavarrieta García encontró microplásticos de forma esférica, filamentos, y fragmentos de colores blanco, negro, rojo, azul y verde. Después de someter las muestras a un Espectrofotómetro Infrarrojo de Transformada Fourier (FTIR por sus siglas en inglés), demostró que el polímero más común fue el polietileno. (Olavarrieta García, 2017).

Sánchez Hernández (2018), evaluó la presencia de microplásticos en peces, columna de agua y sedimentos en Tecolutla, Veracruz. Los resultados arrojaron que 298 MP se encontraron en el tracto digestivo



de *Ariopsis felis*, mientras que en 27 litros de agua de 3 estaciones climáticas diferentes se identificaron 452 MP y en 600 g de sedimentos de 15 muestras se ubicaron 73 MP (Sánchez Hernández, 2018).

En 2017-2018 Castro Zárte realizó un estudio sobre los microplásticos de 0.5mm a 5 presentes en la zona norte del estado de Quintana Roo desde Puerto Morelos hasta Holbox. Según la clasificación de Alomar et al., (2016). Castro Zárte analizó 19 estaciones del área submareal e intermareal. Sus resultados arrojaron un total de 957 MP de los cuales el 74 % fueron fibras, el 15% películas, el 9% fragmentos, el 2% esferas y 0 espumas. (Castro Zárte, 2019).

La relevancia del estudio en microplásticos es importante pues es relativamente reciente a nivel mundial. No hay muchos antecedentes y en México es casi inexistente, puesto que sólo existen los estudios arriba citados.

## **8. JUSTIFICACIÓN**

La contaminación por microplásticos ya es reconocida como un problema mundial, se encuentra en todos los litorales alrededor del mundo y ya en la enorme mayoría de los organismos, incluyendo a los humanos sin que se sepa el efecto que sobre ellos puedan tener. En México la investigación sobre el tema es aún incipiente y muy limitada en áreas costeras, considerando que el país cuenta con más de 11 000 km de litoral y solo existen seis trabajos realizados.



El tema de microplásticos es emergente ya que la incorporación de estos al ambiente va en incremento a medida que aumenta su producción. A la vez, el estudio sobre el daño que provocan los microplásticos a especies marinas aún es limitado y se desconoce su efecto a largo plazo.

México es uno de los 12 países megadiversos y alberga un sinnúmero de especies de flora, fauna, especies endémicas y especies que se encuentran en peligro de extinción o protegidas por la NOM 059. La biodiversidad es valorada a partir de tres enfoques principales: a) biológico, b) económico y c) cultural (Toledo, 1997).

Conocer la cantidad y tipo de contaminantes plásticos, así como sus posibles fuentes de origen proporcionará información útil para implementar y gestionar planes en cuidado ambiental, con la finalidad de cuidar cuerpos de agua, suelos, fauna y flora a nivel local, regional y global.

## **9. OBJETIVOS**

### **9.1 Objetivo general**

Conocer la cantidad y tipo de microplásticos (MP) que existe en sedimentos de la zona sur y centro del litoral del estado de Quintana Roo.



## 9.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar y clasificar los microplásticos (MP) presentes en el sedimento de la zona sur y centro del litoral del estado de Quintana Roo.
2. Identificar la zona con mayor abundancia de microplásticos (MP) y relacionar con la posible fuente de contaminación.

## 10. HIPÓTESIS

Las zonas con mayor presencia de microplásticos son aquellas donde el turismo o actividades comerciales son más intensos y con amplia afluencia de personas.

## 11. ÁREA DE ESTUDIO

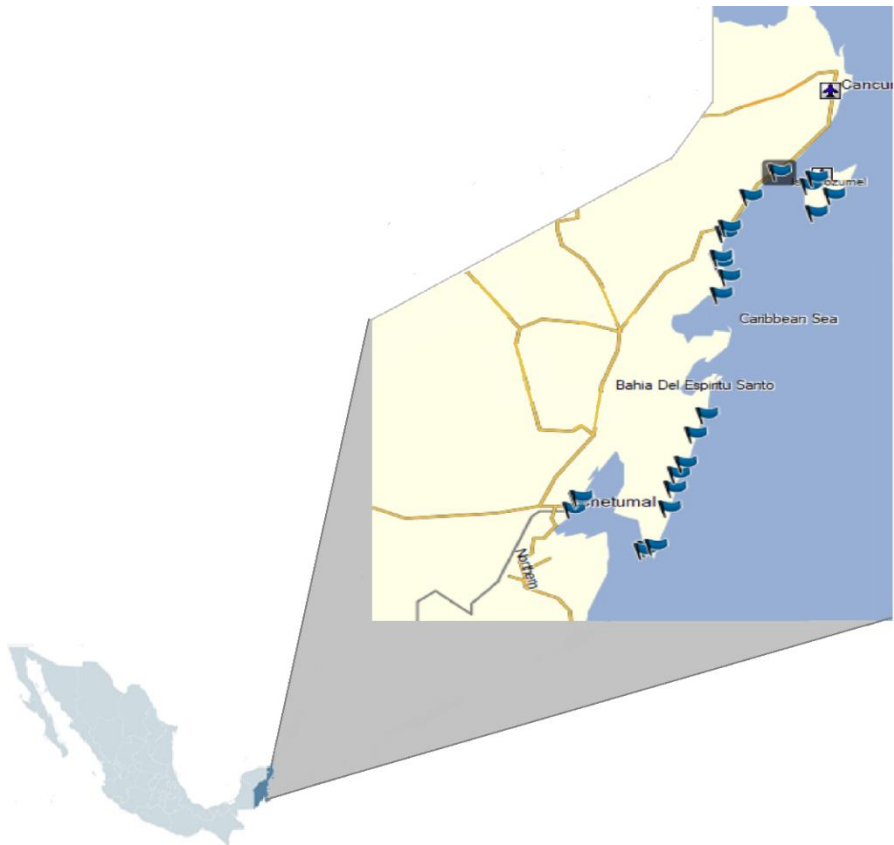
### 11.1 Ubicación geográfica

El Estado de Quintana Roo se localiza en la provincia fisiográfica de la Península de Yucatán. Colinda al norte con Yucatán y el Golfo de México, al este con el mar Caribe, al sur con parte de la Bahía de Chetumal y Belice, y al oeste con los Estados de Campeche y Yucatán; comparte frontera con Guatemala y Belice. Las coordenadas geográficas extremas de su territorio son al norte  $21^{\circ} 37'$  de latitud norte, al sur  $17^{\circ} 53'$  de latitud norte, al este  $86^{\circ} 42'$  de longitud oeste y al oeste  $89^{\circ} 20'$  de longitud oeste. Cuenta con una superficie total de 43 216 Km<sup>2</sup>, ocupando 2.2% del territorio nacional; lo que lo coloca en decimonoveno lugar en extensión entre los Estados de la República Mexicana. (INEGI, 2005).



## 11.2 Características de la zona de estudio

El área de estudio se llevó a cabo en el estado de Quintana Roo. Se realizaron 27 estaciones de muestreo desde el sur en el municipio de Chetumal hasta el centro de Cozumel. La estación más al sur (02Chet) y se localiza en el municipio de Chetumal en las coordenadas  $18^{\circ} 29' N$  y  $88^{\circ} 17' W$ , la estación más al norte (28 Punta Venado) se encuentra ubicada en Punta Venado cuyas coordenadas son  $20^{\circ} 32' N$  y  $87^{\circ} 09' W$ . (Figura 3).



**Fig. 3.** Localización geográfica del área de estudio y las 27 estaciones de muestreo.





### **11.3 Características geológicas y Relieve**

El estado en su mayoría data de la era Cenozoica período terciario con roca sedimentaria y una pequeña porción del Cenozoico período cuaternario, con formación de suelo. Dentro del estado también se encuentran dos bancos de material y agregados (INEGI, 2016). Quintana Roo se caracteriza por ser plano con una leve inclinación aproximada de 0.01% de pendiente oeste este con respecto al mar Caribe, su altura media es de 10 msnm.

### **11.4 Características del litoral**

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).

La costa se localiza en un área tectónica estable que da como resultado un relieve suave que contribuye a la presencia de aguas con poco o nulo material terrígeno, y propicia la existencia de sedimentos calcáreos (SEMARNAT, 2008). La zona de playa desde Playa del Carmen hasta Tankah es angosta y de origen calizo. La forma superficial predominante es de origen cárstico, que da como resultado hundimientos por lo que abundan lagos y lagunas. Las aguadas permanentes se forman por el hundimiento de la superficie o por el desplome de los bordes de cenotes



en cuyo fondo podemos encontrar arcillas acumuladas o por el hecho de aflorar el nivel freático (Pozo et al., ,2011).

### 11.5 Vientos dominantes

Los vientos predominantes se presentan durante los meses de octubre a marzo, incrementándose considerablemente en este último. Mientras que los meses con menos circulación de vientos se dan en los meses de julio a septiembre. Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los vientos dominantes de la zona norte del área de muestreo, la zona sur y de la zona media. La rosa de los vientos muestra que el viento predominante es hacia el este.

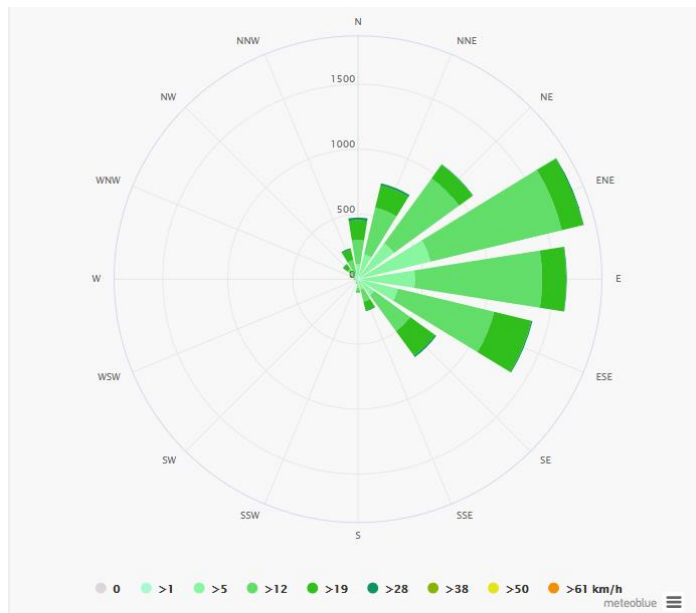
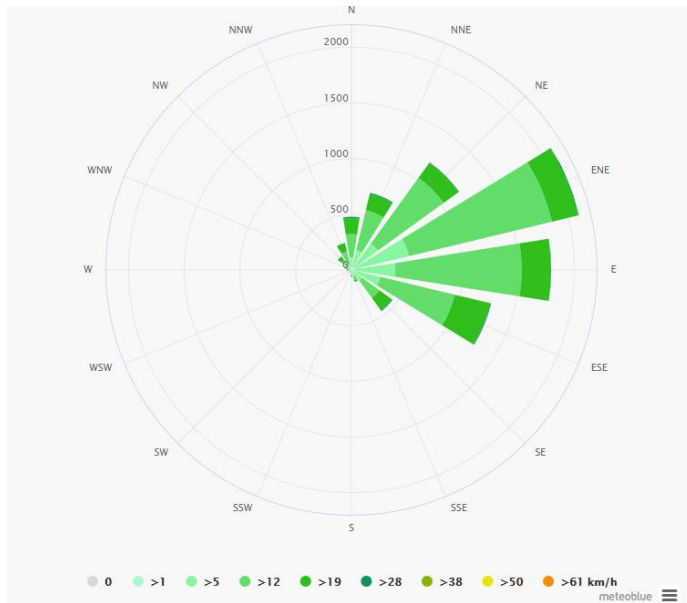
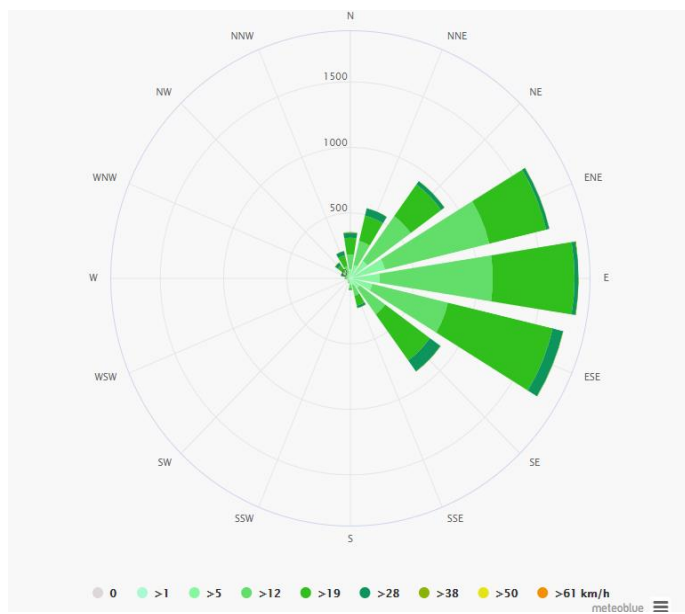


Fig. 4. Vientos dominantes en Isla Cozumel (Meteoblue, 2019)



**Fig. 5.** Vientos dominantes en Punta Allen (Meteoblue, 2019)



**Fig. 6.** Vientos dominantes en Chetumal (meteoblue, 2019)

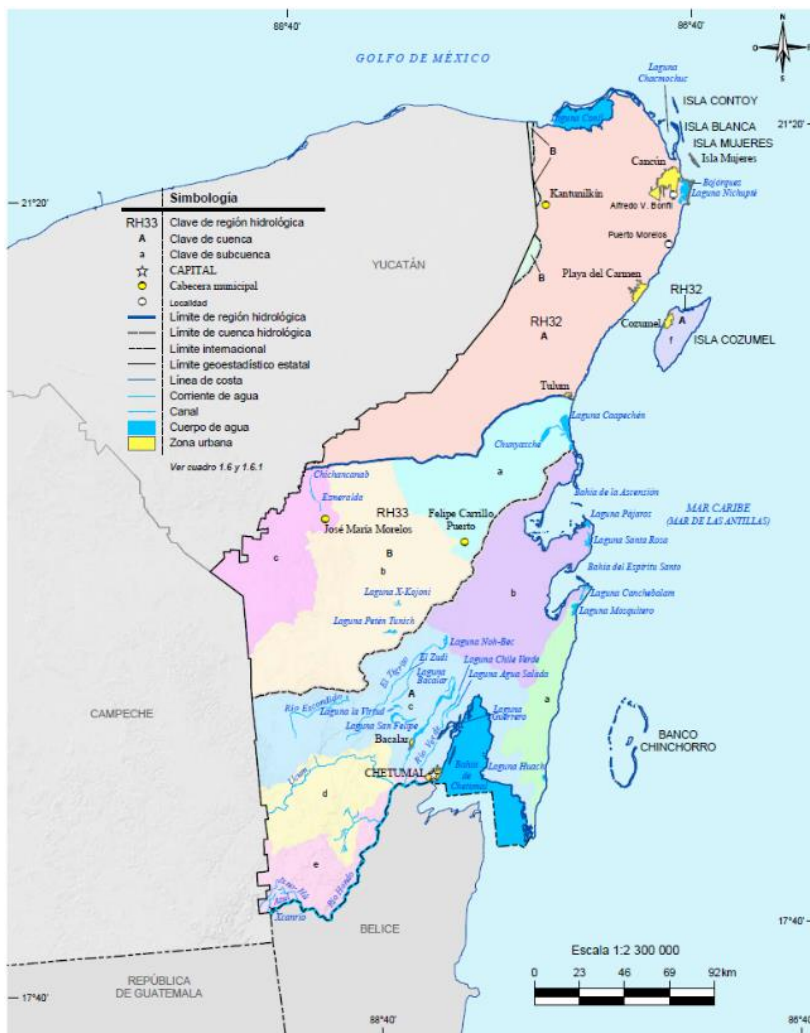


## 11.6 Características climáticas

El clima predominante del estado es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano y cálido subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura máxima registrada es de 28.6 °C registrada en Cozumel y la temperatura mínima es de 22.7°C reportada en Kantunilkín, con una precipitación máxima de 2 734.2 ml registrada en Kantunilkín y una precipitación mínima de 595.5 ml reportada en Felipe Carrillo Puerto (INEGI, 2016).

## 11.7 Características hidrológicas

Quintana Roo disponía en 2007, de 6 187.2 hectómetros cúbicos ( $\text{hm}^3$ ) aproximadamente de agua al año, por lo que se ubicaba como el cuarto estado con mayor disponibilidad nacional. La cantidad de agua concesionada para el mismo año fue de 459.8  $\text{hm}^3$ , de los cuales 20.2% se destinaron a las actividades agrícolas, 21.8% fueron para abastecimiento público, y 60% para uso industrial y autoabastecimiento. La Figura 7 nos muestra la red hidrográfica disponible en el estado.



**Fig. 7.** Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México Escala 1:250000

En el estado se presentan ríos subterráneos que abastecen de agua a la región. Y cuerpos de agua, principalmente cenotes y lagunas de gran importancia ambiental y turística los cuales se enlistan en la Tabla 2.



**Tabla 2.** Ríos, lagunas y cuerpos de agua de la zona costera de Quintana Roo.

Corriente de agua		Cuerpo de agua		Cenotes	
Bahía de la Ascensión	Laguna Nichupté	Boca Paila	Xel-ha	Dos ojos	Siete Bocas
Bahía de Chetumal	Laguna Mosquitero	Bojorquéz	Xunaan-Ha	Chemuyil	Vaca Ha
	Laguna Huach	Laguna Canchebalam	Labnaha	Escondido	Cristalino
	Laguna Santa Rosa	Campechén	Calavera	Tankah	Las Mojarras
	Laguna Pájaros		Cenote Grande	Ruta de los cenotes	Zazil-Ha
			El Cenote Azul	Chaak Tun	Media Luna
			Chac Mool	Sac Actún	
			Aktún Chén	Yal-Ku	

### 11.8 Fauna y flora

El estado se caracteriza por selva húmeda, posee vegetación arbórea de importancia como cedro rojo (*Cedrela odorata*) y caoba (*Swietenia macrophylla*), y alberga animales como jaguarundi (*Puma yagouaroundi*)



*cacomitli*), jabirú (*Jabiru mycteria*), boa (*Boa constrictor*), coralillo, culebra labios blancos (*Symphimus mayae*), cocodrilo (*Crocodylus porosus*), tortuga gravada (*Trachemys scripta*) y casquito (*Kinosternon integrum*); gecko (*Gonatodes albogularis*) y nauyaca (*Bothrops asper*). Posee humedales, peténes, manglares, tulares, cenotes; habitat de animales como nutria (Lutrinae), flamenco (Phoenicopteridae), pato y sapo excavador (*Rhinella marina*) y ambientes marinos con especies como cangrejo ermitaño (Paguroidea), coral (*Dendrogyra cylindricus*), camaroncillo (*Penaeus monodon*), langostino y delfín (Delphinidae), entre los más destacados. El estado cuenta con sitios de protección animal en donde son protegidas especies en peligro de extinción: mono aullador (*Alouatta caraya*), mono araña (*Ateles*), anguila y cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*) (INEGI, CONABIO).

### 11.9 Importancia ambiental

En Quintana Roo existen trece humedales de importancia internacional denominados sitios RAMSAR, los cuales se pueden observar en la Figura 8, y se enlistan en la Tabla 3. 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 (recursos biológicos, pesquerías y suministro de agua) y atributos (refugio de diversidad biológica, patrimonio cultural y usos tradicionales). Estos sitios se han venido determinando y registrando en México a partir del 4 de noviembre de 1986, derivado de



la Convención celebrada en 1971 en la ciudad de Ramsar, Irán. Cabe señalar que estos humedales pueden o no estar incluidos dentro de las denominadas áreas naturales protegidas (INEGI, 2016).

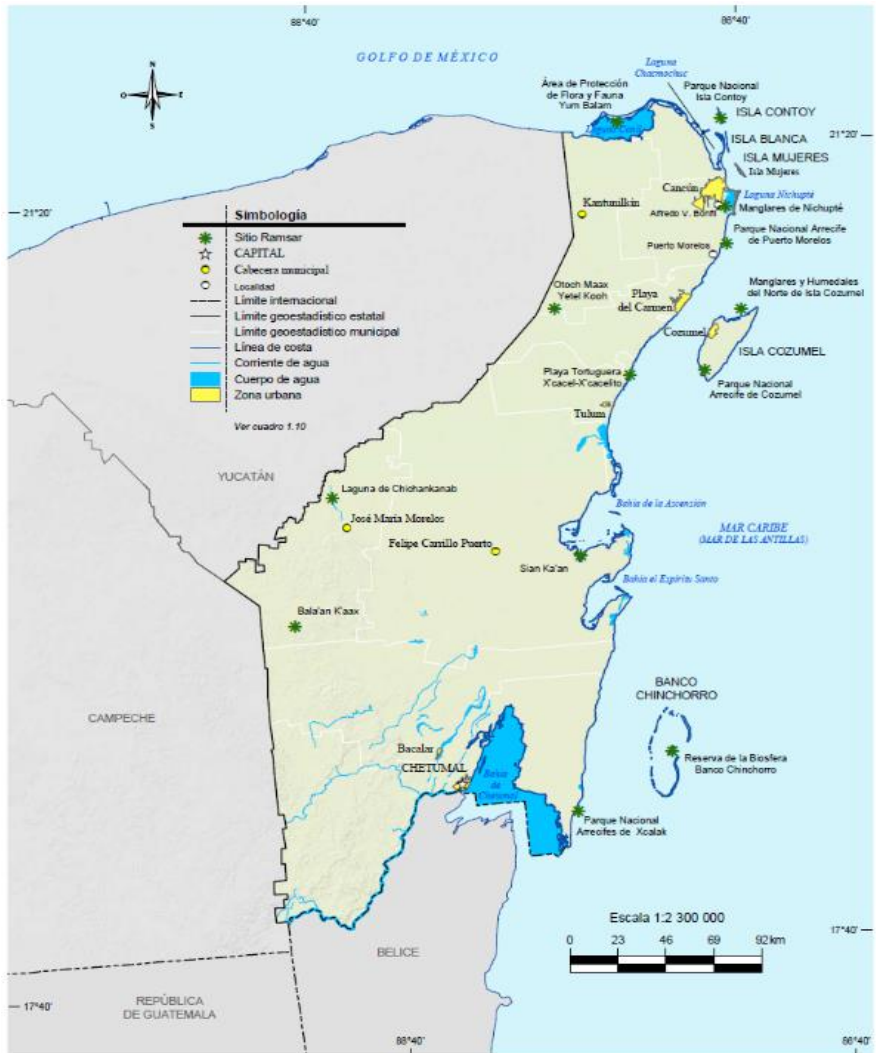


Fig. 8. Mapa de los sitios RAMSAR ubicados en el estado de Quintana Roo.





**Tabla 3.** Sitios RAMSAR del estado de Quintana Roo. Fuente (anuario estadístico y geográfico del estado de Quintana Roo 2016).

Fecha de decreto	Sitio RAMSAR	Ubicación geográfica
27-12-03	Sian Ka'an	19° 31' 35'' N 87° 39' 29'' W
27-12-03	Parque Nacional Arrecifes de Xcalak	18° 20' 58'' N 87° 47' 32'' W
02-02-04	Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos	20° 54' 17'' N 86° 49' 55'' W
02-02-04	Playa Tortuguera X'cachel-X'cachelito	20° 20' 06'' N 87° 20' 38'' W
02-02-05	Parque Nacional Arrecifes de Cozumel	20° 19' 30'' N 86° 59' 55'' W
02-02-08	Manglares de Nichupté	21° 04' 30'' N 86° 49' 10'' W
02-02-09	Manglares y Humedales del Norte de Isla Cozumel	20° 35' 45'' N 86° 47' 58'' W

El estado también cuenta con Áreas Naturales Protegidas (ANP) de competencia federal y estatal que se enlistan en la Tabla 4 y se pueden observar en las Figuras 9 y 10.



**Tabla 4. Áreas Naturales Protegidas.**

ANP					
FEDERAL			ESTATAL		
Áreas de protección de flora y fauna	Parques Nacionales	Reservas de la biosfera	Parques estatales	Reservas estatales	Zona sujeta a conservación ecológica
26-II-2008 Manglares de Nichupté	23-IV-1981 Tulum	02-II-1998 Arrecifes de Sian Ka'an c/	26-IX-1983 Laguna Chankanaab	08-IV-2008 Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal b/	20-II-1998 Santuario de la Tortuga Marina, Xcacel-Xcacelito
25-IX-2012 La porción norte y franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel	02-II-1998 Arrecife de Puerto Morelos	07-VI-2000 Sian Ka'an d/	10-XI-1995 Parque Kabah	01-IV-2011 Selvas y Humedales de Cozumel	
	07-VI-2000 Arrecifes de Cozumel a/		01-IV-2011 Parque Laguna de Bacalar		
	07-VI-2000 Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc a/		31-III-2011 Laguna Colombia a/		
	27-XI-2000 Arrecifes de Xcalak				

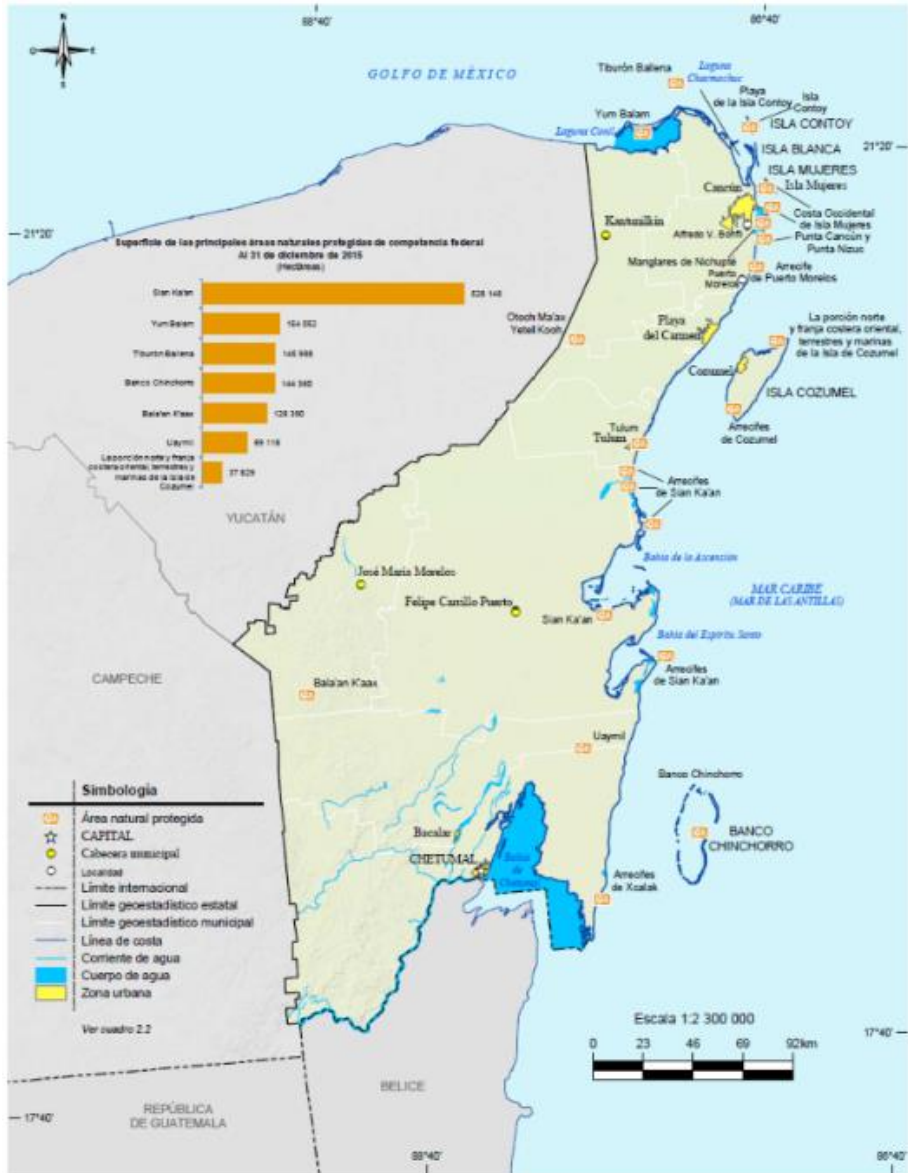


Fig. 9. Áreas Naturales Protegidas competencia federal

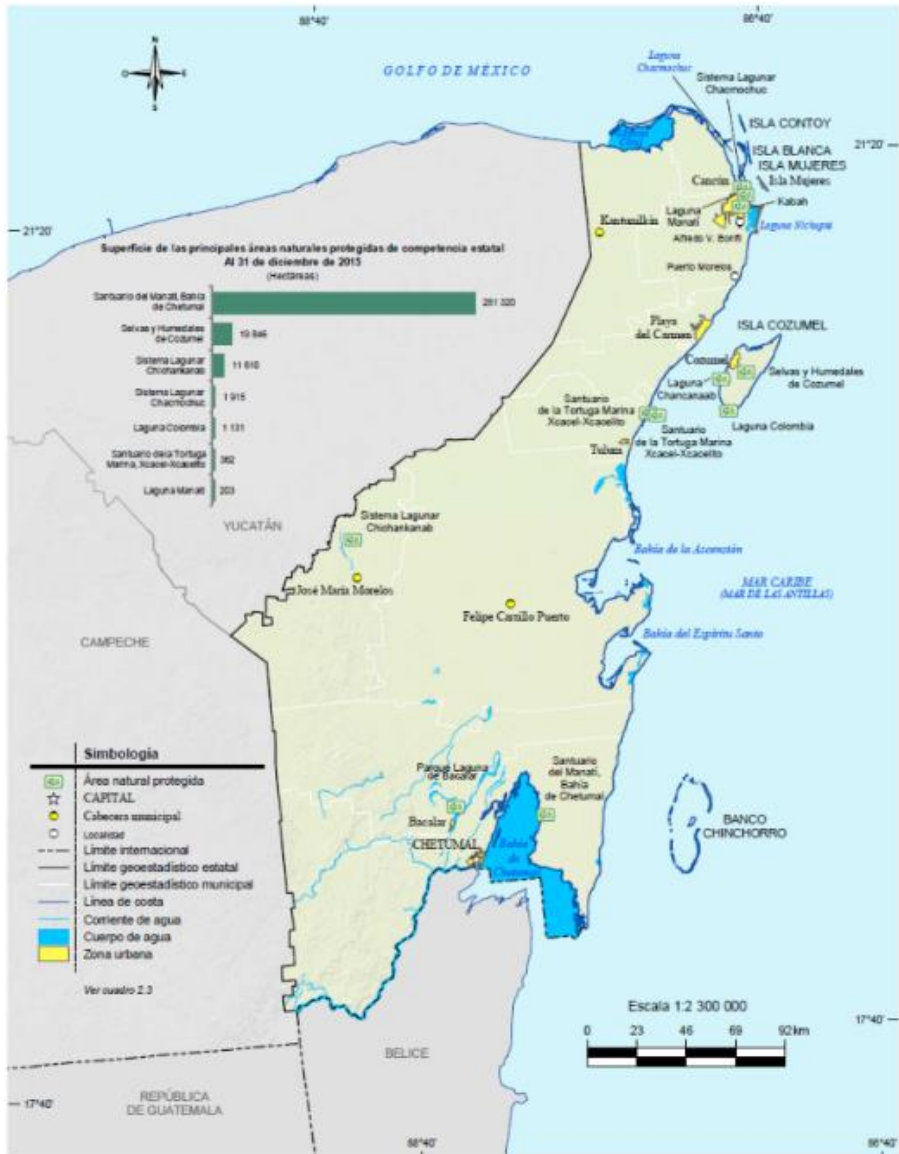


Fig. 10. Áreas Naturales protegidas Competencia estatal



## 11.10 Características demográficas

El estado está formado por diez municipios como muestra la Figura 11; consta de una superficie de 4 236 097.2 ha, con una población total de 1 501 562 habitantes. En primer lugar se encuentra el municipio de Benito Juárez con cabecera municipal en Cancún, el cual cuenta con un total de 743 626 habitantes; en segundo lugar se encuentra el municipio de Othón P. Blanco con su cabecera municipal en Chetumal y un total de 224 080 habitantes (INEGI; 2016).



Fig. 11. Mapa de división política del estado de Quintana Roo (Fuente google)



### 11.11 Zonas arqueológicas

Entre las principales atracciones turísticas del estado de Quintana Roo sin duda se encuentran sus zonas arqueológicas, siendo Tulum la zona más visitada al año, tanto por nacionales como por extranjeros. En la Tabla 5 se enlistan las zonas arqueológicas ubicadas dentro del área de estudio, así como, las visitas registradas durante julio del 2017 que es el mes en el que se reportan más visitas de acuerdo con la INAH.

**Tabla 5.** Zonas arqueológicas del área de estudio

NOMBRE	UBICACION	VISITAS
El Rey	Cancún, Q.R.	1 873
Tulum	Tulum, Q.R.	249 659
Muyil	Felipe Carrillo Puerto, Q.R.	1 583
Xelhá	Solidaridad	173
Oxtankah	Othón P. Blanco	1 106
San Gervasio	San Miguel Cozumel	15 040
San Miguelito	Cancún, Q.R.	S/R
Playa del Carmen	Playa del Carmen	S/R



**Fotografía 1.** “El Castillo” ubicado en el mirador de Tulum (Fotografía: Virginia Téllez).

### **11.12 Características económicas**

El producto interno bruto del estado en 2014, fue de 213 670 millones de pesos distribuidos entre sectores, y se ha ido incrementando en estos años, sólo que no existen registros confiables más recientes. La mayor entrada fue por parte de servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas con un total de 47 246 millones de pesos.

El comercio obtuvo un ingreso de 36 620 millones de pesos, en el rubro de Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, se obtuvo una aportación de 27 248 millones de pesos, siendo el tercero más representativo.



Quintana Roo es uno de los estados con mayor afluencia turística tanto nacional como internacional. En 2015, el número de turistas en el estado alcanzó la cifra de 13 265 882, contando con 941 establecimientos que brindan hospedaje. El municipio de Solidaridad posee 263 hoteles o establecimientos que brindan hospedaje los cuales se localizan en el área turística de playa del Carmen, 178 están distribuidos en el municipio de Benito Juárez principalmente en el corredor turístico de Cancún. En 2015 se registraron en estos dos centros turísticos 874 365 y 6 229 052 turistas en Playa del Carmen y en Cancún, respectivamente.

El estado también cuenta con 2 323 establecimientos de preparación y servicio de alimentos y bebidas con categoría turística de los cuales 837 se ubican en Benito Juárez y 577 se localizan en el municipio de Solidaridad (INEGI, 2016).

De acuerdo con el desarrollo socioeconómico, el potencial ecológico, de paisaje y fisiografía del litoral quintanarroense, la región se encuentra dividida en tres:

1. La Región Bahía de Chetumal-Bacalar-Río Hondo la cual se encuentra integrada por una parte del municipio de Othón P. Blanco que incluye la ribera del Río Hondo, La Bahía de Chetumal donde se encuentra el Santuario del Manatí y la Laguna de Bacalar con sus humedales asociados.





2. La Región Caribe Sur que es un área costera que comprende desde Xcalak por el sur hasta el límite de Felipe Carrillo Puerto con el Municipio Solidaridad. Dentro de esta región se localiza la franja de Costa Maya y porciones de mar cercanas a las ANP de flora y fauna Uayamil y Reserva de la Biosfera Sian Ka'an. En su zona marina también se encuentra la franja conocida como Costa Maya y las porciones más cercanas al mar de las áreas naturales protegidas Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Parque Nacional Banco Chinchorro y Parque Nacional Arrecifes Xcalak.
  
3. La Región Caribe Norte constituida por la franja litoral de los Municipios Solidaridad, las partes continental e insular de Cozumel, Benito Juárez, y las porciones continental e insular de Isla Mujeres y Lázaro Cárdenas, colindando con Yucatán y abarcando parte del Golfo de México. Además, se ubican las ANP de flora y fauna Yum Balam y los parques nacionales Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc"; Arrecifes de Puerto Morelos, Arrecifes de Cozumel y la porción norte de la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, y en la zona insular también se encuentra como área natural protegida el Parque Nacional Isla Contoy.



### **11.13 Residuos**

El estado produjo en 2015 un total de 609 millones de metros cúbicos de aguas residuales vertidas a los cuerpos de agua receptores (INEGI, 2016), de los cuales 513 millones son provenientes de servicios y 88 millones provienen del sector público urbano.

INEGI reporta en su anuario estadístico que, en marzo del 2015, de las 440 663 viviendas, el 68.68% entrega sus residuos al servicio público de recolección, el 20.4 % lo coloca en basurero público, el 9.74% lo quema, el 0.92% lo entierra o tira en otro lugar y el 0.26% no se especifica.

## **12. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio forma parte del proyecto institucional: “Estudio de los Microplásticos de México y sus efectos en invertebrados Marinos”

La metodología se dividió en tres etapas: 1) el trabajo de campo que fue realizado desde Chetumal hasta Punta Venado, incluyendo la Isla de Cozumel; 2) el trabajo de laboratorio que fue realizado en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Campus CU; 3) el tratamiento de datos y trabajo estadístico también realizado en el Instituto de Limnología.

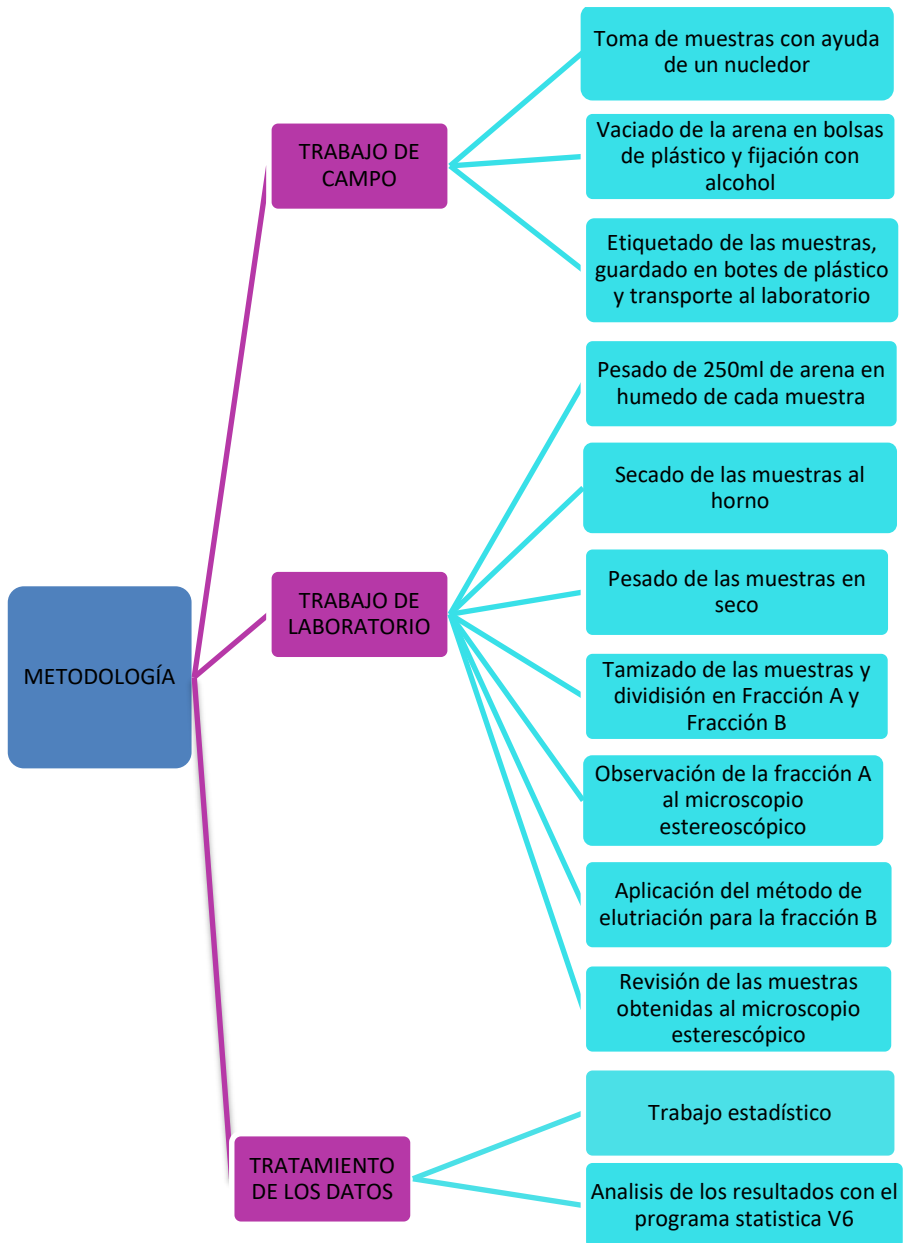


Fig. 12 Metodología



## 12.1 Trabajo de campo:

La colecta de muestras se realizó del 17 al 23 de mayo del 2016. Se eligieron 27 estaciones de muestreo entre Chetumal y Punta Venado (Figura 3), básicamente donde el acceso a la playa era posible. Una vez ubicados en el punto de muestreo se procedió a tomar los siguientes datos: fecha, hora, localidad, número de estación, coordenadas geográficas con ayuda de un GPS manual (Marca Garmin), nubosidad (estimación de cobertura), temperatura del agua, la profundidad en los puntos de zona intermareal, transparencia del agua y estimación de la fuerza del oleaje. Las muestras de arena se obtuvieron a partir de un nucleador de PVC de 11 cm de diámetro por 8 cm de longitud. En cada estación se tomaron ocho réplicas, cuatro núcleos de arena en intermareal y cuatro núcleos en submareal.

El nucleador se enrasó al tope y las muestras de arena se depositaron en bolsas de plástico etiquetadas. Para su preservación se fijaron con alcohol al 70% y se sellaron herméticamente para su posterior análisis en el laboratorio. Las bolsas fueron debidamente etiquetadas, con la siguiente nomenclatura “S” para zona sur y “C” para zona centro, Número de estación, “I” para muestra tomada en zona Intermareal y “S” para zona Submareal, numerando del 1-4 según el número de réplica. Por ejemplo S02I1(estación 2 del sur, zona intermareal réplica 1). El traslado de todas las muestras se realizó en botes de plástico sellados.



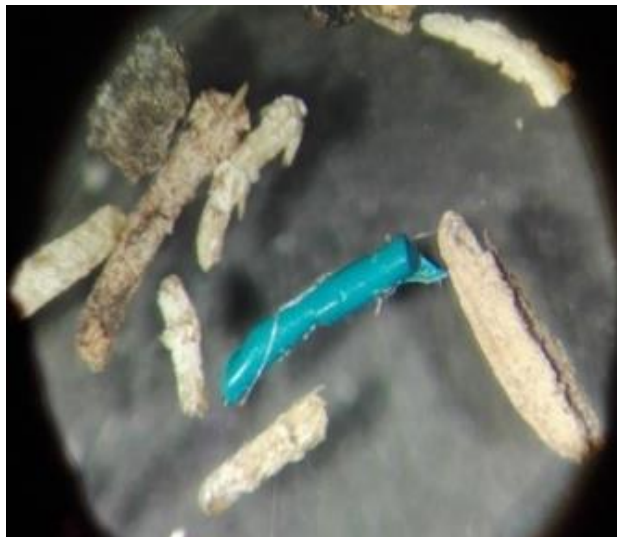
## 12.2 Trabajo de laboratorio:

Una vez en el laboratorio las muestras fueron extraídas de las bolsas con alcohol en donde estaban guardadas y se procedió al tratamiento:

1. Se tomaron 250 ml de muestra, medidos con un vaso de precipitado.
2. Se pesaron en húmedo y posteriormente se colocaron en cajas de aluminio.
3. Se metieron al horno de secado hasta que estuvieron completamente secas.
4. Las muestras fueron sacadas del horno y pesadas nuevamente en seco.
5. Se tamizaron, a través de dos tamices con luz de malla de 5 mm y 0.5 mm. Se tamizó primero en la malla de 5 mm y los sedimentos se colectaron en una base de tamiz, los sedimentos que quedaron retenidos en el tamiz fueron desechados debido a que corresponde a la categoría de mesoplásticos a macroplásticos.
6. Posteriormente se utilizó el tamiz de 0.5mm y el sedimento fue colectado en una base de tamiz. Para este trabajo todo lo que quedo retenido en la malla se nombró Fracción A de la muestra y todo lo que se retuvo en la base se nombró Fracción B que corresponde a las partículas que miden menos de 0.5 mm de diámetro o que como las fibras quedan retenidas por su longitud.



7. Posteriormente se depositó el sedimento en bolsas de papel, que previamente fueron pesadas y marcadas con el número de estación.
8. Se pesaron las muestras correspondientes a la fracción A y a la fracción B.
9. Una vez tamizadas las muestras se procedió a revisar las muestras de la fracción A al microscopio estereoscópico (Fotografía 2). Las partículas de plástico encontradas fueron clasificadas, contabilizadas y depositadas en frascos Eppendorf de 1.5 ml. Las fibras encontradas fueron contabilizadas y dependiendo de su tamaño fueron depositadas en frascos Eppendorf de 1.5 ml. o simplemente contabilizadas.



**Fotografía 2.** Fragmento de la fracción A visto al microscopio (resolución 4X).



10. Se contabilizaron los fragmentos de vidrio (Fotografía 3) encontrados en las muestras, que aunque no son MP, se consideran como parte de la contaminación que llega a la zona marina.



**Fotografía 3.** Fragmento de vidrio, Muestra C24S3A (resolución de 3.2X)

La fracción B fue separada por el método de elutriación. Para esto, se construyó un aparato modificando el modelo del aparato descrito por Wessel et al. (2016).

### **12.3 Método de elutriación**

1. Se coloca el aparato en la tina y se llena la tina hasta el tope.
2. Se abre la llave al máximo y sin filtros se pone a funcionar la bomba para limpiar el aparato, se deja pasar el agua hasta que se acaba el agua de la tina, de ser necesario se vuelve a llenar la tina y se repite la operación.
3. Se desecha el agua que quedó en la tina y se vuelve a llenar con agua limpia.

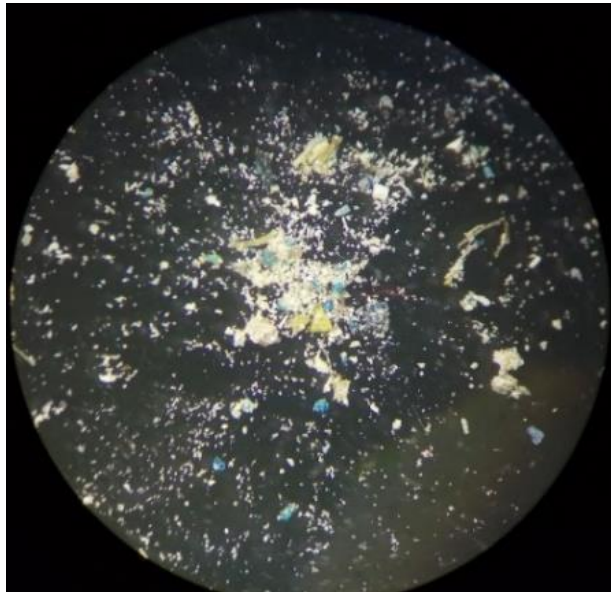


4. Se deposita la arena en la parte superior del aparato.
5. Se colocan las mangueras de generación de burbujas por la parte superior del aparato.
6. Se colocan los filtros de papel en la salida de recolección de MP.
7. Se enciende la bomba y se regula la salida del agua con la llave de paso.
8. Se coloca un recipiente en la salida de flujo del aparato y se recircula el agua hacia el agua de la tina para mantener el agua en circulación y evitar el uso excesivo de agua.
9. Se deja funcionar el aparato durante treinta minutos.
10. Al trascurrir los treinta minutos se revisa que ya no tengan agua los filtros y se procede a retirarlos con mucho cuidado para evitar pérdida de muestras.
11. Se meten los filtros al horno de secado.
12. Se desarma nuevamente el aparato y se recupera la arena sobrante con ayuda de un filtro y se coloca en el horno de secado.
13. Se enjuaga el aparato y se repiten los pasos 1-12 para trabajar con una nueva muestra.
14. Una vez que los filtros salen del horno de secado se colocan con cuidado en bolsas de plástico para su posterior revisión al microscopio.
15. Una vez obtenidos todos los filtros se revisaron individualmente en el microscopio (Fotografía 4).
16. Se contabilizaron y se clasificaron todos los MP encontrados en esta fracción.





17. Se guardaron los filtros en bolsas de plástico, debidamente etiquetadas.



**Fotografía 4.** Microplásticos de la fracción B observados al microscopio estereoscópico (resolución 4X).

## 12.4 Tratamiento de los datos

Los microplásticos encontrados en las muestras se clasificaron en las siguientes categorías, según su morfología y origen:

- 1) fragmentos
- 2) pellets ( o esferas)
- 3) fibras
- 4) microfibras
- 5) bolitas de fibras



- 6) films ( o películas)
- 7) espumas
- 8) fibras de vidrio

## 12.5 Trabajo estadístico

Con los datos obtenidos (abundancia y clasificación de MP) se hizo un análisis estadístico con el programa Statistica™ V6, para evaluar las muestras y cumplir con el objetivo del estudio. Se obtuvo el promedio de MP y fibras por muestra, en cantidad unitaria, peso y porcentaje.

Se realizó un análisis MANOVA para establecer si existe una diferencia significativa entre la abundancia de MP en los sedimentos de la zona intermareal y la zona submareal. Como análisis post-hoc se realizó una prueba de Tukey HSD ( $\alpha = 0.05$ ).

Los resultados fueron extrapolados al equivalente de un litro de sedimento, MP/L (microplásticos/litro), con base en la abundancia de sedimento (250 ml) antes de tamizar (es decir, antes de dividir en fracciones A y B).

Los resultados son la suma de las ocho réplicas de cada estación extrapoladas a microplásticos/litro. Excepto para el análisis de intermareal-submareal, en ese caso particular se sumaron únicamente las cuatro réplicas que correspondían a cada zona.

Para la clasificación de MP de la categoría de fibras, se nombraron como “fibras” aquellas que presentaron longitudes mayores a los 5.0 mm y como “microfibras” a las de longitud menor o igual a 5.0 mm.



Para el análisis comparativo de la relación arena-microplásticos la estimación MP/Kg (microplásticos/kilogramo) se extrapolo considerando el peso en seco de la muestra obtenida y la abundancia de MP obtenidos. No se consideró el análisis en estimación de MP/Kg como método en esta investigación, ya que al dividir las muestras en fracción A y Fracción B dependía de la cantidad de arena presente en cada fracción, por lo cual las proporciones de arena- microplásticos ocasionaron puntos máximos anormales como fue el caso de Tulum Fracción A, normalizándose en la fracción B.

Se agruparon los MP por color. Como parte del color blanco también se incluyó a los MP transparentes como los fragmentos de bolsas plásticas, aros de “Six Pack” o fibras transparentes. Así mismo dentro de cada color se incluyeron las fibras de color encontradas.

En algunas Tablas se marcó con resaltador verde limón las cifras más altas y con resaltador verde claro las cifras más bajas para hacer énfasis comparativo.

El término film en inglés, se utiliza para representar fragmentos tipo película. De la misma forma la palabra pellets en inglés se utiliza para representar fragmentos tipo esferas.

El método de elutriación se refiere a la separación por densidad, de partículas inmersas en un medio acuoso.



## 13. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 13.1 Análisis de los datos de los microplásticos obtenidos en la fracción A (5.0 mm hasta 0.5 mm).

### 13.2 Microplásticos (todas las categorías)

La Tabla 6 muestra todos los resultados de la fracción A obtenidos en las 27 estaciones de muestreo, incluyendo fragmentos, fibras, pellets (esferas), espumas, films (películas), microfibras, bolitas de fibras y fibras de vidrio.

**Tabla 6.** Microplásticos de las 27 estaciones de estudio de mayor a menor MP/L

Estación	Ubicación	Fragmentos	Pellets	Espumas	Films	Fibras, Microfibras,	Fibras de vidrio	Total de MP/L
C27	Cozumel Centro	1616	28	100	252	632	100	2728
S11	Pulticub	1280	0	0	0	884	0	2164
C24	Cozumel E	24	0	0	24	1092	16	1156
S10	Majahual	196	0	4	4	736	0	940
S12	Uvero	36	0	0	4	896	0	936
C26	Cozumel E	20	28	0	0	840	0	888
C20	Boca Paila E	52	0	4	4	672	0	732
S03	Chetumal	40	0	8	48	620	0	716
S09	Xcalac	52	0	0	0	636	0	688

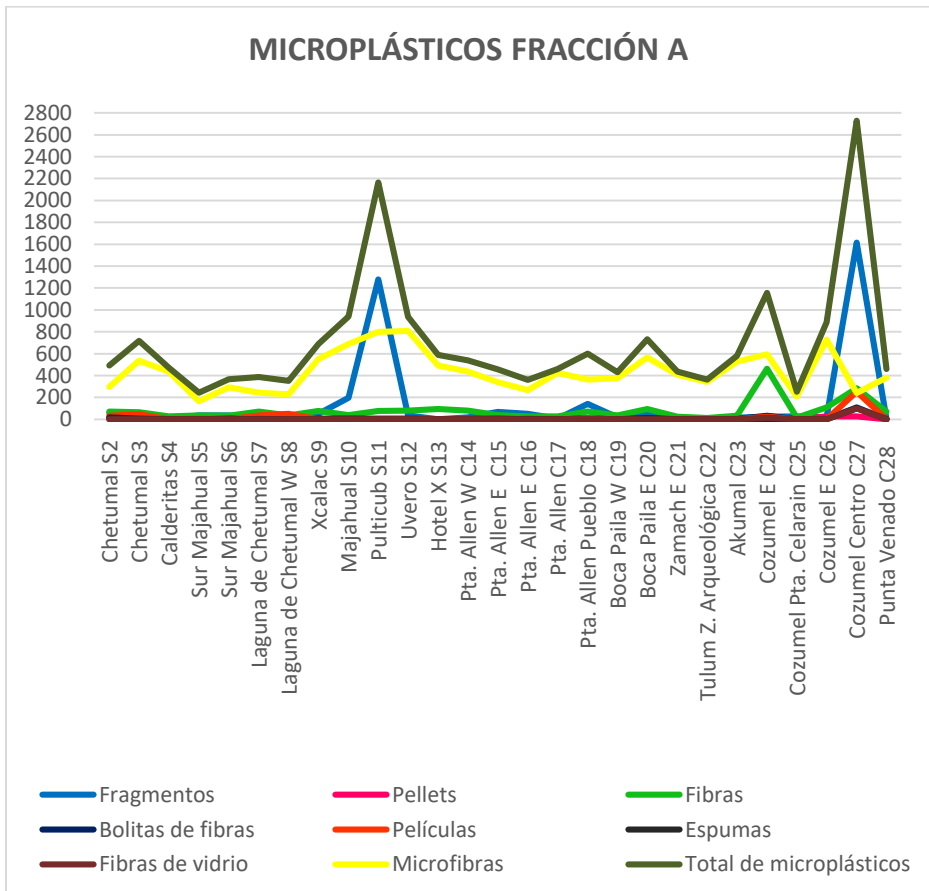


C18	Punta Allen Pueblo	140	0	8	0	444	8	600
S13	Hotel X	0	0	0	0	588	0	588
C23	Akumal	16	0	0	0	564	0	580
C14	Punta Allen W	20	0	0	0	520	0	540
S04	Calderitas	8	0	0	0	464	0	472
S02	Chetumal	60	0	20	32	380	0	492
C17	Punta Allen	8	0	0	0	452	0	460
C28	Punta Venado	4	0	4	0	452	0	460
C15	Punta Allen E	68	0	0	0	388	0	456
C21	Zamach E	4	0	0	0	432	0	436
C19	Boca Paila W	20	0	0	0	412	0	432
S07	Laguna de Chetumal	16	0	4	36	332	0	388
S06	Sur Majahual	36	0	0	0	332	0	368
C22	Tulum Z. Arqueológica	8	0	0	0	356	0	364
C16	Punta Allen E	52	0	4	8	296	0	360
S08	Laguna de Chetumal W	28	0	0	52	272	0	352
C25	Cozumel Punta Celarain	28	0	0	0	224	0	252
S05	Sur Majahual	36	0	0	8	200	0	244

La Figura 13 nos muestra todos los MP de la fracción A, de las 27 estaciones de muestreo. En la estación C27 se encontraron MP de todos los tipos que abarcó el estudio. Fue la única estación que incluyó pellets (esferas), fibras de vidrio, espumas y films (películas), además de fragmentos, fibras y microfibras, dando como resultado la zona con mayor abundancia de MP de este estudio considerando únicamente la fracción A. Se observa que sobresalen las microfibras en todas de las



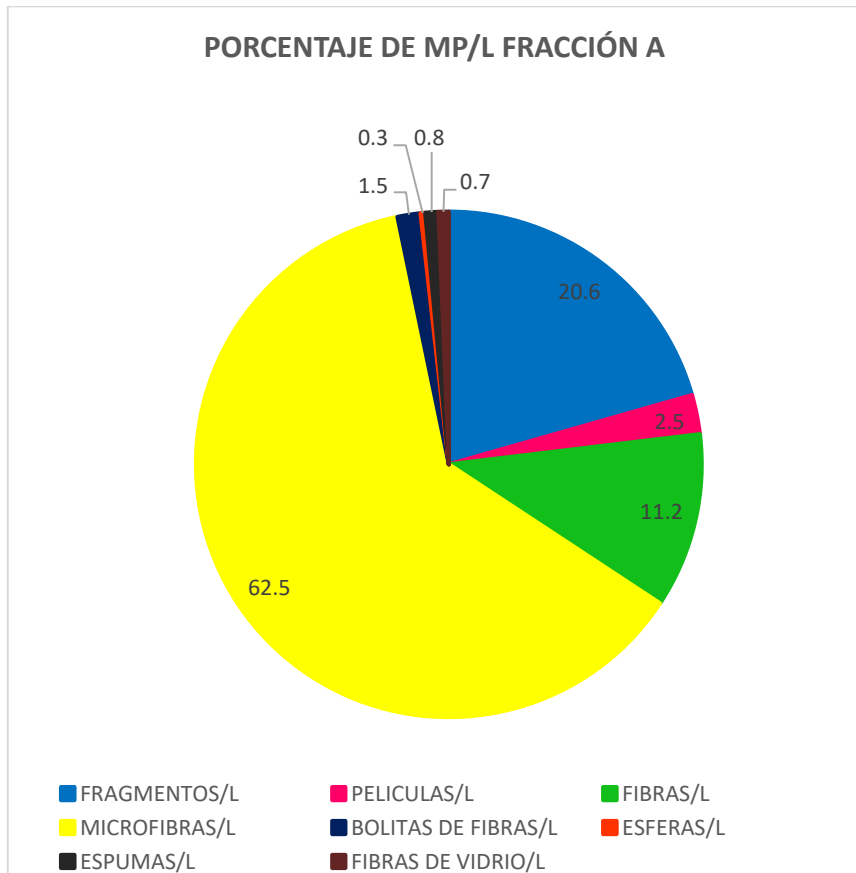
estaciones de muestreo. La suma de todos los MP de esta fracción nos da un total de 18 792 MP/L, de las cuales 14 116 (75%) son Fibras/L (microfibras, fibras y bolitas de fibras). Gómez Hernández 2016, reportó una mayor abundancia en fibras en sus resultados, encontrando 111 MP por cada 2Kg de arena, de los cuales 43 eran fibras, 33 pellets, 29 fragmentos y 3 de formas no definidas.



**Fig. 13.** Variación de la abundancia de los microplásticos de la fracción A



La Figura 14 muestra el porcentaje de cada uno de los tipos de plástico en este estudio de la fracción A. El porcentaje de las microfibras representa casi dos tercios del total de los microplásticos encontrados en esta fracción, la suma de las microfibras, las fibras y las bolitas de fibras representan el 75.2%, por lo que las fibras pueden ser un indicador importante en esta investigación.



**Fig. 14.** Porcentaje de MP/L



### 13.3 Comparación entre zona intermareal y submareal

En la Tabla 7 se muestran las estaciones con el mayor número de MP totales, incluyendo fragmentos, pellets, fibras, microfibras, bolitas de fibras, films, espumas y fibras de vidrio, los cuales se enlistaron por estación diferenciando intermareal y submareal. En la siguiente tabla (Tabla 7) no se consideraron las estaciones S02, S03, S04 ya que en estas estaciones no se pudo obtener muestra de la zona submareal. Se aprecia la diferencia entre el total de partículas en el intermareal y el submareal. El submareal representa el 59% y el intermareal el 41%. Cabe mencionar que en el número de partículas de las 27 estaciones de muestreo existe una diferencia de 3 072 MP/L entre el total de la zona intermareal y la zona submareal. Del tratamiento estadístico se demuestra que hay diferencia significativa entre estas zonas (Fig. 39, Anexo).

**Tabla 7.** Estaciones con mayor abundancia de MP en Intermareal (I) y Submareal(S).

MUESTRA	ABUNDANCIA DE MP/L		PORCENTAJE DE ABUNDANCIA	
	I	S	I	S
C27	320	2 408	1.9	14.0
S11	200	1 964	1.7	11.5
S12	212	724	1.2	4.2
S10	724	216	4.2	1.3
S09	536	136	3.1	0.9





---

C24	620	536	3.6	3.1
C26	360	528	2.1	3.0
TOTAL	2 972	6 512	41	59

### 13.4 Relación arena- microplásticos

La estación con mayor abundancia de partículas fue la C27 ubicada en el Centro de Cozumel con 2 728 MP/L que equivalen al 0.21% con relación al número de granos de arena. Las estaciones que presentaron los más altos porcentajes de la relación microplástico-arena fueron: la estación C22 ubicada en zona arqueológica de Tulum con 0.24% de MP, en la cual por cada 410 granos de arena hay un MP. En la Estación C27, ubicada en el Centro de Cozumel se obtuvo 0.21% de MP, es decir que, por cada 473 granos de arena hay un fragmento de plástico. En la estación C17, ubicada en Punta Allen con 0.20%, por cada 488 granos de arena hay un MP. En la estación C14, ubicada al Oeste de Punta Allen, se obtuvo 0.12% de MP, es decir que, por cada 808 granos de arena existe un MP. En la estación C19, ubicada al Oeste de Boca Paila, se obtuvo 0.1 % de MP, es decir que, por cada 962 granos de arena hay un MP. Siendo estas las cinco estaciones con mayor porcentaje de arena-microplásticos.

Cada estación de muestreo presenta diferentes grados de tamaño de grano en su tipo de sedimento, variando de rocas pequeñas tipo grava hasta zonas de grano muy fino. Por esta razón, la relación arena-



microplástico puede variar considerablemente dependiendo del tipo de grosor de los granos de arena o tipo de suelo.

En el mismo análisis de relación arena-MP se contabilizó la abundancia de granos en un kilogramo de arena para poder realizar la relación con la abundancia de MP. Las estaciones con mayor abundancia de MP por cada kilogramo (MP/Kg) de arena fueron: la estación C22 ubicada en zona arqueológica de Tulum con 7 539 fragmentos por cada kilogramo de arena, la estación C17 ubicada en Punta. Allen con 2 123 MP/Kg, la estación C19 ubicada en Boca Paila con 1 788 MP/Kg y la estación C27 ubicada en centro de Cozumel con 1 471 MP/Kg. Como ya se comentó, el tamaño de grano de la arena o tipo de suelo del lugar, es diferente para cada estación. Sin embargo, se considera que 7 539 MP por cada kilogramo de arena en la estación C22 (Tulum) es un número considerablemente alto, en especial si consideramos que es una de las estaciones con menor abundancia de MP.

Esto se puede explicar porque en esta estación la mayor parte de la arena paso el tamiz de 0.5 mm quedando solamente 12 g de arena en comparación de un promedio 456g que se obtuvo en las demás estaciones. Por ello la extrapolación de los 91 MP encontrados en esta fracción a un kilo da un número muy alto. Más adelante se puede constatar que en la fracción B se normaliza dicha proporción. Se realizó en 2018, un recorrido por la zona arqueológica y era notoria la cantidad de fragmentos macropásticos en el área. En la Tabla 8, se muestran los resultados de las 27 estaciones de estudio, los MP encontrados por



estación, la extrapolación de microplásticos/litro (MP/L), así como la extrapolación de microplásticos/kilogramo (MP/Kg).

**Tabla 8.** Resultados de las 27 estaciones, y estimaciones MP/L y MP/Kg

Estación	Ubicación	Total de MP	Total de MP/L	Total de MP/Kg
C27	Cozumel Centro	682	2 728	1 472
S11	Pulticub	541	2 164	482
C24	Cozumel E	289	1 156	317
S10	Majahual	235	940	1 156
S12	Uvero	234	936	695
C26	Cozumel E	222	888	136
C20	Boca Paila E	183	732	1 015
S03	Chetumal	179	716	198
S09	Xcalac	172	688	509
C18	Punta Allen Pueblo	150	600	448
S13	Hotel X	147	588	185
C23	Akumal	145	580	700
C14	Punta Allen W	135	540	485
S04	Calderitas	118	472	111
S02	Chetumal	123	492	407
C17	Punta Allen	115	460	2 123
C28	Punta Venado	115	460	129
C15	Punta Allen E	114	456	1 195
C21	Zamach E	109	436	627
C19	Boca Paila W	108	432	1 788
S07	Laguna de Chetumal	97	388	154
S06	Sur Majahual	92	368	497
C22	Tulum Z. Arqueológica	91	364	7 539
C16	Punta Allen E	90	360	868
S08	Laguna de Chetumal W	88	352	509
C25	Cozumel Punta Celarain	63	252	77
S05	Sur Majahual	61	244	1 283

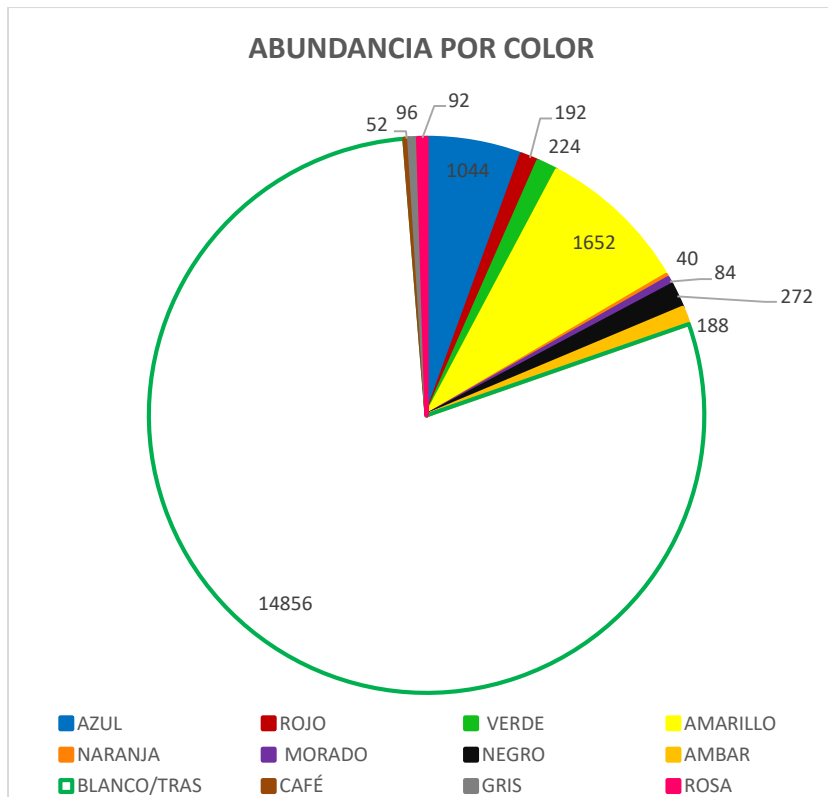


### 13.5 Análisis de los microplásticos por color

Con la finalidad de clasificar mejor los MP presentes en las estaciones de muestreo, se hizo un conteo de MP por color, en donde como se muestra en la Figura 15, el color más abundante en la fracción A fue el blanco, con 14 840 MP/L de un total de 18 792 MP/L (78.9 % del total) de los cuales la mayoría eran fibras blancas o transparentes, fragmentos de bolsas o de aros de “Six Pack”; también se encontraron 1 652 MP/L de color amarillo (8.7% de total) y 1 044 MP/L de color azul (5.5% del total), de los cuales un pequeño porcentaje fueron fibras azules.

El color blanco/trasparente, en la gráfica aparece con línea azul petróleo para una mayor claridad. Los MP menos abundantes fueron el naranja con 40 MP/L y el café con 52 MP/L.

La importancia de conocer el color de los MP presentes nos brinda información para poder inferir sus fuentes de origen, así como el riesgo de ser consumidos por aves o peces, Sánchez Hernández (2018) informo que los colores principales presentes en los estómagos de los peces fueron negro, azul y rojo.



**Fig. 15.** Abundancia de Microplásticos de acuerdo a su color

### 13.6 Fragmentos

Como se observa en la Figura 16, en la estación de muestreo en que se obtuvo el mayor número de fragmentos de la fracción A, fue en el centro de Cozumel (Mapa Figura 3), específicamente en la estación C27, con 1 616 MP/L fragmentos de diversos colores. En la estación S11 ubicada en Pulticub también se obtuvo mayor abundancia de fragmentos.

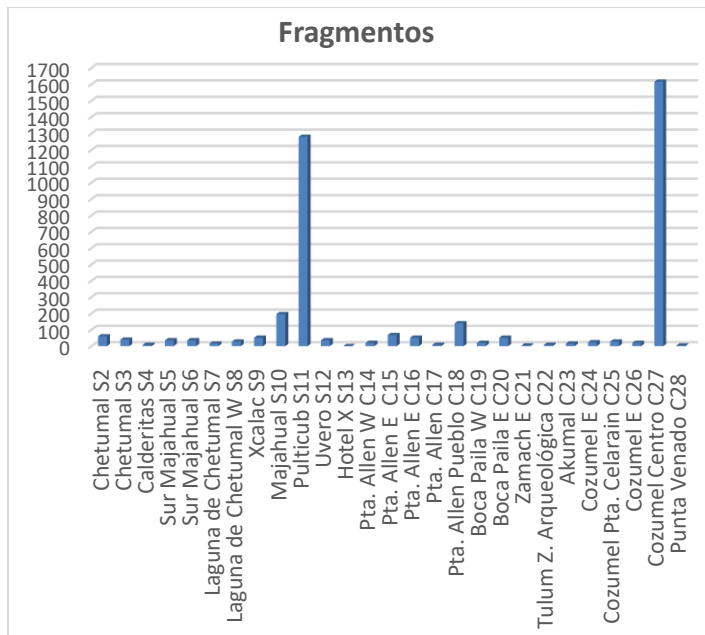


Fig. 16. Fragmentos de la fracción A

La Tabla 9 nos muestra las cinco estaciones con la mayor abundancia de fragmentos de la fracción A. Cabe mencionar que en la estación S11 ubicada en Pulticub de los 1 280 MP/L encontrados, 1 244 MP/L fueron filamentos blancos encerados iguales, con tamaño y longitud similar, que no eran fibras. Sin embargo, en la estación C27 ubicada en el Centro de Cozumel, en cada una de sus réplicas, los fragmentos encontrados corresponden a MP de diferentes colores, formas, peso y longitud. Por esto, se considera que en el caso de la estación S11 pudiera ser coincidencia que se haya tomado una muestra justo en el área donde se encontraba este desecho, ya que de los 1 280 MP/L fragmentos encontrados en la estación, 1 244 MP/L fueron localizados en una sola réplica de las ocho tomadas en el lugar. La única estación



en la que no se encontraron fragmentos fue en la S13 ubicada frente a un pequeño Hotel; en las estaciones C21 y C28 ubicadas en Zamach y Punta Venado respectivamente, se encontraron 4 MP/L y en las estaciones S04, C17 y C22 ubicadas en Calderitas, Punta Allen y zona arqueológica de Tulum respectivamente, se obtuvieron 8 MP/L. La estación C27 que fue en la que se encontró el mayor número de fragmentos, corresponde a un lugar turístico y de amplia afluencia de personas, además de ser un lugar de arribo constante de cruceros tanto nacionales como internacionales.

**Tabla 9.** Estaciones con mayor abundancia de fragmentos/L.

ESTACIÓN	UBICACIÓN	FRAGMENTOS /LITRO
C27	CENTRO DE COZUMEL	1 616
S11	PULTICUB	1 280
S10	MAJAHUAL	196
C18	PUEBLO DE PUNTA ALLEN	140
C15	ESTE DE PUNTA ALLEN	68

### 13.7 Pellets o Microesferas

En la Figura 17 se observa que solamente en dos estaciones (C26 y C27 ubicadas en el este y centro de Cozumel) de muestreo se encontraron pellets. Los pellets o microesferas son microplásticos primarios, provienen de productos de higiene personal y cosméticos o directamente de la industria, por lo que pueden llegar al medio ambiente



por pérdida directa durante su traslado. Por ello, se considera que la mayoría de los productos que se utilizan en la zona de estudio, no contienen microesferas y al no ser un área industrial, no existe aporte al ambiente de estos MP por accidente de traslado.

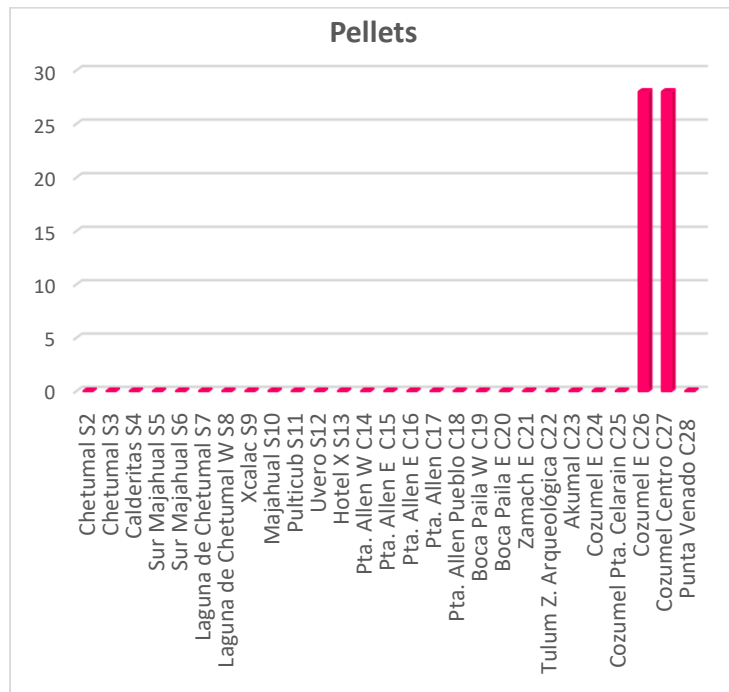


Fig. 17. Pellets de la fracción A

### 13.8 Fibras

La Figura 18 nos muestra la estación C24 con el mayor número de fibras superiores a 5.0 mm, localizada al Este de Cozumel con 464 fibras/L. También en Cozumel se encuentran las estaciones C27 y C26 ubicadas en el Centro y en el Este, con 284 fibras/L y 108 fibras/L





respectivamente, siendo las tres estaciones con el mayor número de fibras dentro de la fracción A. Cozumel es un área donde el turismo es muy intenso y además es una terminal de buques de crucero muy activa, con varios arribos de grandes buques al día. En 2017, tuvo un ingreso de 16 millones 911 mil 163 visitantes y una ocupación hotelera del 79.9% lo que representa cerca de 11 millones 500 mil huéspedes para el 2017 (SEDETUR, 2017).

Cozumel es una isla en la cual existen lineamientos legales (Programa Institucional de Infraestructura Hidráulica y Sanitaria) que establecen la forma de limpieza y recolección de residuos. Existen también siete celdas de relleno sanitario que están a cargo de la empresa Promotora Ambiental de la Laguna S.A. (PASA), y una planta de tratamiento de aguas residuales, ubicada en San Miguelito y que fue abierta en marzo del 2013. Actualmente existe un programa de ampliación de esta planta, que recibe el 97 % del agua residual. Esto indicaría que existe un adecuado manejo de residuos sólidos y de aguas residuales.

Sin embargo, los periódicos locales aseguran lo contrario: Medina (2019) informo para el periódico el Quadratin, que a pesar de contar con recolección de basura, se está formando un tiradero a cielo abierto en la colonia San Gervasio, debido al mal servicio de esta compañía. Así mismo, en 2018 la subdirectora de Ecología de Cozumel Sandra Dutton señaló en entrevista que uno de los principales problemas ambientales en Cozumel se debe a sus tiraderos en medio de la mancha urbana. (Canal 10, 2018).



La estación en la que se encontró el menor número de fibras fue en la C22 ubicada en la zona arqueológica de Tulum en la que se obtuvieron 12 fibras/L, la estación C25 ubicada en Punta Celarain, Cozumel, en la que se encontraron 16 fibras/L y la estación C21 ubicada en Zamach del lado este del camino, hacia el mar, en la que se obtuvieron 24 fibras/L. Estas tres últimas son estaciones donde no existen descargas residuales urbanas ya que no hay casas ni hoteles cercanos.

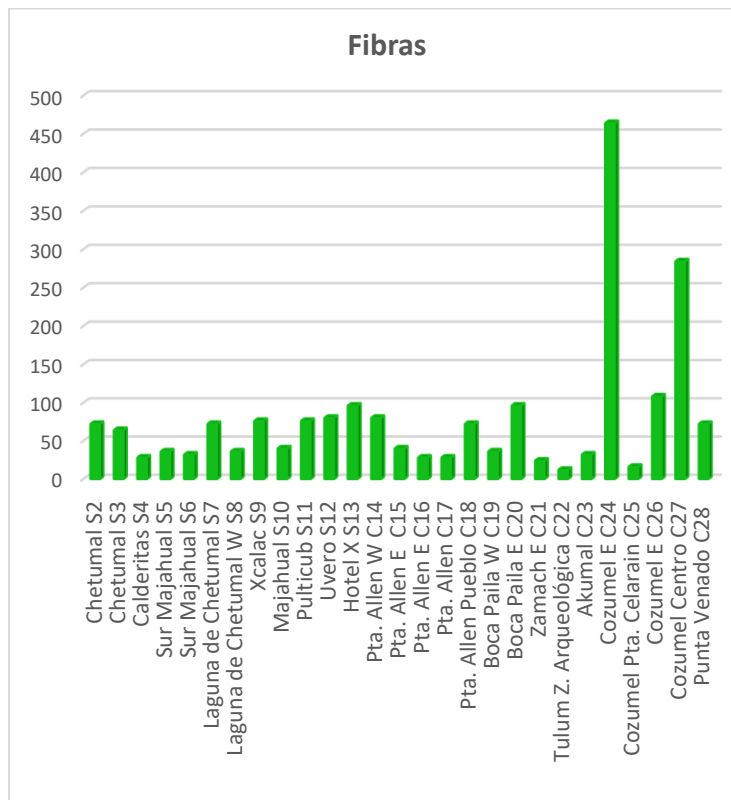


Fig. 18. Fibras de la fracción A



### 13.9 Microfibras

La Figura 19 nos muestra las microfibras (longitud inferior a 0.5 mm) encontradas en las diferentes estaciones de muestreo. El mayor número de microfibras se localizó en las estaciones S12 y S11, ubicadas en Uvero y Pulticub en donde se encontraron 808 microfibras/L, 800 microfibras/L respectivamente, en la estación C26 ubicada al este de Cozumel, se encontraron 728 microfibras/L y en la estación S10 localizada en Majahual se obtuvieron 688 microfibras/L, como se observa en la Figura 19 la abundancia de microfibras es notoria desde Xcalac hasta Uvero, siendo este último, el lugar con mayor abundancia de microfibras en la fracción A. Se trata de lugares con bajo nivel de turismo, comparados con los demás sitios de muestreo.

Las estaciones en donde se encontró el menor número de microfibras dentro de esta fracción fueron la estación S05 ubicada al sur de Majahual en la que se obtuvieron 164 microfibras/L, la estación C25 ubicada en Punta Celarain en la que se encontraron 208 microfibras/L, la estación S08 ubicada en laguna de Chetumal W en la que se obtuvieron 228 microfibras/L. Ambos casos no se pueden explicar con los resultados presentes y el estado del conocimiento actual, el significado de estas concentraciones de microfibras.

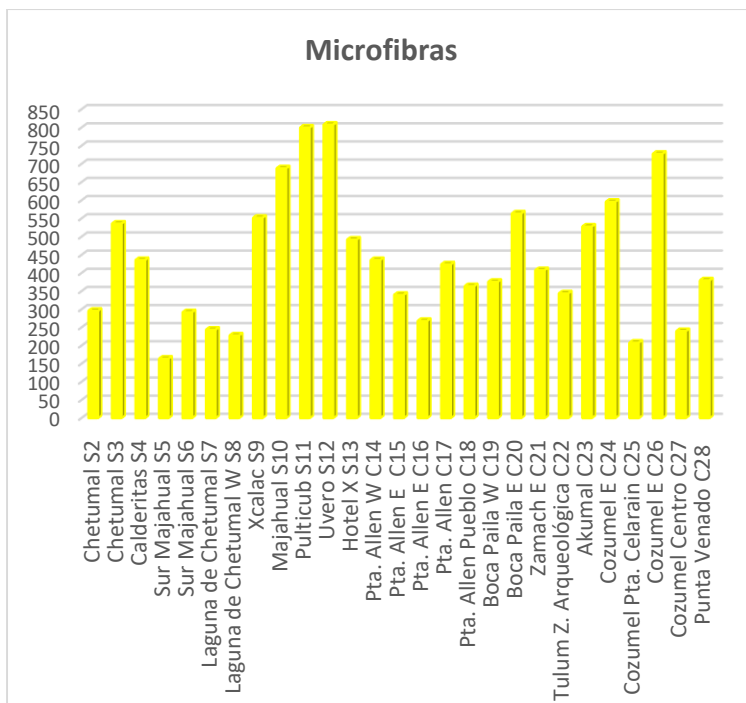
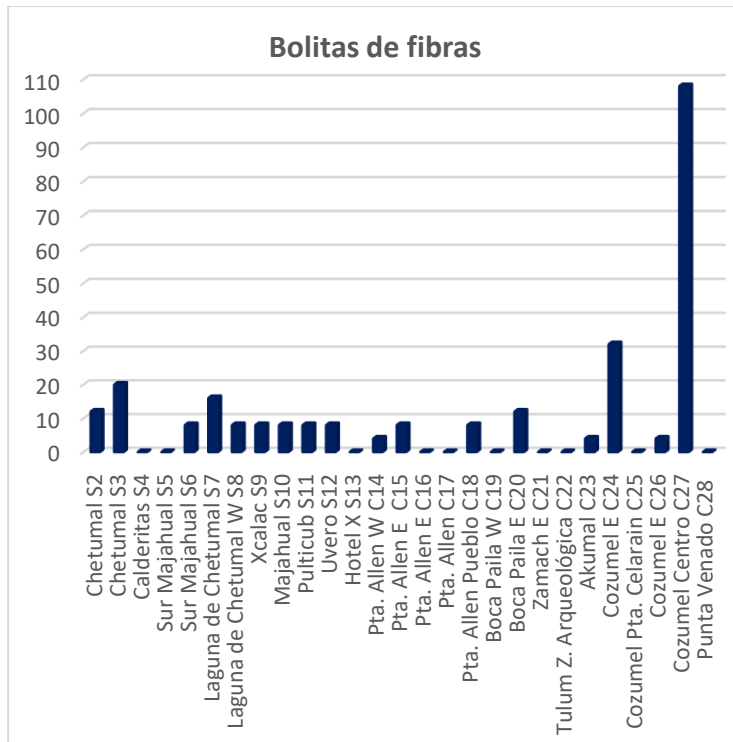


Fig. 19. Microfibras de la fracción A

### 13.10 Bolitas de fibras

La estación con mayor abundancia de bolitas de fibras fue la C27 ubicada en el centro de Cozumel con 108 bolitas de fibras /L, como se ve en la Figura 20, en la estación C24 ubicada al este de Cozumel, se encontraron 32 Bolitas de fibras /L, en las demás estaciones se encontraron en un rango entre 4-20 bolitas de fibras /L. Las fibras fueron contabilizadas como bolitas de fibras ya que se encontraban agrupadas y era imposible separarlas sin romperlas para poderlas contar (Ej. Fotografía 5). En 10 estaciones no se encontraron bolitas de fibras..



**Fig. 20** Bolitas de fibras de la fracción A



**Fotografía 5.** Bolita de fibras vista al microscopio (4X de resolución)



### **13.11 Películas o Films**

La Figura 21 muestra las películas encontradas en las estaciones de estudio, la mayoría de las películas encontradas son de tipo película de pintura.

Se observa que la estación C27 ubicada al centro de Cozumel con 252 películas/L, es la que tuvo más partículas, así como la estación S08 ubicada en la Laguna de Chetumal (52 películas/L) y la estación S03 ubicada en Chetumal (48 películas/L), que son zonas turísticas y muy urbanizadas en las cuales continuamente hay tiraderos de basura directos a la laguna y embarcaciones por lo que se considera, que podrían venir en parte de la pintura que se cae por el desgaste de la pintura de las embarcaciones.

En general, se registraron pocas estaciones en las que se encontraron films o películas, que como ya se explicó podrían provenir de desgaste de la pintura de embarcaciones.

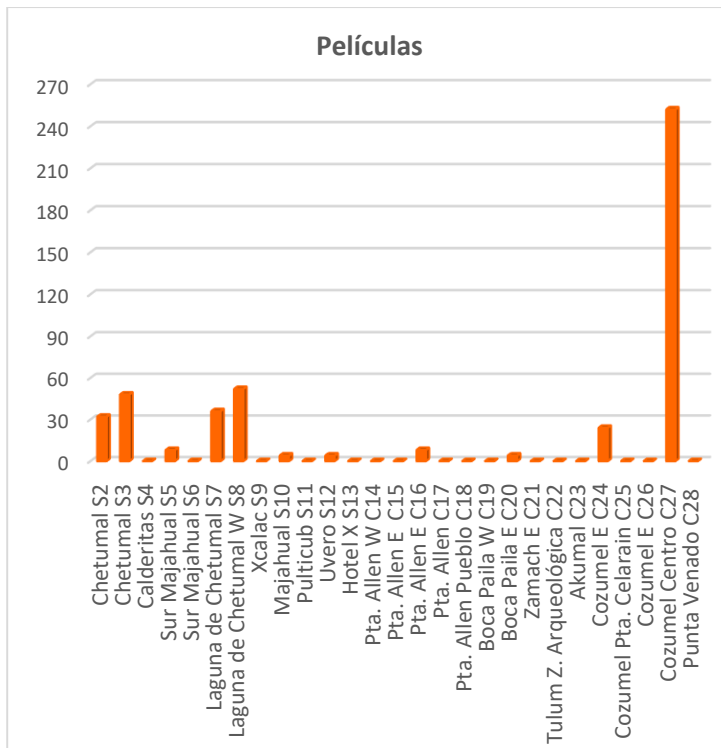


Fig. 21. Películas de la fracción A

### 13.12 Espumas

La Figura 22 muestra las espumas encontradas en la zona de estudio, sólo 9 estaciones del estudio se reportó la presencia de estos MP. Se observa que la estación con mayor abundancia de partículas fue la C27 ubicada al centro de Cozumel con 100 espumas/L y la estación S02 ubicada en Chetumal con 20 espumas/L. Las estaciones donde se encontraron espumas corresponden a lugares turísticos o de amplia afluencia de personas y zonas urbanas. Las espumas podrían provenir del uso de recipientes desechables usados en el sector alimenticio.

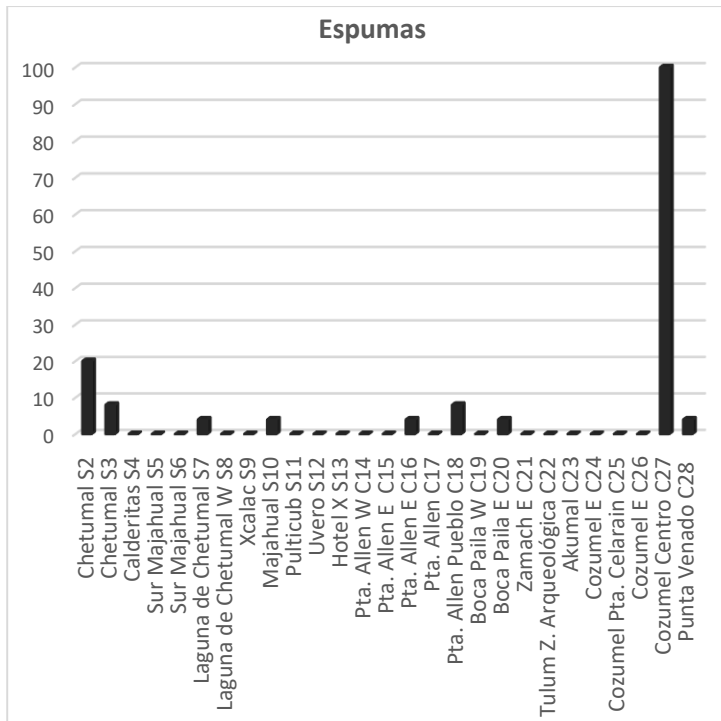


Fig. 22. Espumas de la fracción A

### 13.13 Fibras de vidrio

A pesar de que la composición de la fibra de vidrio como su nombre lo indica es a base de vidrio, también se utiliza como agente de refuerzo para muchos productos poliméricos, para formar un material compuesto muy fuerte y ligero denominado plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), material del que están hechas algunas embarcaciones. Motivo por el cual se consideraron para esta investigación. Se observa en la Figura 23 que la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel, es donde se encontraron más partículas, 100 fibras de vidrio/L. En la estación C24 ubicada al este de Cozumel y la estación C18 ubicada en





Punta Allen se encontraron 16 fibras de vidrio/L y 8 fibras de vidrio/L respectivamente. Las demas estaciones no presentaron ninguna fibra de vidrio, por lo que se considera que la mala disposicion de residuos de Cozumel esta ocasionando la contaminación de sus costas.

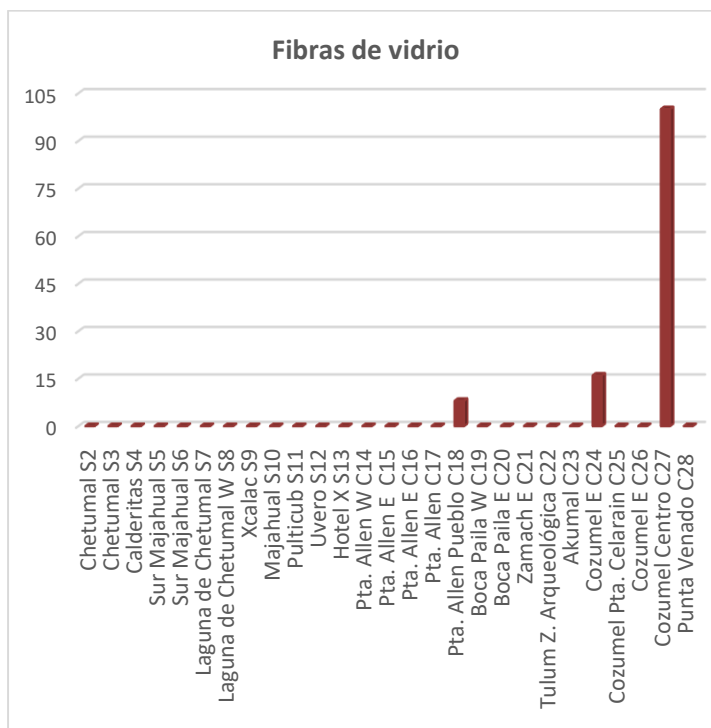


Fig. 23. Fibras de vidrio de la fracción A

### 13.14 Vidrio

Aunque no deriva de ningún plástico, el alto número de fragmentos de vidrio encontrados en las muestras, nos pareció de interés ya que también son una forma de contaminación antropogénica. Por ello se presentan aquí los resultados de su conteo.



Las estaciones en que se obtuvieron más fragmentos de vidrio fueron la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel con 5 060 vidrios /L, la estación S04 ubicada en Calderitas con 2 904 vidrios /L, la estación S02 ubicada en Chetumal con 1 504 vidrios /L y la estación S03 ubicada en Chetumal con 1 124 vidrios /L. Estas cuatro estaciones son lugares turísticos y sobre todo están en zonas urbanas, por lo que la mayoría de los vidrios podría provenir de envases de bebidas. La Figura 24 muestra las estaciones con mayor abundancia de vidrios. En la estación S07 ubicada en la Laguna de Chetumal zona sur y las estaciones C14, C17 y C18 ubicadas en Punta Allen no se encontraron vidrios.

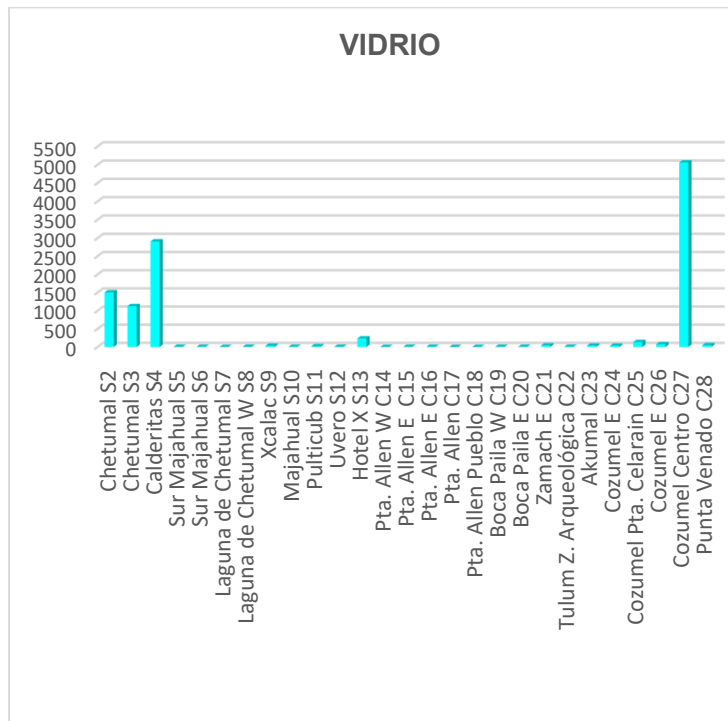


Fig. 24. Vidrios encontrados dentro de la Fracción A



### 13.15 Resultados de la Fracción B (partículas inferiores a 0.5 mm)

### 13.16 Microplásticos (todas las categorías) fracción B

Las estaciones con mayor abundancia de partículas en la fracción B fueron la estación S06 ubicada al Sur de Majahual con 17 532 MP/L de los cuales 17 152 MP/L fueron fibras y microfibras y la estación C18 ubicada en el Pueblo de Punta Allen con 12 768 MP/L de los cuales 11 952 MP/L fueron fibras y microfibras. La Tabla 10 nos muestra los totales de MP de las 27 estaciones de la fracción B de forma decreciente. La suma de todos los MP encontrados dentro de esta fracción da un total de 107 808 MP/L de los cuales 12 904 son fragmentos /L.

**Tabla 10.** Microplásticos/L de las 27 estaciones de estudio.

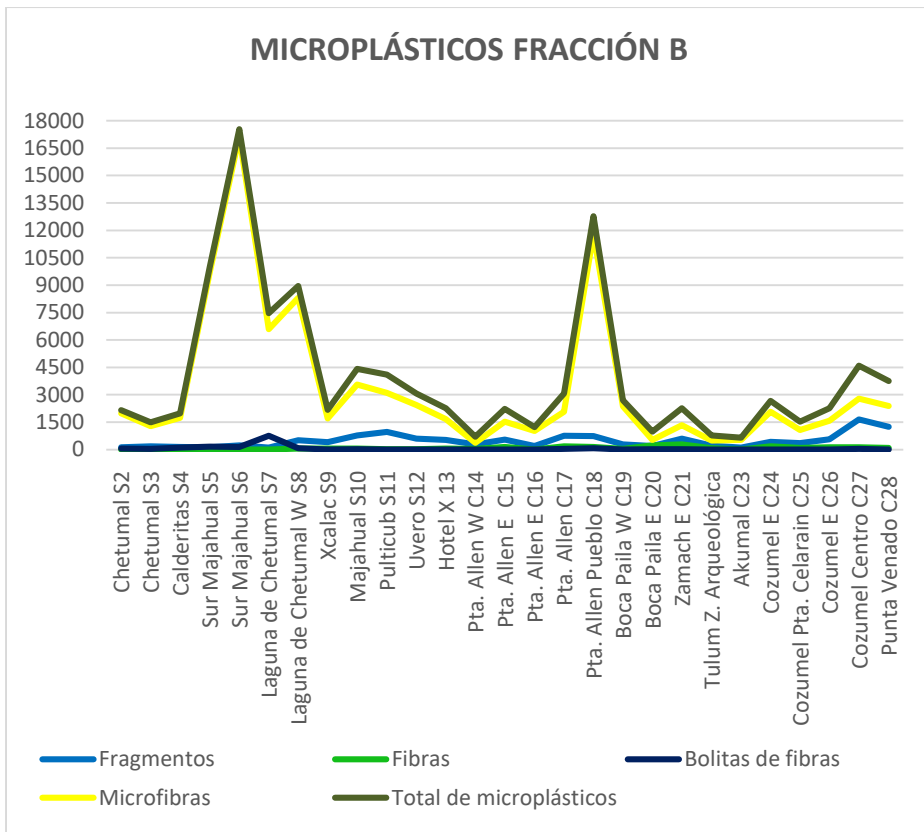
Estación	Ubicación	Fragmentos /L	Fibras, microfibras, Bolitas de fibras /L	Total de MP/L
S06	Sur Majahual	240	17 292	17 532
C18	Punta Allen Pueblo	748	12 020	12 768
S05	Sur Majahual	124	9 892	10 016
S08	Laguna de Chetumal	512	8 436	8 948
S07	Laguna de Chetumal	104	7 356	7 460
C27	Cozumel Centro	1 644	2 948	4 592
S10	Majahual	780	3 644	4 424
S11	Pulticub	976	3 124	4 100
C28	Punta Venado	1 256	2 492	3 748



C17	Punta Allen	752	2 316	3 068
S12	Uvero	600	2 468	3 068
C19	Boca Paila W	288	2 416	2 704
C24	Cozumel E	420	2 244	2 664
C21	Zamach E	604	1 652	2 256
C26	Cozumel E	560	1 708	2 268
C15	Punta Allen E	544	1 688	2 232
S09	Xcalac	404	1 764	2 168
S04	Calderitas	140	1 844	1 984
C25	Cozumel Punta Celarai	356	1 180	1 536
S03	Chetumal	180	1 316	1 496
C16	Punta Allen E	204	1 020	1 224
C20	Boca Paila E	204	776	980
C22	Tulum Z. Arqueológica	212	568	780
C14	Punta Allen W	284	416	700
C23	Akumal	116	544	660

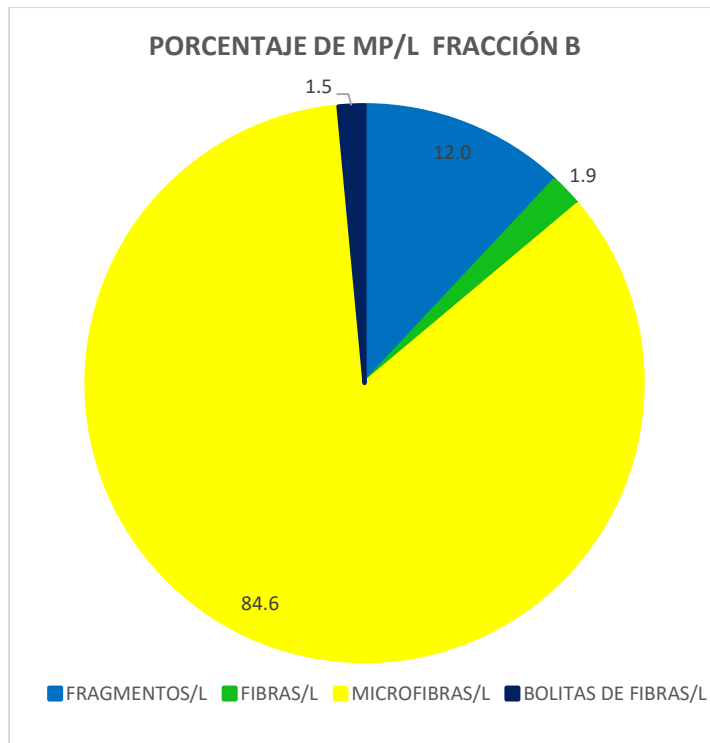
En la Figura 25 se reportan todos los MP que pertenecen a la fracción B y que se encontraron en las 27 estaciones de estudio. Se observa que en la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel, se presenta el mayor número de fragmentos (sin incluir fibras) de nuestro estudio dentro de la fracción que corresponde a partículas inferiores a 0.5 mm.

También se observa que en la mayoría de las estaciones la abundancia de las microfibras es similar al total de MP por estación, lo que demuestra que el mayor número de MP encontrados en esta fracción corresponde a microfibras. Esto se encuentra detallado en la Tabla 10.



**Fig. 25.** Abundancia de Microplásticos inferiores a 0.5 mm encontradas por zona de muestreo

En la Figura 26 se muestra el porcentaje de cada tipo de MP/L de esta investigación. Del total de 107 808 MP/L el 88% es de fibras (fibras, microfibras y bolitas de fibras). Sin embargo, como se aprecia en la Figura 26 el porcentaje de microfibras representa el 84.6% del total de MP en esta fracción. De manera similar a la fracción A, las fibras representan más del 75% del total de MP/L de este estudio.



**Fig. 26.** Porcentaje de MP/L

### 13.17 Comparación Intermareal-Submareal

Se elaboró la Tabla 11 considerando las seis estaciones con mayor abundancia de MP/L, haciendo una comparación entre zona intermareal y submareal de las 27 estaciones de muestreo, dando como resultado mayor abundancia en la zona submareal. Observando el total de las 27 estaciones, en la zona submareal, se encontraron 2 776 más MP que en la zona intermareal. Posterior a este conteo se hizo un análisis con Estadística dando como resultado una diferencia no significativa entre ambas zonas analizadas (Fig. 40, Anexo). La diferencia que existe entre



zonas de playa es mayor en la fracción A que en la fracción B, sin embargo no deja de existir para ambas fracciones.

**Tabla 11.** Comparación intermareal (I) y submareal(S) de MP totales

MUESTRA	NÚMERO DE MP/L		PORCENTAJE POR ABUNDANCIA	
	I	S	I	S
S06	2 436	15 096	2.4	14.8
S05	1 676	8 340	1.6	8.2
C18	12 500	268	12.2	0.3
S08	7 924	1 024	7.8	1.0
S07	1 560	5 900	1.5	5.8
C28	1 080	2 668	1.0	2.6
TOTAL	27 176	33 296	48.6	51.3

### 13.18 Relación arena-microplásticos

Las estaciones en que se obtuvo un alto porcentaje de partículas de MP en relación con la arena fueron la estación C22 ubicada en la Zona arqueológica de Tulum con 8.54%, la estación C23 ubicada en Akumal con 8.01%, la estación S06 ubicada al Sur de Majahual con 7.86%, la estación S03 ubicada en Chetumal con 0.17% y la estación S11 ubicada en Pulticub con 0.11%, siendo estas las cinco estaciones con el porcentaje más alto en la relación microplásticos-arena. Hay que considerar que las 27 estaciones de muestreo presentan diferentes tipos de tamaño en los granos de arena. En el mismo análisis de relación



arena-microplásticos se contabilizó la abundancia de granos en 0.5 gramos de arena para poder relacionarla con la abundancia de MP, extrapolando la abundancia de granos de arena a 1 kg. Las estaciones con mayor abundancia de MP por cada kilogramo de arena fueron: la estación S06 ubicada en el sur de Majahual con 4 383 MP/Kg, la estación C18 ubicada en el Pueblo de Punta Allen con 3 192 MP/Kg, la estación S05 localizada al sur de Majahual con 2 504 MP/Kg y la estación S08 ubicada al oeste de la Laguna de Chetumal con 2 237 MP/Kg. La Tabla 12 muestra el total de MP, MP/L y MP/Kg de las 27 estaciones de muestreo. La diferencia que existe entre las abundancias extrapoladas en MP/L y MP/Kg se explica, como en la fracción A, por la diferencia en el peso de la arena en relación con la abundancia de los MP.

**Tabla 12.** Total de MP, MP/L y MP/Kg de las 27 estaciones de muestreo.

Estación	Ubicación	Total de MP	Total de MP/L	Total de MP/Kg
S2	Chetumal	540	2 160	851
S3	Chetumal	374	1 496	5 404
S4	Calderitas	496	1 984	4 987
S5	Sur Majahual	2 504	10 016	1 181
S6	Sur Majahual	4 383	17 532	2 261
S7	Laguna de Chetumal	1 865	7 460	3 126
S8	Laguna de Chetumal W	2 237	8 948	1 567
S9	Xcalac	542	2 168	282
S10	Majahual	1 106	4 424	637
S11	Pulticub	1 025	4 100	8 619
S12	Uvero	767	3 068	352





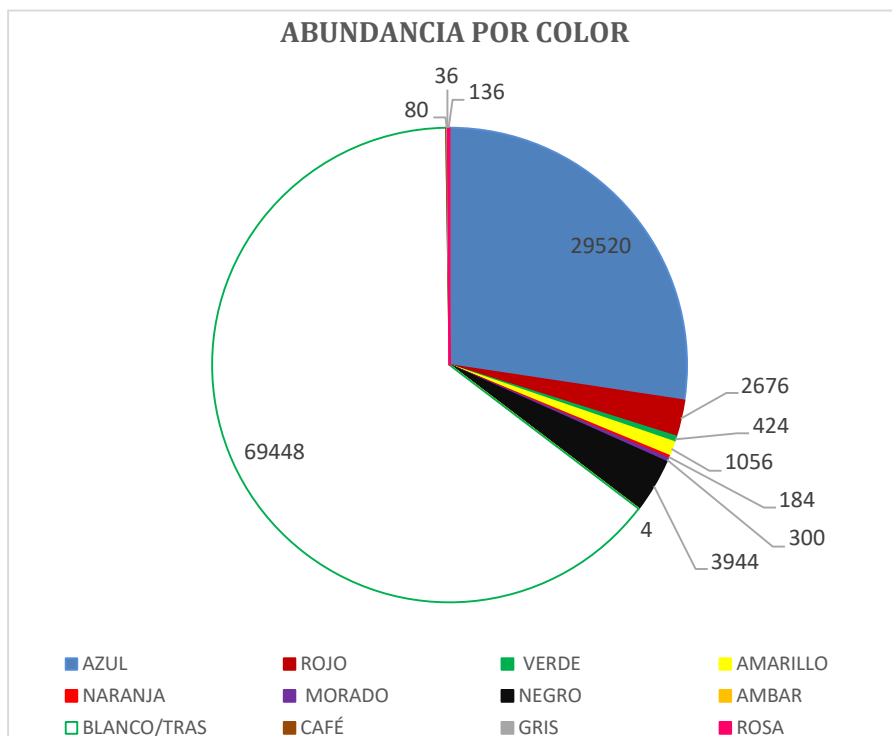
S13	Hotel X	568	2 272	494
C14	Punta Allen W	175	700	91
C15	Punta Allen E	558	2 232	263
C16	Punta Allen E	306	1 224	107
C17	Punta Allen	767	3 068	273
C18	Punta Allen Pueblo	3 192	12 768	1 466
C19	Boca Paila W	676	2 704	299
C20	Boca Paila E	245	980	145
C21	Zamach E	564	2 256	227
C22	Tulum Z. Arqueológica	195	780	118
C23	Akumal	165	660	90
C24	Cozumel E	666	2 664	730
C25	Cozumel Punta Celarain	384	1 536	165
C26	Cozumel E	567	2 268	415
C27	Cozumel Centro	1 148	4 592	645
C28	Punta Venado	937	3 748	503

### 13.19 Análisis de los microplásticos por color

En la investigación se llevó a cabo un análisis para poder determinar cuál es el color de MP más abundante. La Figura 27 nos muestra la clasificación por colores de los MP encontrados dentro de la fracción B. Se observa que sobresale el color blanco, ya que muchas de las partículas encontradas fueron microfibras de color blanco, también los fragmentos transparentes como fragmentos de bolsas de plástico se contabilizaron como MP blancos, los fragmentos que prevalecieron en esta fracción fueron de color azul, algunos de los fragmentos en azul se parecen al plástico que se encuentra dentro de las taparoscas y también fibras de color azul que pueden provenir de fibras de ropa o de desgaste



de redes de pesca. Los colores menos abundantes fueron el ámbar, el gris y el café.



**Fig. 27.** Abundancia por color de microplásticos inferiores a 0.5 mm.

### 13.20 Fragmentos

Las estaciones con mayor abundancia de microfragmentos inferiores a 0.5 mm fueron la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel con 1644 fragmentos/L, la estación C28 ubicada en Punta Venado con 1256 fragmentos/L, la estación S11 ubicada en Pulticub con 976 fragmentos/L, la estación S10 ubicada en Majahual con 780



fragmentos/L y la estación C17 ubicada en Punta Allen con 752 fragmentos/L; la Figura 28 muestra los MP encontrados en esta estación. Las estaciones en donde se encontró menor abundancia de fragmentos/L fueron la estación S07 ubicada en Laguna de Chetumal zona sur en donde se obtuvieron 104 fragmentos/L, la estación C23 ubicada en Akumal en donde se encontraron 116 fragmentos/L, la estación S02 localizada en Chetumal en donde se encontraron 120 fragmentos /L y la estación S05 ubicada en el Sur de Majahual en donde se obtuvieron 124 fragmentos/L.

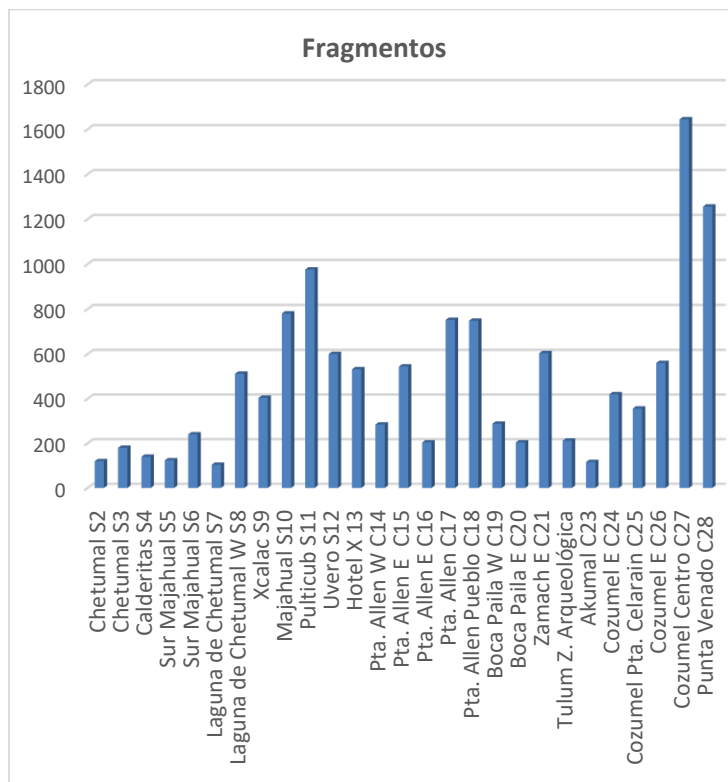


Fig. 28. Microplásticos inferiores a 0.5 mm.



### 13.21 Fibras superiores a 5 mm

Las estaciones de muestreo en las que se encontró el mayor número de fibras fueron la estación C21 ubicada en Zamach con 288 Fibras/L, la estación C20 ubicada al Este de Boca Paila con 232 Fibras/L y la estación C17 ubicada en Punta Allen con 188 Fibras/L. La Figura 29 nos muestra las estaciones en donde se encontró el mayor número de fibras, así como las estaciones en las cuales no se encontraron fibras de ese tamaño. La falta de fibras en esta fracción puede deberse a que se quedaron retenidas en la fracción A.

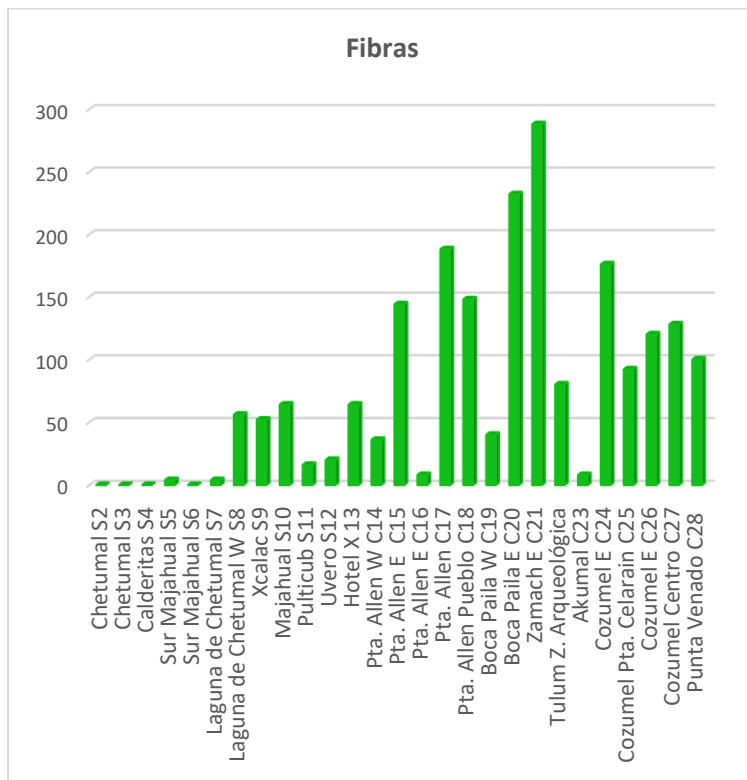


Fig. 29. Fibras superiores a 0.5 mm



### 13.22 Microfibras

En la Figura 30 se observan las microfibras inferiores a 0.5 mm encontradas en las estaciones de muestreo, que van desde 376 Microfibras/L en la estación C14 ubicada al Oeste de Punta Allen, la estación S07 ubicada en la Laguna de Chetumal zona sur donde se obtuvieron 6 592 Microfibras/L, la estación S08 ubicada al Oeste de la Laguna de Chetumal donde se encontraron 8 312 Microfibras/L, la estación S05 localizada al Sur de Majahual donde se obtuvieron 9 732 Microfibras/L, la estación C18 ubicada en el Pueblo de Punta Allen donde se encontraron 11 804 Microfibras /L, hasta 17 152 Microfibras/L encontradas en la estación S06 localizada al Sur de Majahual, siendo estas las estaciones con mayor abundancia de microfibras.

Las estaciones con menor abundancia de microfibras fueron la estación C14 ubicada en Punta Allen W con 376 Microfibras/L, la estación C22 ubicada en la zona arqueológica Tulum con 488 Microfibras/L, la estación C20 ubicada en Boca Paila E con 528 Microfibras/L y la estación C23 ubicada en Akumal con 536 Microfibras/L. La mayor abundancia de microfibras se encuentra localizada entre la laguna de Chetumal y Punta Allen.

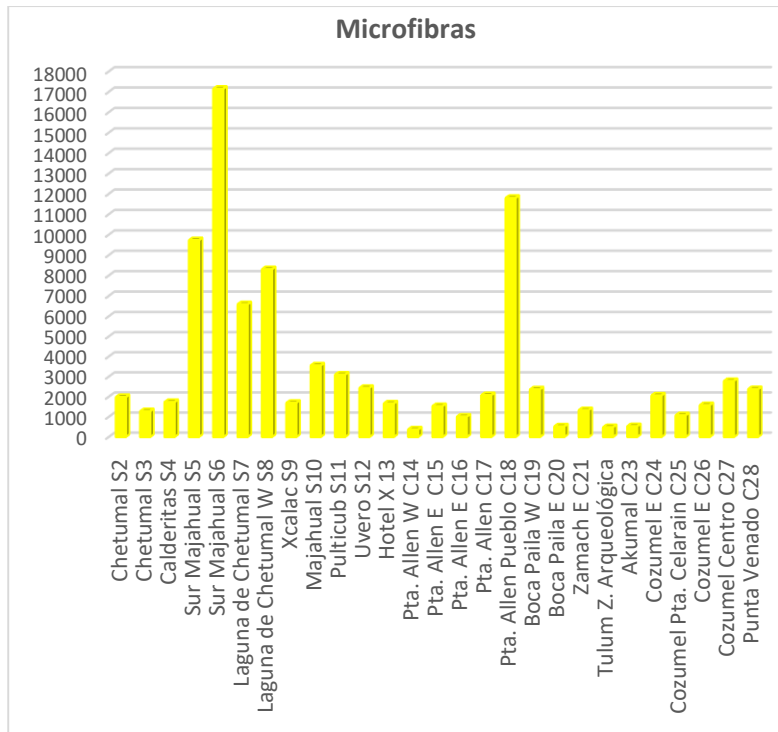


Fig. 30. Microfibras inferiores a 0.5 mm

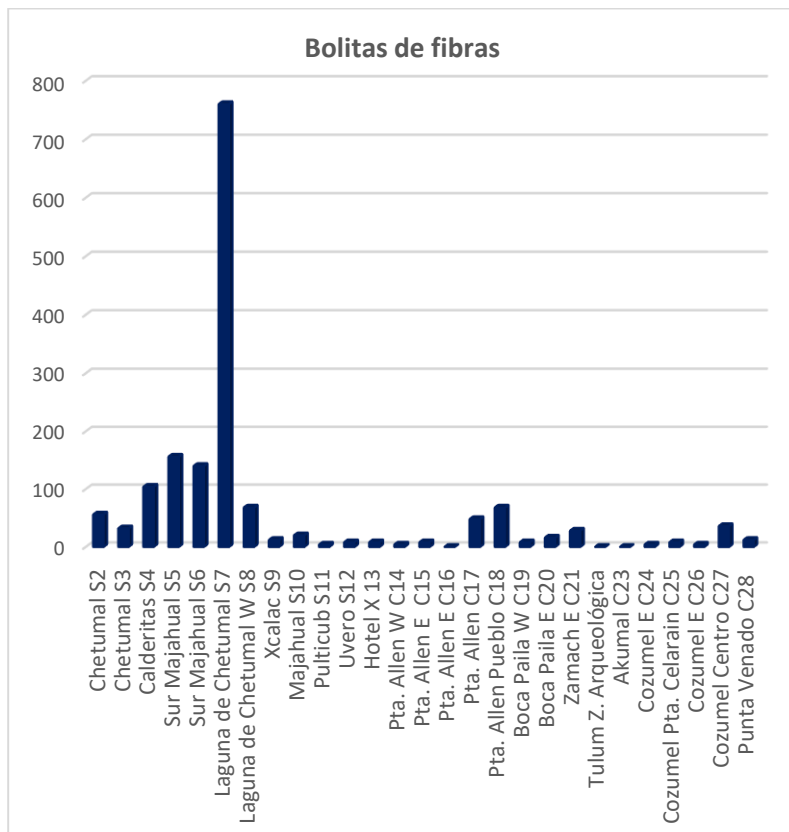
### 13.23 Bolitas de fibras

La estación en donde se encontró mayor abundancia de bolitas de fibras fue la S07 ubicada en la Laguna de Chetumal con 760 Bolitas de fibras/L, cabe mencionar que también fue una de las estaciones con mayor abundancia de microfibras de la fracción A, como ya se mencionó en el párrafo anterior.



La Figura 31 muestra las estaciones con mayor abundancia de bolitas de fibras. Los picos en la gráfica nos indican que la estación con abundancia mayor de fibras se ubica al sur de Quintana Roo cerca de Chetumal, que es una zona turística y ampliamente urbanizada.

Las estaciones que no presentaron bolitas de fibras fueron la estación C22 ubicada en zona arqueológica de Tulum, la estación C23 ubicada en Akumal y la estación C16 localizada del lado Este de Punta Allen.



**Fig. 31.** Bolitas de fibras de diferentes tamaños y colores.



### **13.24 Comparación entre la Fracción A y la Fracción B**

### **13.25 Comparación de MP/L en ambas fracciones**

En las Figuras 32 y 33 se observa que el total de los MP de la fracción B están representados en su mayoría por microfibras. Presentando dos picos considerable de fragmentos en la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel con 1644 fragmentos/L y la estación C28 ubicada en Punta Venado con 1256 fragmentos/L, y picos más pequeños que van de los 748 a los 976 fragmentos/L, en la estación S11 ubicada en Pulticub, la estación S10 localizada en Majahual y las estaciones C17 y C18 localizadas en Punta Allen; mientras que en la fracción A tenemos picos considerables de fragmentos en la estación C27 ubicada en el centro de Cozumel con 1616 fragmentos/L y la S11 localizada en Pulticub con 1280 fragmentos/L.

También observamos en las Figuras 32 y 33 que la mayoría de las microfibras de la fracción A se encuentran en la estación S11 ubicada en Pulticub, la estación S12 ubicada en Uvero, S10 localizada en Majahual y la estación C26 ubicada al este de Cozumel en un rango entre 688 y 808 microfibras, sin embargo para la fracción B existen dos picos considerables que se ubican en la estación S06 ubicada en Majahual con 17 152 microfibras y la estación C18 ubicada en Punta Allen Pueblo con 11 804 microfibras. Las estaciones S05 localizada al sur de Majahual y las estaciones S07 y S08 ubicadas en la Laguna de Chetumal tuvieron un rango de entre 6592 y 9732 microfibras en la fracción B.





El total de MP en la fracción A fue de 18 792MP/L, mientras que en la fracción B fue de 107 808 MP/L, por lo que se considera que es muy importante analizar ambas fracciones para un mejor resultado en estudios posteriores.

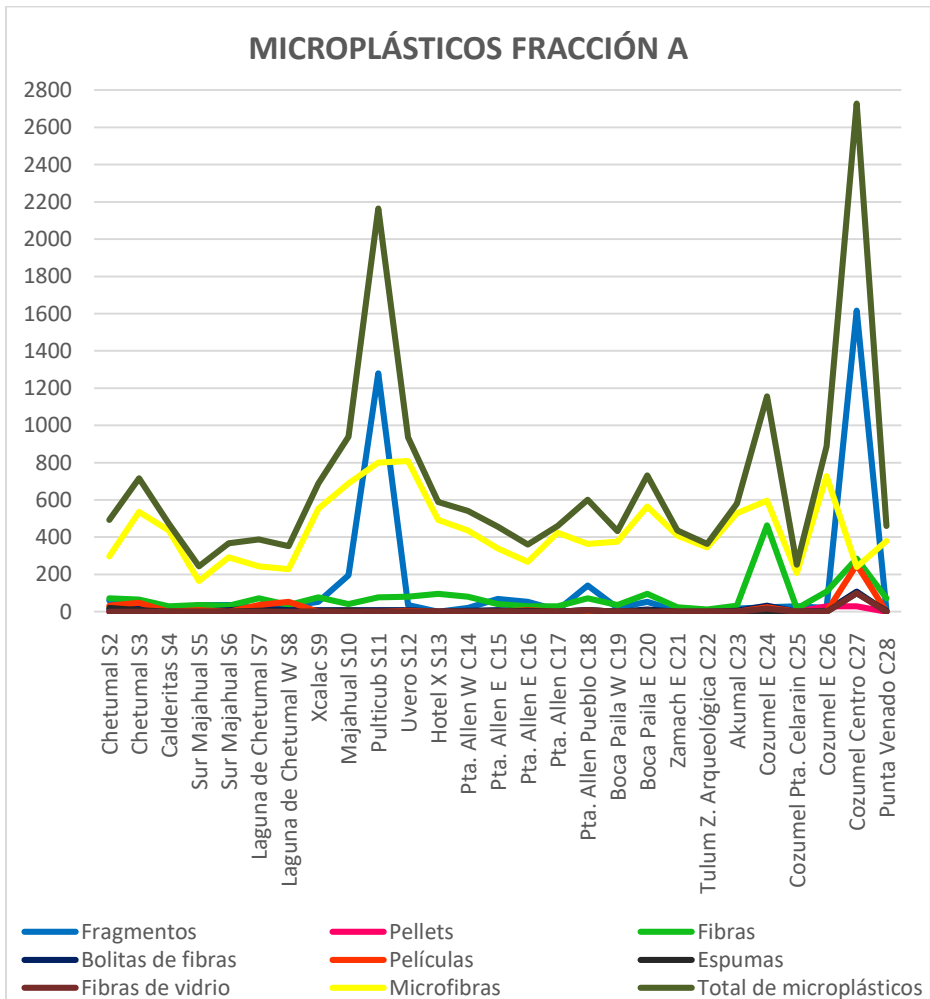


Fig. 32. Comparación de microplásticos Fracción A y Fracción B.

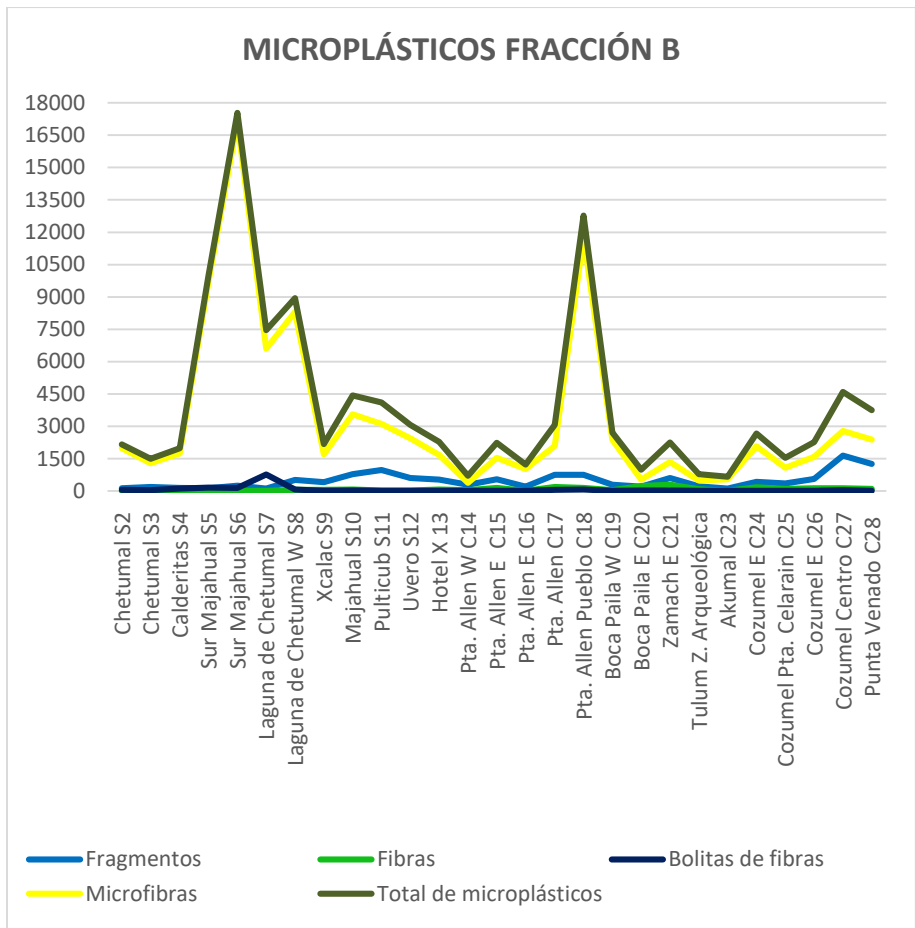


Fig. 33. Comparación de microplásticos Fracción A y Fracción B.

### 13.26 Comparación de fibras, microfibras y bolitas de fibras ambas fracciones

Considerando que en todas las estaciones la mayor parte de los MP fueron fragmentos y fibras, se elaboró la Tabla 13. En esta, se hace el comparativo del número de fibras, registrando las cinco estaciones con



mayor abundancia de fibras en la fracción A y haciendo un comparativo con la misma estación fracción B. Así mismo se seleccionaron las cinco estaciones con mayor abundancia de fibras de la fracción B y haciendo el comparativo con la misma estación fracción A.

En todas las estaciones de la Tabla 13, en la fracción B se obtuvo un número considerablemente mayor de microfibras que en la fracción A.

Se considera que las fibras encontradas provienen del drenaje, Brown et al. (2011), mencionan que una sola carga de ropa puede producir hasta 1 900 fibras.

**Tabla 13.** Comparación de abundancia de Fibras/L por fracción.

ESTACIÓN	FIBRAS/L		MICROFIBRAS /L		BOLITAS DE FIBRAS /L		TOTAL DE FIBRAS/L	
	A	B	A	B	A	B	A	B
S10	40	64	688	3 560	8	20	736	3 644
C26	108	120	728	1 584	4	4	840	1 708
S11	76	16	800	3 116	8	4	884	3 124
S12	80	20	808	2 440	8	8	896	2 468
C24	464	176	596	2 064	32	4	1 092	2 244



FRACCIÓN	A	B	A	B	A	B	A	B
S07	72	4	244	6 592	16	760	332	7 356
S08	36	56	228	8 312	8	68	272	8 436
S05	36	4	164	9 732	0	156	200	9 892
C18	72	148	364	11 804	8	68	444	12 020
S06	32	0	292	17 152	8	140	332	17 292

### 13.27 Comparación de fragmentos en ambas fracciones

Como ya se mencionó, dentro de los MP observados para esta investigación, la mayor abundancia se registró en fibras y fragmentos, por lo cual se elaboró la Tabla 14 comparando las cinco estaciones con mayor abundancia de fragmentos de la Fracción A y se comparó la misma estación en la fracción B.

Se registraron las cinco estaciones con valores más altos de la fracción B y se comparó con la misma estación fracción A. Se observó que la fracción B tiene un número más alto de MP.

Retama (2016), también encontró principalmente fibras y fragmentos en los dos períodos de recolección 2013-2014 con un aumento de 48-68 fibras para el segundo año, mismo número de fragmentos en ambos periodos(100 MP), teniendo un total de 374 MP en 2013 y 518 MP en



2014, sin reportar microesferas (pellets). Considerando que su investigación fue realizada en Huatulco, un lugar altamente turístico al igual que nuestra área de estudios coincide que no se reporten microesferas que podrían estar relacionadas con residuos o basura de zonas industriales.

**Tabla 14.** Comparación de abundancia de fragmentos /L por fracción

ESTACIÓN	FRACCIÓN	
	A	B
S15	68	544
S18	140	748
S10	196	780
S11	1 280	976
C27	1 616	1 644
ESTACIÓN	FRACCIÓN	
	A	B
C17	8	752
S10	196	780
S11	1 280	976
C28	4	1 256
C27	1 616	1 644



Los plásticos comienzan a perder resistencia por acción de los rayos UV y empiezan a fragmentarse, pasando de ser macro a microplásticos de 5.0 mm - 0.5 mm hasta microplásticos inferiores a 0.5 mm.

Al hacer un análisis de las Tablas anteriores se observa que los MP de la fracción B son considerablemente más abundantes que los de la fracción A. Asimismo, las microfibras son mucho más abundantes que las fibras mayores a 5.0 mm, por lo que se considera que los fragmentos entre 5.0 mm y 0.5 mm se rompen fácilmente.

En la Tabla 14 se observa que las estaciones que coinciden en abundancia de MP en ambas fracciones, son las estaciones C27 ubicada en el centro de Cozumel, S11 ubicada en Pulticub y S10 ubicada en Majahual. Como ya se mencionó las estaciones que presentaron mayor abundancia de MP son aquellas en las cuales prevalece el turismo aunado a una aglomeración urbana (Chetumal, Majahual y Cozumel).

### **13.28 Comparación por abundancia de color en ambas fracciones**

Las Figuras 34 y 35 muestran que el color blanco y transparente fueron los más abundantes. Sin embargo en la fracción A el segundo color más abundante fue el color amarillo con 1 652 MP/L y en tercer lugar el color azul con 1 044 MP/L. En la fracción B el segundo color más abundante fue el color azul con 29 520 MP/L, en tercer lugar el color negro con 3 944 MP/L y en cuarto lugar el rojo con 2 676 MP/L.

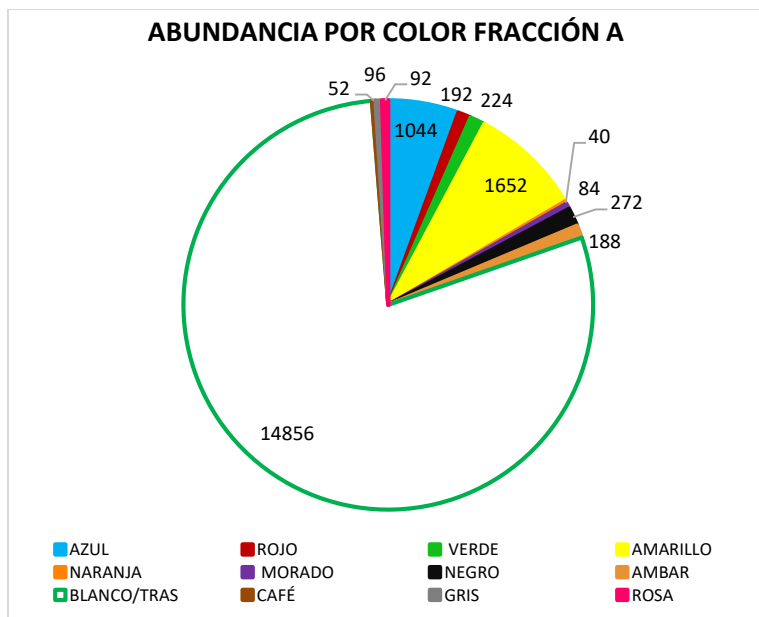


Fig. 34. Comparación de abundancia por color en ambas fracciones.

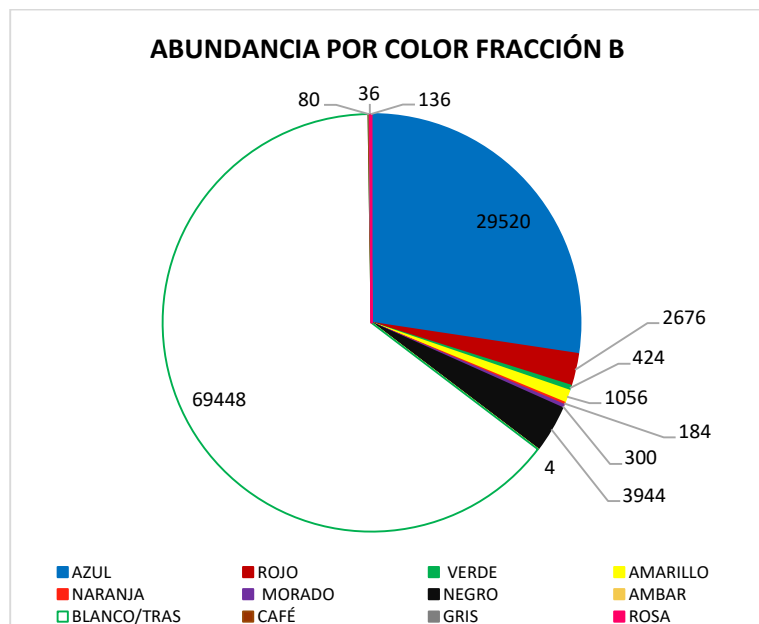


Fig. 35. Comparación de abundancia por color en ambas fracciones.



### **13.29 Comparación Intermareal-Submareal para ambas fracciones**

En ambas fracciones hubo más abundancia de MP en la zona submareal. Sin embargo, en la fracción A el análisis de estadístico entre zona intermareal y zona submareal arrojó una diferencia significativa y para la fracción B no significativa en este parámetro (Figuras 39 y 40, Anexo). En ambas fracciones hubo una diferencia entre submareal e intermareal, de 18% para la fracción A y 2.7% para la fracción B. Gómez Hernández (2016) encontró mayor número de partículas en la zona intermareal, 56% para la zona intermareal y 46% para la submareal. En este estudio, el porcentaje entre intermareal y submareal cambió, ya que en el submareal se encontró 59% mientras que en intermareal se encontró 41%, esto sin considerar las estaciones S02, S03 y S04, ya que de estas estaciones no se tienen muestras submareales. Amaya Márquez (2013) reportó 354 microplásticos/kg en la zona intermareal de los cuales el 92% fue encontrado en las muestras tomadas a una profundidad inferior a 5 cm, mientras que el resto se localizó a una profundidad entre 5 y 10 cm; no reporta MP encontrados en la zona submareal. En ambas profundidades, el 70% aproximadamente fueron fragmentos de plásticos.

### **13.30 Resultados Fracción A + Fracción B**

La estación con el mayor número de MP considerando la suma de la fracción A y la fracción B fue la estación C27 ubicada en el centro de



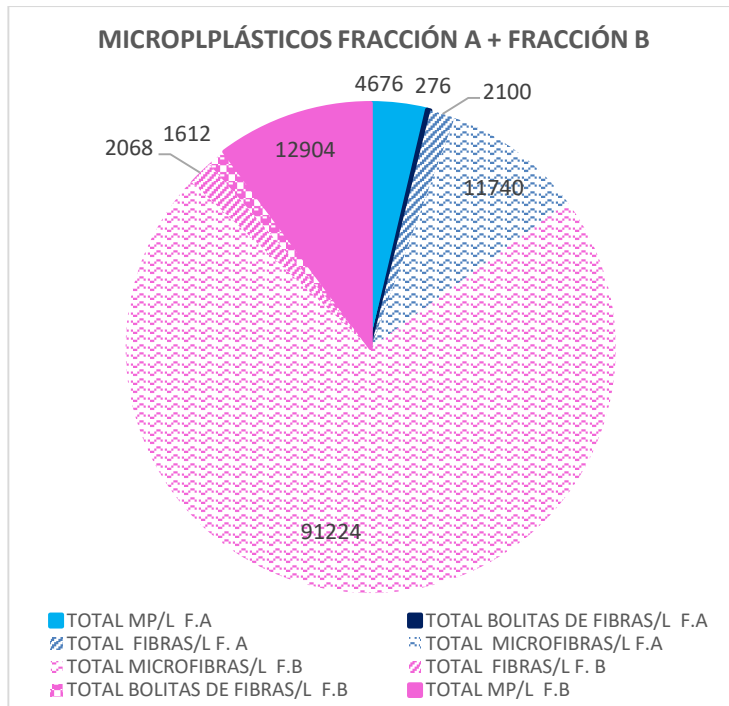


Cozumel. La estación S11 ubicada en Pulticub también presentó abundancia de MP para ambas fracciones.

En las 27 estaciones de estudio considerando ambas fracciones, se encontró un total de 126 600 MP/L de los cuales el 14.8% del total de MP/L fue dentro de la fracción A y el 85.2% en la fracción B.

En la Figura 36 se puede observar que del total de 126 600 MP/L encontrados, 102 964 fueron microfibras/L de ambas fracciones, 91 224 en la fracción B y 11 740 en la fracción A. Las microfibras encontradas en ambas fracciones representan el 81.3 % del total de MP. En la fracción A se obtuvieron 2 100 fibras/L y en la fracción B se obtuvieron 2 068 fibras/L, dando un total de 4 168 fibras/L en ambas fracciones, cifra que representa el 3.3 % del total de MP. En menor abundancia se encontraron 1 888 bolitas de fibras/L en ambas fracciones: 276 en la fracción A y 1 612 en la fracción B. El total de bolitas de fibras encontradas en ambas fracciones representa el 1.5% del total de MP. El total de fibras encontradas en este estudio fue de 109 020, cifra que corresponde a la suma de todas las fibras de ambas fracciones incluyendo fibras, microfibras y bolitas de fibras.

Del total de 126 600 MP/L encontrados en ambas fracciones dentro de esta investigación, 17 580 es decir, el 13.9%, fueron MP/L es decir pellets, films, espumas, fibras de vidrio y fragmentos (sin incluir fibras).



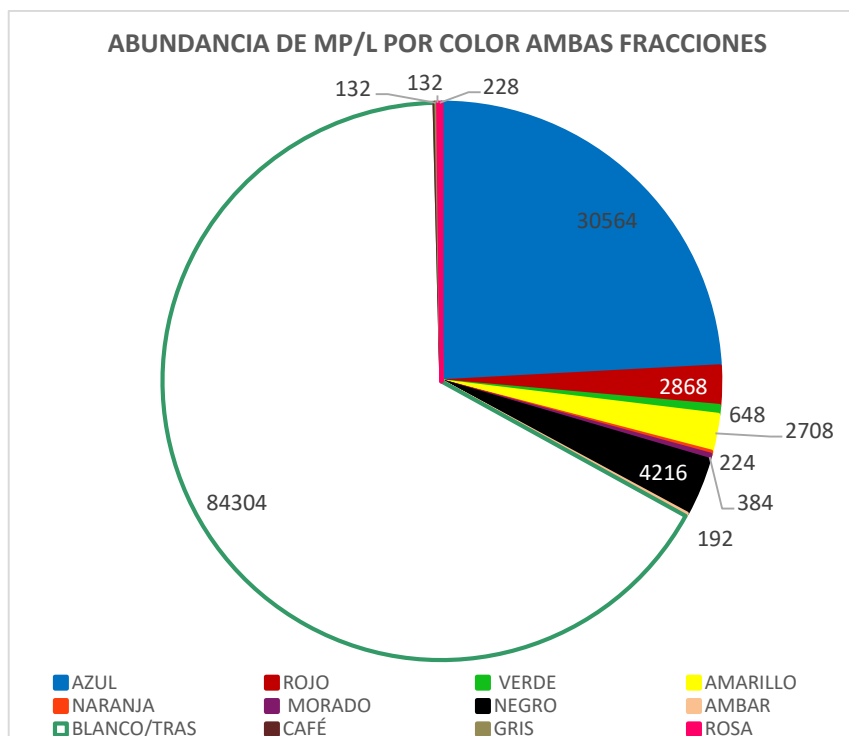
**Fig. 36.** Microplásticos fracción A + fracción B

### 13.31 Abundancia de MP/L por color ambas fracciones

En la Figura 37 se observa que la mayor abundancia de MP/L encontrados fue de color blanco y/o transparente, es decir, del total de 126 600 MP/L encontrados, 84 304 fueron MP blancos 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 abundancia se encontraron MP/L color negro (4 216 partículas), rojo (2 868) y amarillo (2 708). La abundancia de color verde fue de 648 y los demás colores obtuvieron una abundancia inferior a 400. Olavarrieta



García (2017), propone que el mayor número de MP provienen del polietileno (PE), material con el que se elaboran las bolsas de plástico así como, los aros de los “Six Pack”, situación que ocurre de manera similar en nuestra investigación; el mayor porcentaje de material transparente pertenece a bolsas de plástico o aros de “Six Pack”, y el mayor número de los MP blancos pertenece a fibras. Sánchez Hernández (2018) reportó que para los tres casos de su investigación (tracto digestivo de peces, columna de agua y sedimento), los colores de MP predominantes fueron: el negro, seguido del azul y el rojo, coincidiendo en los colores más abundantes de nuestra investigación.



**Fig. 37.** Abundancia de MP/L por color ambas fracciones



### 13.32 Resultados Intermareal- Submareal ambas fracciones

La mayor abundancia de MP/L se encontró en la zona submareal (Figura 38). En la zona submareal se obtuvieron 62 564 MP que representan 52.5% del total, mientras que en la zona Intermareal se obtuvieron 56 716 MP que representan 47.5% del total (sin considerar las estaciones S02, S03, S04 en las que no se obtuvieron muestras en la zona submareal).

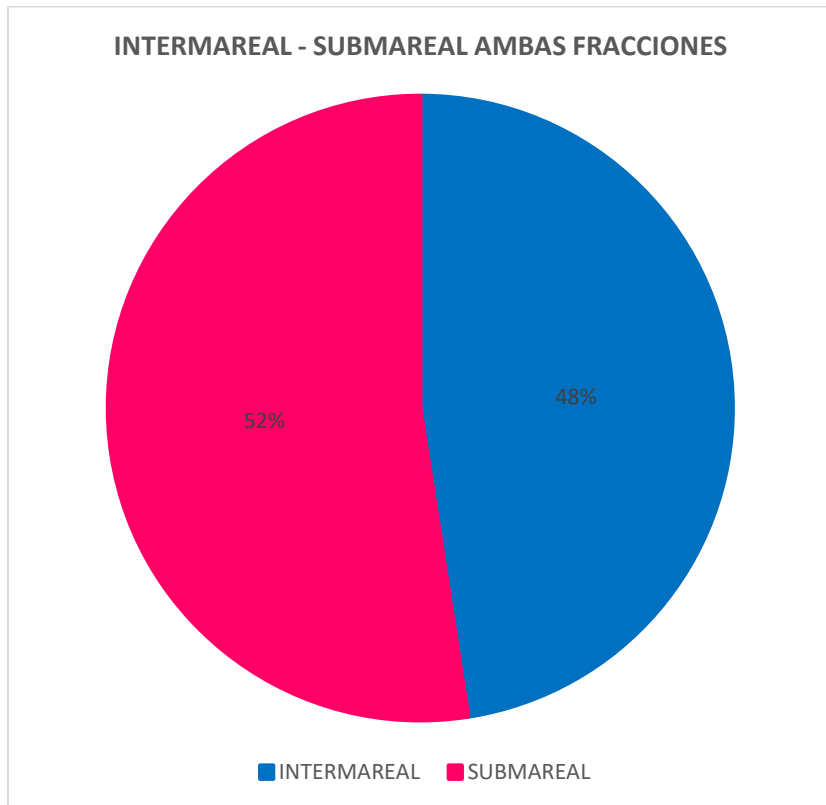


Fig. 38. Intermareal- submareal ambas fracciones



## **14. ORIGEN DE LOS MICROPLÁSTICOS ENCONTRADOS**

La observación al microscopio de las diferentes categorías de MP encontrados en este estudio, parece indicar que algunos de los fragmentos provenían de la fragmentación de bolsas de plástico, y otros podrían provenir de artículos como tenedores y vasos desechables, envases de refresco y/o agua, tapas de agua y/o refrescos, hieleras, platos y vasos de unicel, mochilas o bolsas de mano, hilo de pescar y envases de productos de higiene personal o limpieza del hogar. Sin embargo, sin un análisis adecuado es difícil determinar el tipo de material plástico. Olavarrieta García (2017) comenta que en su investigación realizada en Bahía de La Paz, Baja California Sur, el plástico más abundante fue el polietileno (PE), que es el material con el que se elaboran las bolsas y aros de “Six Pack”, seguido del polipropileno (PP), material utilizado para elaborar tapas de botellas. Refiere que el mayor número de MP encontrados pertenece a los microplásticos secundarios. Se considera que en nuestra área de estudio los MP secundarios también son la principal fuente de los fragmentos encontrados.

## **15. CONSIDERACIONES FINALES**

Inicialmente se propuso como hipótesis que las zonas con mayor abundancia de MP podrían ser aquellas en las que prevalece el turismo y la urbanización. Esto se confirmó en la estación C27 (centro de Cozumel), que fue la estación con mayor abundancia de MP y la única



estación que presentó todas las categorías de MP que se incluyeron en este estudio. Sin embargo, hubo estaciones que se ubicaron en lugares poco turísticos y con baja o nula urbanización, como el sur de Majahual (estaciones S05 y S06, solo por mencionar algunas), que presentaron abundantes microfibras en la fracción B. Por ello se puede inferir que como las microfibras no se pueden recoger a menos de llevarse toda la capa de arena superficial de la playa, la contaminación por MP se está generalizando y probablemente se encuentren aun en las playas más despobladas del planeta. En los lugares turísticos se pueden recoger fácilmente macro y mesoplásticos, sin embargo los microplásticos son imposibles o casi imposibles de recoger, por lo cual permanecen allí.

Como este es el primer estudio que se hace en México, sobre todas las fracciones de microplásticos encontradas en playas, se desea sea un referente para estudios posteriores. Se recomienda que las zonas de estudio se amplíen hacia playas no inundables o poco visitadas con la finalidad de analizar la columna de agua y relacionar si los aportes son locales o aunados a las corrientes y épocas estacionales

Con ello se busca profundizar en todos los aspectos de este tipo de contaminación que nos aqueja de manera creciente y cuyas consecuencias no se han evaluado aun a nivel internacional, y aún menos a nivel nacional.

Las microfibras representan la mayor abundancia de MP/L en ambas fracciones, con un total de 102 964 microfibras/L, cifra que representa



el 81.3% del total de MP/L encontrados. Por ello, podrían ser un indicador representativo del estado de contaminación de un sitio dado. Sin embargo, también es importante considerar todas las categorías de MP de ambas fracciones ya que nos ofrecen un panorama más amplio de posibles fuentes de contaminación.

La extrapolación a MP/Kg no se considera un buen método si se divide en fracciones el sedimento, ya que al dividirlo por fracciones depende del tamaño de grano del sedimento retenido en cada fracción, si la mayor parte del sedimento es muy fino se quedara en la fracción B, mientras que en la fracción A habrá muy poco sedimento y al extrapolarlo a un Kg como fue el caso de la estación C22 ubicada en la zona arqueológica de Tulum, la extrapolación formará un pico anormal en los resultados.

Una explicación al hecho de que en los lugares altamente turísticos no se haya encontrado abundantes microplásticos podría estar asociada a que son áreas donde existe personal de limpieza que recoge los macroplásticos antes de que estos se conviertan en microplásticos, en cambio en zonas despobladas donde los macroplásticos pueden llegar por acción del viento o el oleaje, al no existir personal de limpieza encargado de recolectar estos plásticos, estos se van acumulando y fragmentando hasta convertirse en meso- y microplásticos. Sin embargo, en el estado actual del conocimiento en esta rama de investigación, no se puede comprobar aún.



Siendo que tampoco se encontró ninguna relación entre las zonas de alto impacto antropogénico y las zonas totalmente despobladas en cuanto a la abundancia de microfibras, habría que buscar si algún otro parámetro físico-químico, textural o ambiental pudiera explicar estos resultados.

## 16. CONCLUSIONES

Se encontró un total de 126 600 MP/L en las 27 estaciones considerando ambas fracciones, de las cuales 102 964 que representa el 81.3% fueron microfibras y 109 020 que representa el 86.1 % del total de partículas corresponde a fibras, microfibras y bolitas de fibras

Se encontró un total de 17 580 fragmentos de microplásticos en las 27 estaciones considerando ambas fracciones, incluyendo todas las categorías de MP considerados en este estudio, que representan el 13.9% del total de MP/L.

La estación con mayor abundancia de MP fue la C27 ubicada en el Centro de Cozumel, que es a la vez una zona muy urbanizada y muy turística.

El 14.8% de los MP encontrados pertenecen a la fracción A, y el 85.2 % corresponde a la fracción B, por lo que podemos decir que los fragmentos grandes se rompen fácilmente convirtiéndose en fragmentos cada vez más pequeños.





Los colores de MP más abundantes en la fracción A fueron blanco, azul y amarillo y para la fracción B fueron blanco, azul, negro y rojo. El total de MP color blanco o transparente, considerando ambas fracciones, fue de 84 304 partículas, que representan el 66.6% del total de MP/L, siendo este color el predominante en las microfibras. Se encontraron 30 564 MP en color azul, que representan el 24.1% del total de MP/L, considerando ambas fracciones incluyendo fibras y microfibras de este color.

En la zona submareal se obtuvo un porcentaje más alto de MP en comparación con la zona intermareal, en ambas fracciones. En la fracción A en la zona Intermareal se obtuvo el 41% y la zona submareal un 59%. En la fracción B en la zona Intermareal se obtuvo un 49% y en la zona submareal 51%.

El 99.95% de partículas corresponde a MP secundarios, el 0.05% corresponde a pellets o microesferas (MP primarios).

Este es el primer estudio de este tipo en México con ambas fracciones, con resultados que indican que es indispensable continuar por esta vía con el fin de determinar y quizás encontrar la manera de controlar esta fuente de contaminación.



## 17. ANEXO

Effect	Multivariate Tests of Significance (MANOVA1A1 sin) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.006659	2224.075	11	164.000	0.000000
Localidad	Wilks	0.034544	2.330	286	1697.380	0.000000
Zona en playa	Wilks	0.784445	4.097	11	164.000	0.000025

**Fig. 39.** Resultado del análisis MANOVA para determinar la diferencia entre intermareal y submareal de la fracción A

Effect	Multivariate Tests of Significance (MANOVA1B1 sin) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000478	59642.90	6	171.000	0.000000
Localidad	Wilks	0.003317	10.67	156	1011.236	0.000000
Zona en playa	Wilks	0.948089	1.56	6	171.000	0.161516

**Fig. 40.** Resultado del análisis MANOVA para determinar la diferencia entre intermareal y submareal de la fracción B



## 18. BIBLIOGRAFÍA

1. Aliani, S., Molcard, A., 2003. Floating debris in the Ligurian Sea, north-western Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1142–1149.
2. 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.
3. Ambiente plástico, 2017. Plásticos en la medicina. <http://www.ambienteplastico.com/plasticos-en-la-medicina/>
4. Anderson J.C., Park B.J., Palace V.C., 2016. Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution* 218, 269-280.
5. 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
6. Arthur, C., Baker, J., Bamford, H., 2009. Proceedings of the international research workshop on the occurrence, effects and fate of microplastic marine debris. In: NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, p. 49.



7. Barnes, D. K. A., & Fraser, K. P. P., 2003. Rafting by five phyla on man-made flotsam in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 262, 289–291.
8. Benton, T.G., 1995. From castaways to throwaways: marine litter in the Pitcairn Islands. *Biol. J. Linn. Soc.* 56, 415–422.
9. 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.
10. 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.
11. Carpenter, E.J., Anderson, S.J., Harvey, G.R., Miklas, H.P., Peck, B.B., 1972. Polystyrene spherules in coastal waters. *Science* 178, 749e750. <http://dx.doi.org/10.1126/science.178.4062.749>.
12. Carpenter, E.J., Smith, K.L., 1972. Plastic on the Sargasso Sea surface. *Science* 175, 1240–1241. <http://dx.doi.org/10.1126/science.175.4027.1240>.
13. Conabio. 2006. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.



14. Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J.I., Irigoien, X., Ubeda, B., Hernández-León, S., Palma, A.T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M.L., Duarte, C.M., 2014. Plastic debris in the open ocean. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 10239–10244.
15. Dekiff, J.H., Remy, D., Klasmeier, J., Fries, E., 2014. Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney. Environ. Pollut. 186, 248-256.
16. Existe problemática de basura en Cozumel por tiraderos de basura (entrevista a Sandra Dutton, subdirectora de Ecología 2018) <https://noticias.canal10.tv/nota/medio-ambiente/existe-problematika-ambiental-en-cozumel-por-tiraderos-de-basura-2018-11-20>. Consultado 2 de junio 2019.
17. 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>.
18. Frias J.P.G.L., Gago J., Otero V., Sobral P., 2016. Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters. Marine Environmental Research 114, 24-30.
19. Foro ambiental. 2017. Analizan contaminación por microplásticos en mares de Mexico. <http://www.foroambiental.com.mx/analizan-contaminacion-por-microplasticos-en-mexico/>



20. Fok, L., Cheung, P.K., 2015. Hong Kong at the Pearl River Estuary: a hotspot of microplastic pollution. *Marine Pollution Bulletin* 99, 112–118.
21. Gallardo y Bellido, 1994. Aspectos técnicos, teóricos y fundamentos del policloruro de vinilo (PVC) como soporte artístico e industrial. Montilla, Cordoba.
22. GESAMP, 2015. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. (Kershaw, P.J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC-UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Groups of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep Stud. GESAMP No. 90, 96 p
23. Gómez Hernández Izchel Romana, 2016. Efectos de los microplásticos de polyvinil cloruro (PVC) y del fluoranteno en *Eupolytmnia rullieri* E *Isognomun alatus*, dos especies del macrobentos del Caribe Mexicano, tesis de maestría del Instituto de Ciencias del mar y Limnología de la UNAM.
24. Gregory, M.R., 1977. Plastic pellets on New Zealand beaches. *Mar. Pollut. Bull.* 8,82e84. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(77\)90193-X](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(77)90193-X).
25. Gregory, M. R., 1978. Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand beaches. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 12, 399–414.



26. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2004/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México: INEGI, c2004.
27. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2005/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2005.
28. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Anuario estadístico y geográfico de Quintana Roo 2016 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía.-- México : INEGI, c2016.
29. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). CONABIO. Cuentame. Información por entidad. Quintana Roo. Territorio. Flora y fauna. [http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/recursos\\_naturales.aspx?tema=me&e=23](http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/recursos_naturales.aspx?tema=me&e=23)
30. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Dirección general de geografía y medio ambiente. Cuentame. Información por entidad. Quintana Roo. Territorio. Agua. <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/qroo/territorio/agua.aspx?tema=me&e=23>
31. Instituto Nacional de Antropología e Historia. 2017. Estadística de visitantes. Zonas arqueológicas más visitadas. <http://www.estadisticas.inah.gob.mx/>



32. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). Estadística, medio ambiente. Suelo, superficie por tipo de uso de suelo o vegetación por entidad federativa, 2011. <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb340&s=est&c=35603>. Consultado 27/01/2018; 13:43pm
33. Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347, 768–771.
34. Kohler, M., J. Tremp, M. Zennegg, C. Seiler, S. Minder-Kohler, M. Beck, P. Lienemann, L. Wegmann and P. Schmidt (2005). “Joint sealants: An overlooked diffuse source of polychlorinated biphenyls in buildings.” *Environmental Science & Technology* 39(7): 1967-1973.
35. Liu, T., Wang, M. W., & Chen, P., 2013. Influence of waste management policy on the characteristics of beach litter in Kaohsiung, Taiwan. *Marine Pollution Bulletin*, 72, 99–106.
36. Li W.C., Tse H.F., Fok L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment* 566–567, 333–349.
37. Llorente-Bousquets, J., y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322.





38. Lozoya J.P., Teixeira de Mello F., Carrizo D., Weinstein F., Olivera Y., Cedres F., Pereira M., Fossati M., 2016. Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents? *Environmental Pollution* 218, 931-941.
39. Mapas de Áreas Naturales Protegidas competencia estatal y Áreas Naturales protegidas competencia federal. Fuente INEGI Areas Naturales Protegidas Federales e INEGI Areas Naturales Protegidas Estatales
40. Mapa de división política del estado de Quintana [https://www.google.com/search?q=mapa+de+quintana+roo&rlz=1C1CHBD\\_esMX835MX835&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiU1ZLa1sHiAhVBHDQIHbTvCu4Q\\_AUIDyqC&biw=1366&bih=657#imgrc=PCWgBT4Nux4YMM](https://www.google.com/search?q=mapa+de+quintana+roo&rlz=1C1CHBD_esMX835MX835&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiU1ZLa1sHiAhVBHDQIHbTvCu4Q_AUIDyqC&biw=1366&bih=657#imgrc=PCWgBT4Nux4YMM). Consultado 29 de mayo 2019.
41. Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México Escala 1:250000. Fuente. INEGI-CONAGUA. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica Digital, por condensado estatal Escala 1:250 000, serie IV. INEGI. Información Topográfica Digital Escala 1:250 000, serie III.4
42. Mapa de los sitios RAMSAR ubicados en Quintana Roo. Fuente: CONANP. *Humedales de México*. <http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php> (5 de julio de 2016).
43. Olavarrieta García Tabata, 2017. Abundancia de microplásticos en la Bahía de La Paz y niveles de ftalatos en el Rorcuál común



---

(Balaenoptera physalus), Tesis de maestría de la Universidad Autónoma de Baja California Sur.

44. 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>
45. Plastic Europe, 2018. Plastic- The facts 2018. An analysis of European plastic production, demand and waste data, [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf)
46. Pozo, C., Armijo Canto, N. y Calmé, S. (editoras).2011. Riqueza Biológica de Quintana Roo. Un análisis para su conservación, Tomo I. El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad(Conabio), Gobierno del Estado de Quintana Roo y Programa de Pequeñas Donaciones(ppd). México, DF. [http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/QuintanaRoo/TOMO\\_1/1\\_Capitulo\\_baja.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/pdf/QuintanaRoo/TOMO_1/1_Capitulo_baja.pdf)
47. 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.



- 
48. Retama Gallardo Ivonne, 2016. Repositorio Dspace. 2016. Evaluación ambiental de las playas de Huatulco, Oaxaca, México. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/18540>
49. Rojo-Nieto y Montoto. 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Ecologistas en Acción. España.
50. Rosevelt, C., Los Huertos, M., Garza, C., & Nevins, H. M., 2013. Marine debris in central California: Quantifying type and abundance of beach litter in Monterey Bay, CA. Marine Pollution Bulletin, 71(1–2), 299–306.
51. Rothstein, S. I., 1973. Plastic particle pollution of the surface of the Atlantic Ocean: Evidence from a seabird. Condor, 75(344), 5.
52. 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.
53. Satura basura Cozumel por deficiente servicio de recolección (periódico el Quadratin, Quintana Roo, 1 junio 2019) <https://quintanaroo.quadratin.com.mx/satura-basura-cozumel-por-deficiente-servicio-de-recoleccion/>. Consultado 2 de junio 2019.
54. SEMARNAT. 2008. Programa rector de desarrollo costero del estado de Quintana Roo. SCT.



<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/PNDP2008/doc/pred/pqroo.pdf>

55. Shiber, J.G., 1979. Plastic pellets on the coast of Lebanon. Mar. Pollut. Bull. 10, 28e30. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(79\)90321-7](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(79)90321-7).
56. Tabla de Áreas Naturales Protegidas. Fuente INEGI. Anuario Estadístico del estado de Quintana Roo 2016.
57. Tabla de ríos, lagunas y cuerpos de agua de la zona costera de Quintana Roo. Fuente: INEGI-CONAGUA. Mapa de la Red Hidrográfica Digital de México Escala 1:250 000. INEGI. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica Digital, por condensado estatal Escala 1:250 000, serie IV
58. Tabla de Sitios RAMSAR del estado de Quintana Roo. Fuente (anuario estadístico y geográfico del estado de Quintana Roo 2016).
59. Thiel, M., Hinojosa, I. A., Miranda, L., Pantoja, J. F., Rivadeneira, M. M., & Vásquez, N., 2013. Anthropogenic marine debris in the coastal environment: A multi-year comparison between coastal waters and local shores. Marine Pollution Bulletin, 71, 307–316.
60. 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.



61. Topçu, E. N., Tonay, A. M., Dede, A., Öztürk, A. A., & Öztürk, B., 2013. Origin and abundance of marine litter along sandy beaches of the Turkish Western Black Sea Coast. *Marine Environmental Research*, 85, 21–28.
62. UNEP, 2009. *Marine Litter: A Global Challenge*. United Nations Environment Program – Nairobi, Kenya, 232pp.
63. UNEP, 2016. *Marine plastic debris and microplastic-Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. United Nations Environment Programme, Nairobi.
64. Vientos dominantes en Chetumal  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/chetumal\\_m%C3%A9xico\\_3531023](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/chetumal_m%C3%A9xico_3531023). Consultado 29 de mayo 2019).
65. Vientos dominantes en Isla Cozumel  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/cozumel\\_m%C3%A9xico\\_3530103](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/cozumel_m%C3%A9xico_3530103). Consultado 29 de mayo, 2019.
66. Vientos dominantes en Punta Allen  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/punta-allen\\_m%C3%A9xico\\_3520964](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/modelclimate/punta-allen_m%C3%A9xico_3520964). Consultado 29 mayo 2019).
67. Wessel et al. 2016. Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries. *Marine pollution bulletin*.109 (2016) 178-183



- 
68. Winston, J. E., 1982. Drift plastic—an expanding niche for a marine invertebrate? *Marine Pollution Bulletin*, 13, 348–351.
69. Woodall, L.C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G.L.J., Coppock, R., Sleight, V., Calafat, A., Rogers, A.D., Narayanaswamy, B.E., Thompson, R.C., 2014. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. Open Sci.* 1 (4), 140317e140317. <http://doi.org/10.1098/rsos.140317>