

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**Factores que inciden en la presencia de microplásticos en playas
mexicanas**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS
PRESENTA
JUAN CARLOS ALVAREZ ZEFERINO**

**DIRECTORA
DRA. SARA OJEDA BENITEZ
CODIRECTORA
ALETHIA VAZQUEZ MORILLAS**

Mexicali, B. C.

Noviembre 2020

Resumen

El medio marino está constituido por diversos elementos los cuales están expuestos a distintos tipos de contaminación. Uno de esos elementos lo conforman las playas, las cuales se definen cómo la orilla de sedimentos (arena, piedras o rocas) de un cuerpo de agua, por otra parte, los tipos de contaminación existentes el que más queja a las playas hoy en día es la contaminación por residuos.

Uno de los materiales presentes en los residuos marinos son los plásticos, estos representan la mayor proporción del total de residuos y se asume que han llegado hasta estos entornos debido a su manejo inadecuado en las actividades terrestres o costeras. El problema con los residuos plásticos se agrava cuando por acción mecánica, de los microorganismos, radiación ultravioleta u oxidación se degradan y dan lugar a piezas más pequeñas llamadas microplásticos (MP).

Los MP representan una gran problemática ambiental debido a que por su tamaño resulta imposible retirarlos del medio en el cual se encuentren, además adsorben contaminantes orgánicos o metales del agua, pueden ser ingeridos por la fauna marina y transportar especies invasoras. Particularmente la presencia de MP en playas puede verse influenciada por diversos factores, sin embargo, para establecerlos se deben en tomar en cuenta una serie de aspectos, tales como ubicación y tipo de playa, presencia de rellenos sanitarios o plantas de tratamiento de aguas residuales cercanas a la playa, afluencia turística, tamaño de la población, ríos cercanos, entre otros.

En México se cuenta con aproximadamente 11,122 km de costa la cual está integrada por 17 estados, que se encuentran distribuidos en el Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. La contaminación en mares y costas mexicanas por residuos sólidos es evidente, pero hasta la fecha no existe algún programa o normatividad enfocada a su monitoreo continuo para conocer tendencias, los factores que inciden y que acciones se podrían llevar a cabo para mitigar esta problemática.

Con base en lo anterior se desarrolló la presente investigación cuyo objetivo fue evaluar los factores que inciden en la presencia de residuos sólidos y microplásticos en once playas mexicanas. Para lo cual en primera instancia se desarrollaron técnicas de muestro de residuos y microplásticos, posteriormente se realizaron dos campañas de muestreo (2018 y en 2019), en cada una de ellas se muestrearon residuos sólidos y microplásticos y se recolectó información relevante en una ficha de indicadores.

Los muestreos se realizaron en fin de semana (sábado y domingo), a primera hora del día y en un transecto de 100 m paralelo a la línea pleamar. Para los residuos sólidos el transecto se dividió en 20 secciones de las cuales se eligieron 5 de manera aleatoria, en ellas se recolectaron los residuos (> 5 mm) presentes desde la línea de agua hasta la línea de vegetación o infraestructura y posteriormente se clasificaron en diferentes categorías de residuos y fragmentos, de acuerdo con lo especificado en listado de la UNEP.

Con relación a los MP el muestreo se realizó sobre la línea pleamar, en ella se escogieron aleatoriamente 10 puntos en los cuales se enterró un muestreador cilíndrico de PVC para extraer la muestra. Las muestras de arena se trasladaron al laboratorio, ahí se pesaron en base húmeda y seca y se sometieron a pruebas de flotación para extraer los MP que finalmente se clasificaron por color, tipo, tamaño y composición química.

La presencia de residuos y microplásticos fue omnipresente en las once playas estudiadas, en el caso de los residuos, los plásticos representaron el material más recurrente con un 57 %, el valor anterior se encuentra dentro del intervalo reportado en diversos estudios a nivel internacional.

El residuo más comúnmente encontrado en las playas fueron las colillas de cigarrillos con un valor de 41.3 %, posteriormente le siguieron de las tapas y arillas metálicas 17.4 % y por último los residuos orgánicos 8.6 %. En cuanto a los fragmentos, los plásticos (rígidos, semirígidos, películas, fibras) representaron el 70.5 %, mientras que el 17.5 % fueron plásticos espumados.

Seis playas de las once fueron consideradas como muy sucias: Tecolutla, Progreso, Mahahual, Cruz de Huanacastle, Brujas y Ensenada, mientras que sólo en 2018 playa Troncones fue considerada como muy limpia. Existió una correlación significativa entre las concentraciones de residuos sólidos urbanos y fragmentos, lo que implica que a una mayor concentración de RSU también la hay en FRA.

Se identificó que las corrientes marinas, depositan entre un 3 – 50 % de los residuos recolectados en las playas, de esos residuos, los fragmentos fueron los más recurrentes en un intervalo del 34 – 98 %.

En cuanto a la presencia de microplásticos, en el 2018 se reportó un valor promedio global de 151.7 ± 205.6 MP/m², mientras que para 2019 el valor disminuyó a 95.5 ± 97.3 MP/m². Las características más comunes de los microplásticos fueron: el 91 % fueron del tipo secundario, 48 % fragmentos (rígidos y semirígidos), 25 % blanco, 31 % 4.1 -5.0 mm y 52 % polietileno.

Los factores que incidieron en la presencia de microplásticos fueron las actividades recreativas de las playas, la cercanía con puertos marítimos, las corrientes regionales y globales, las lluvias, evento de alta energía, la desembocadura de ríos y los cuerpos de agua, cada uno dependiente de la playa.

La presencia de residuos y microplásticos en las playas mexicanas es innegable, y está dominada por factores locales, regionales y globales, y su solución requiere esfuerzos conjuntos, tanto locales, nacionales e internacionales y para cual es indispensable la participación del sector industrial, académico, social y gubernamental.

Abstract

The marine environment is made up of various elements that are exposed to different types of pollution. One of these elements is made up of the beaches, which are defined as the sediment shore (sand, stones, or rocks) of a body of water, on the other hand, the types of existing pollution which most complain to the beaches today it is waste pollution.

One of the materials present in marine waste is plastics, these represent the largest proportion of total waste and it is assumed that they have reached these environments due to their improper handling inland or coastal activities. The problem with plastic waste is aggravated when mechanical action, microorganisms, ultraviolet radiation or oxidation degrade and give rise to smaller pieces called microplastics (MP).

MP represent a great environmental problem because due to their size it is impossible to remove them from the environment in which they are found, they also adsorb organic pollutants or metals from the water, they can be ingested by marine fauna and transport invasive species. Particularly, the presence of MP on beaches can be influenced by various factors, however, to establish them, a series of aspects must be taken into accounts, such as location and type of beach, presence of sanitary landfills, or nearby wastewater treatment plants to the beach, tourist influx, size of the population, nearby rivers, among others.

Mexico has approximately 11,122 km of coastline which is made up of 17 states, which are distributed in the Pacific Ocean, Gulf of Mexico, and the Caribbean Sea. Pollution in seas and coasts of Mexico by solid waste is evident, but to date, there is no program or regulation focused on its continuous monitoring to know trends, the factors that influence, and what actions could be carried out to mitigate this problem.

Based on the above, the present investigation was developed whose objective was to evaluate the factors that influence the presence of solid waste and microplastics in eleven Mexican beaches. For which, in the first instance, techniques for sampling waste and microplastics were developed, later two sampling campaigns were carried out (2018 and 2019), in each of them solid and microplastics waste was sampled and relevant information was collected in a data sheet indicators.

The samplings were carried out on weekends (Saturday and Sunday), early in the day, and in a 100 m transect parallel to the high tide line. For solid waste, the transect was divided into 20 sections of which 5 were randomly chosen, in which the waste (> 5 mm) present from the water line to the vegetation line or infrastructure was collected and later classified in to different categories of waste and fragments, following what is specified in the UNEP list.

Regarding the MP, the sampling was carried out on the high tide line, in it, 10 points were randomly chosen in which a cylindrical PVC sampler was buried to extract the sample. The sand samples were transferred to the laboratory, where they were weighed

on a wet and dry basis and subjected to flotation tests to extract the MP, that were finally classified by color, type, size, and chemical composition.

The presence of waste and microplastics was omnipresent in the eleven beaches studied, in the case of waste, plastics represented the most recurrent material with 57%, and the previous value is within the interval reported in various studies at the international level.

The most common residue found on the beaches were cigarette butts with a value of 41.3%, subsequently 17.4% from lids and metal rings, and finally organic waste 8.6%. Regarding the fragments, plastics (rigid, semi-rigid, films, fibers) represented 70.5%, while 17.5% were foamed plastics.

Six of the eleven beaches were considered very dirty: Tecolutla, Progreso, Mahahual, Cruz de Huanacastle, Brujas, and Ensenada, while only in 2018 Troncones beach was considered very clean. There was a significant correlation between the concentrations of urban solid waste (USW) and fragments (FRA), which implies that a higher concentration of USW also exists in FRA.

It was identified that the marine currents deposit between 3 - 50% of the waste collected on the beaches, of these waste, the fragments were the most recurrent in an interval of 34 - 98%.

Regarding the presence of microplastics, in 2018 a global average value of 151.7 ± 205.6 MP / m² was reported, while for 2019 the value decreased to 95.5 ± 97.3 MP / m². The most common characteristics of microplastics were: 91 % were of the secondary type, 48% fragments (rigid and semi-rigid), 25% white, 31% 4.1 -5.0 mm, and 52% polyethylene.

The factors that influenced the presence of microplastics were the recreational activities of the beaches, the proximity to maritime ports, regional and global currents, rains, high-energy events, the mouth of rivers and bodies of water, each one dependent on the beach.

The presence of waste and microplastics on Mexican beaches is undeniable, and is dominated by local, regional and global factors, and its solution requires joint efforts, both local, national and international and for which the participation of the industrial, academic, social and governmental are essential.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT le agradezco por la beca otorgada durante los cuatro años de mi doctorado, así como el apoyo brindado para realizar una estancia internacional.

A la Universidad Autónoma de Baja California por brindarme la oportunidad de pertenecer a esa gran institución, por todas las atenciones que me otorgaron, por las enseñanzas y los consejos de sus investigadores, en fin por permitirme ser parte de la comunidad Cimarrona.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, mi casa abierta al tiempo, que siempre me ha recibido con los brazos abiertos, en especial al Área de Tecnologías Sustentables.

A la Escuela Militar de Ingenieros (EMI) por sus atenciones, por el préstamo de sus instalaciones y el equipo de infrarrojo, en especial a los capitanes Pablo Ortíz, Julio Hernández y David Flores.

A la Universidad de Cantabria, en especial al grupo de la Doctora Amaya Lobo García, Ana López Martínez y Miguel Cuartas, quienes me recibieron con las puertas abiertas en sus instalaciones, me proveyeron valiosos consejos en la parte técnica y por hacer de mi estancia en Santander muy amena y agradable.

A los investigadores: Dra. Elizabeth, Dr. Néstor, Dra. Eliana y Dr. Cueto por todo su apoyo y sus buenas vibras.

A todas las familias que me brindaron posada y alimentos en los viajes, y me hicieron sentir como en casa: Cruz Salas (en especial a Vita y Catalina), Cruz Sotelo (en particular a Bety), Hernández Gómez y Ruíz Cabrera.

A mis compañeros del posgrado: Martha, Michelle, Rebeca, Ricardo, Armando y Juan por recibirme con entusiasmo, por los tours en Mexicali, por la grata compañía.

A mis amigos del laboratorio, Mariana Mendoza, Caro Martínez, Stephanie y David, que de alguna manera han contribuido a este gran proyecto, con valiosas aportaciones, y sobre todo con esa curiosidad que los caracteriza.

A todas las personas que me brindaron su apoyo, el listado es largo sin embargo, no me olvido de ninguno de ustedes y como se los prometí, pronto tendrán noticias de mí. Sin embargo, quiero agradecer muy afectuosamente a la señora Brígida Vásquez Cabrera por darme trabajo cuando más lo necesitaba, a don Refugio Castro por invitarme el taco más sabroso que he comido, a doña Lola por la sopa que también me hizo en la enfermedad, a Raúl un súper mecánico de bochos.

Agradecimientos especiales

Dra. Sara Ojeda Benítez

Dra. Alethia Vázquez Morillas

M. en C. Arely Areanely Cruz Salas

M. en C. Margarita Beltrán Villavicencio

Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo

M. en C. Arturo Torres

Jocelyn Tapia Fuentes

Dedicatoria

A mi familia, amigos y a todas las personas que creyeron en mí

Tabla de contenido

RESUMEN	II
ABSTRACT	IV
AGRADECIMIENTOS	VI
AGRADECIMIENTOS ESPECIALES	VII
DEDICATORIA	VIII
TABLA DE CONTENIDO	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XV
ACRÓNIMOS	XVI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	17
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 <i>General</i>	19
1.4.2 <i>Específicos</i>	19
1.5 HIPÓTESIS	20
1.5.1 <i>Hipótesis general</i>	20
1.5.2 <i>Hipótesis particulares</i>	20
2 MARCO TEÓRICO	21
2.1 LA IMPORTANCIA DEL OCÉANO EN EL PLANETA	22
2.1.1 <i>Dinámica de los océanos</i>	23
2.1.2 <i>La zona costera</i>	30
2.1.3 <i>Zona costera de México</i>	31
2.2 LA CONTAMINACIÓN MARINA	34
2.2.1 <i>Contaminación por residuos sólidos urbanos en playas</i>	35
2.2.2 <i>Los residuos plásticos como contaminantes de mayor incidencia</i>	43
2.3 CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN AMBIENTES MARINOS	46
2.3.1 <i>El origen de los microplásticos</i>	46
2.3.2 <i>Impactos de los microplásticos en ambientes marinos</i>	49
2.4 MÉTODOS PARA EL MUESTREO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y MICROPLÁSTICOS	55
2.4.1 <i>Protocolos para el muestreo de residuos sólidos</i>	55
2.4.2 <i>Protocolos para el muestreo de microplásticos</i>	57
2.4.3 <i>Metodologías propuestas por diversos investigadores para el estudio de microplásticos</i>	59
3 METODOLOGÍA.....	63
3.1 MUESTREOS PRELIMINARES	65
3.2 SELECCIÓN DE LAS PLAYAS DE ESTUDIO	65
3.2.1 <i>Selección de regiones</i>	66
3.2.2 <i>Selección de playas</i>	66
3.2.3 <i>Selección de la zona de muestreo</i>	67
3.3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO	67
3.3.1 <i>Registro de características geográficas de la zona de estudio</i>	68
3.3.2 <i>Evaluación de la calidad ambiental</i>	69
3.4 MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS Y MICROPLÁSTICOS.....	71
3.4.1 <i>Muestreo y caracterización de residuos</i>	72
3.4.2 <i>Muestreo, extracción y clasificación de microplásticos</i>	77
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	84
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	86
4.1 ESTUDIOS PRELIMINARES	87

4.2	SELECCIÓN DE PLAYAS DE ESTUDIO	88
4.3	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL	89
4.3.1	<i>Indicador de urbanización</i>	90
4.3.2	<i>Indicador de conservación</i>	91
4.3.3	<i>Indicador de potencial recreativo</i>	91
4.3.4	<i>Indicador de gestión de residuos</i>	92
4.3.5	<i>Indicador de contaminación</i>	93
4.3.6	<i>Percepción del usuario</i>	94
4.3.7	<i>Análisis multivariado de los indicadores y percepción de usuario</i>	95
4.4	MUESTREO DE RESIDUOS	98
4.4.1	<i>Análisis de residuos de la primera campaña</i>	98
4.4.2	<i>Análisis de residuos de la segunda campaña</i>	111
4.4.3	<i>Análisis global de residuos</i>	123
4.5	PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS	133
4.5.1	<i>Análisis de la presencia de microplásticos en la primera campaña</i>	133
4.5.2	<i>Análisis de la presencia de microplásticos en la segunda campaña</i>	139
4.5.3	<i>Análisis global de microplásticos</i>	147
4.5.4	<i>Análisis estadístico de los factores que inciden en la presencia de microplásticos</i>	151
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	168
5.1.1	<i>Selección de playas de estudio y temporalidad de muestreos</i>	169
5.1.2	<i>Evaluación de indicadores de calidad ambiental</i>	170
5.1.3	<i>Presencia de residuos en playas</i>	171
5.1.4	<i>Presencia de microplásticos</i>	175
6	CONCLUSIONES.....	184
7	RECOMENDACIONES.....	192
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	197
9	ANEXOS	214
9.1	FICHA PARA EL REGISTRO DE CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	215
9.2	FICHA DE EVALUACIÓN DE PLAYAS	217
9.3	ENCUESTA DE PERCEPCIÓN PARA EL USUARIO	222
9.4	FICHA PARA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN AMBIENTES MARINOS	223
9.5	ANEXO. MONOGRAFÍA DE LAS PLAYAS ESTUDIADAS.....	226
9.5.1	<i>Playa Miramar</i>	226
9.5.2	<i>Playa Tecolutla</i>	230
9.5.3	<i>Playa Progreso</i>	234
9.5.4	<i>Playa Mahahual</i>	238
9.5.5	<i>Playa Zipolite</i>	242
9.5.6	<i>Playa Troncones</i>	246
9.5.7	<i>Playa Cruz de Huanacastle</i>	250
9.5.8	<i>Playa Brujas</i>	254
9.5.9	<i>Playa Puerto Peñasco</i>	258
9.5.10	<i>Playa Ensenada</i>	262
9.5.11	<i>Playa Cerritos</i>	266

Lista de Figuras

Figura 1 Publicaciones relacionadas con la contaminación de microplásticos.....	4
Figura 2 Predicción del modelo de densidad para el conteo global (piezas/km ²) de cuatro clases de tamaño de residuos plásticos	5
Figura 3. Regiones oceánicas en México	17
Figura 4 Distribución mundial de las corrientes superficiales (NOAA, 2017a)	25
Figura 5 Los cinco grandes giros oceánicos Fuente: (NOAA, 2017b).....	25
Figura 6 Corrientes profundas. Fuente: (GeoEnciclopedia, Sin fecha)	26
Figura 7. Las grandes corrientes de México. Modificado de Lanza 2004	27
Figura 8 Fases lunares y su relación con las mareas	30
Figura 9 Terminología de la zona costera. Modificado de Bird, 2008	31
Figura 10 División geomorfológica de las regiones costeras de México. Modificado de Lanza-Espino, 2004	32
Figura 11 Procesos asociados a la contaminación por residuos del mar. Modificado de Seoáñez-Calvo, 2000	35
Figura 12 Número de estados participantes por año	38
Figura 13 Número de voluntarios por año	39
Figura 14 Longitud recorrida por año	40
Figura 15 Longitud recorrida por participante por año.....	41
Figura 16 Relación piezas/metro por año	42
Figura 17 Relación piezas/masa por año.....	43
Figura 18 Clasificación de plásticos. PE: polietileno, PP: polipropileno, PS: poliestireno, PVC: policloruro de vinilo, PET: polietileno tereftalato, PU: poliuretano.....	44
Figura 19. Consumo nacional aparente de tres tipos de resinas. Elaboración propia con datos de (ANIQ, 2020).....	46
Figura 20 Origen de los microplásticos	48
Figura 21 Ingreso de los microplásticos a la cadena trófica	50
Figura 22 Metodología empleada para el desarrollo del estudio	64
Figura 23 Jerarquización de la selección de las zonas de estudio	66
Figura 24 Esquema de la ficha del levantamiento de datos geográficos de las playas	68
Figura 25 Indicadores evaluados (# de parámetros)	69
Figura 26 Escala para la evaluación de indicadores	71
Figura 27 Área de estudio residuos y microplásticos en playas	72
Figura 28 Clasificación de los residuos	73
Figura 29 Área de estudio para residuos.....	74
Figura 30 Diagrama de muestreo para la caracterización de residuos	75
Figura 31 Ejemplos de líneas pleamares. a) playa “el Cochorit”, Sonora; b) playa “Zipolite”, Oaxaca; c) playa “Cruz de Huanacaxtle”, Nayarit; d) playa “Troncones”, Guerrero	77
Figura 32 Muestreo de microplásticos.....	78
Figura 33 Metodología empleada para el muestreo de microplásticos. a) hundimiento del muestreador; b) segmentación de la muestra; c) deposición de la muestra en charola de aluminio; d) determinación de la masa de la muestra; e) enjuague de la muestra; f) retención de residuos en malla de 4.75 mm; g) retención de residuos en malla de 0.5 mm; h) vaciado de residuos en papel aluminio; i) rotulación de las muestras	79
Figura 34 Metodología para la extracción de microplásticos.....	80
Figura 35. Microplásticos observado al microscopio con un aumento de 10X	82
Figura 36 Playas contempladas en el estudio. Los colores de los círculos representan la región marina a la que pertenecen: Golfo de México (naranja), Mar Caribe (azul), Pacífico Tropical (verde), Golfo de California (rojo) y Pacífico Noroeste (amarillo)	89
Figura 37. Resultados para el indicador de urbanización. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja).....	90
Figura 38. Resultados para el indicador de conservación. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja).....	91
Figura 39. Resultados para el indicador de potencial recreativo. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja).....	92
Figura 40. Resultados para el indicador de gestión de residuos. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja).....	93
Figura 41. Resultados para el indicador de contaminación. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja).....	94
Figura 42. Percepción del usuario en cuanto al tipo de residuos más presentes en las playas. Los valores representan el porcentaje de cada residuo de un total de 330 entrevistas	95
Figura 43. Regresión simple de los indicadores urbanización y potencial recreativo	96
Figura 44. Regresión simple del indicador gestión de residuos y de la percepción del usuario.....	97

Figura 45. Organización de los resultados para la presencia de residuos	98
Figura 46 Composición de residuos (RSU + FRA) en la primera campaña en términos de piezas (n = 6,201)	100
Figura 47 Incremento porcentual de residuos sólidos urbanos de sábado a domingo en la primera campaña	102
Figura 48 Clasificación de residuos sólidos urbanos por tipo de material, valor promedio de los dos días para la primera campaña de muestreo en términos de piezas (n=3,222)	103
Figura 49. Composición de RSU por tipo de material para la primera campaña (n=3,222 piezas)	104
Figura 50 Composición de FRA en la primera campaña en términos de piezas (n=2,979 piezas)	105
Figura 51 Índice de contaminación para la primera campaña de muestreo (2018). a) Residuos sólidos urbanos (izquierda) y b) Residuos sólidos urbanos + fragmentos (derecha)	106
Figura 52. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Primera campaña. Las líneas rojas representan el limite deconfianza, mientras que las negras son los limites de predicción	107
Figura 53. Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar. Primera campaña	108
Figura 54. Proporción de residuos por zona, primera campaña. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar	109
Figura 55. Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Primera campaña	110
Figura 56 Composición de residuos (RSU + FRA) en la segunda campaña en términos de piezas (n = 4,507)	112
Figura 57. Incremento porcentual de residuos sólidos urbanos de sábado a domingo en la segunda campaña	114
Figura 58. Clasificación de residuos sólidos urbanos por tipo de material, valor promedio de los dos días para la segunda campaña de muestreo en términos de piezas (n=2,463)	115
Figura 59. Composición de RSU por tipo de material para la segunda campaña (n=2,463 piezas)	116
Figura 60 Composición de FRA en la segunda campaña (n=2,044 piezas)	117
Figura 61. Índice de contaminación para la segunda campaña de muestreo (2019). a) Residuos sólidos urbanos (izquierda) y b) Residuos sólidos urbanos + fragmentos (derecha)	118
Figura 62. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Segunda campaña. Las líneas rojas representan el limite deconfianza, mientras que las negras son los limites de predicción	119
Figura 63 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal-Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar. Segunda campaña	120
Figura 64 Proporción de residuos por zona, segunda campaña. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar	121
Figura 65 Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Segunda campaña	122
Figura 66. Clasificación global de residuos (RSU + FRA) en términos de piezas	123
Figura 67. Clasificación de residuos sólidos urbanos + fragmentos. En terminos de piezas (n= 10,708)	124
Figura 68 Los RSU más comunes en playas mexicanas en términos de piezas	125
Figura 69. Clasificación de residuos sólidos urbanos en términos de piezas	125
Figura 70 Clasificación de residuos sólidos urbanos en términos de piezas	126
Figura 71 Clasificación de fragmentos en términos de piezas	127
Figura 72 Clasificación de fragmentos en terminos de piezas	127
Figura 73 Índice de contaminación global de las dos campañas. Derecho) Residuos sólidos urbanos, izquierdo) residuos sólidos urbanos + fragmentos	128
Figura 74. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Global. Las líneas rojas representan el limite deconfianza, mientras que las negras son los limites de predicciónGlobal	129
Figura 75 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar.Global	130
Figura 76. Proporción de residuos por zona, global. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar	130
Figura 77. Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Global	131
Figura 78 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella. Global	132
Figura 79. Concentraciones de microplásticos de la primera campaña	134
Figura 80. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para el día de muestreo. Primera campaña	135
Figura 81. Prueba Kruskal-Wallis al 95% de confianza para la región marina. Primera campaña	135
Figura 82 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa	136
Figura 83 Clasificación de microplásticos por forma en terminos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa	137

Figura 84 Clasificación de microplásticos por color, en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa	138
Figura 85 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa	138
Figura 86. Clasificación de microplásticos por composición química en términos de piezas (n = 635). Primera campaña. a) valores globales; b) distribución por playa.....	139
Figura 87 Concentraciones de microplásticos de la segunda campaña	140
Figura 88. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para el día de muestreo. Segunda campaña	141
Figura 89. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para la región marina. Segunda campaña	142
Figura 90 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa	143
Figura 91 Clasificación de microplásticos por forma en terminos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa	144
Figura 92 Clasificación de microplásticos por color, en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa	145
Figura 93 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa	146
Figura 94 Clasificación de microplásticos por composición química e término de piezas (n = 545). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa.....	146
Figura 95 Concentraciones de microplásticos global	148
Figura 96 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 1419). Global a) por campaña; b) proporción	149
Figura 97 Clasificación de microplásticos por forma en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción	149
Figura 98 Clasificación de microplásticos por color en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción	150
Figura 99 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción	150
Figura 100 Clasificación de microplásticos por composición química en terminos de piezas (n = 1,180). Global a) por campaña; b) proporción.....	151
Figura 101. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: Océano Atlántico y Pacífico.....	152
Figura 102. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: regiones marinas.....	153
Figura 103 Corrientes marinas del Golfo de California	154
Figura 104 Corrientes marinas del Golfo de México	155
Figura 105 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste.....	156
Figura 106 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste.....	157
Figura 107 Botella de Guatemala, localizada en playa Troncones, Guerrero.....	157
Figura 108 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste.....	158
Figura 109 Residuos de botellas internacionales recolectados en Mahahual, Quitana Roo. a) Surinam, b) Haití, c-d) Jamaica.....	158
Figura 110. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: primera y segunda campaña	159
Figura 111. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: sábado y domingo.....	160
Figura 112. Izquierda) Hielera de unisel fragmentada. Derecha) Balines de plastico utilizados como municiones... 161	161
Figura 113. Análisis estadístico con un 95% de significancia. Factores: playas (11).....	162
Figura 114 Regresiones simples Izquierdo microplásticos (MP) y residuos (RES) y derecho microplásticos (MP)y fragmentos (FRA), para la primera campaña.	166
Figura 115 Regresiones simples Izquierdo microplásticos y residuos y derecho microplásticos y fragmentos, para la segunda campaña.	166
Figura 116 Regresiones simples Izquierdo microplásticos y residuos y derecho microplásticos y fragmentos, global	167
Figura 117 Localización de playa Miramar en el estado de Tamaulipas	226
Figura 118 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km), Playa Miramar. Google Earth 20/01/2019	228
Figura 119 Zona de muestreo. Playa Miramar. Google Earth 16/06/2019	228
Figura 120 Playa Miramar: a) imagen general de la playa, b-c) comercio sobre la playa, d) infraestructura de madera, e) baños portátiles instalados en la playa, f-g) depósitos de residuos y su recolección, h) depósito móvil de residuos, i) microplásticos en la playa	229
Figura 121 Localización de playa Tecolutla en el estado de Veracruz.....	230
Figura 122 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Tecolutla. Google Earth 20/01/2019	231
Figura 123 Zona de muestreo. Playa Tecolutla. Google Earth 16/06/2019.....	232
Figura 124 Playa Tecolutla: a) imagen general de la playa, b-c) comercio sobre la playa, d) infraestructura de madera, e) mobiliario de plástico, f) residuos mal dispuestos en playa, g) limpieza de playa, h) residuos en la línea de pleamar, i) bolsas con residuos	233

Figura 125 Localización de playa Progreso en el estado de Yucatán	234
Figura 126 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Progreso. Google Earth 20/01/2019.....	235
Figura 127 Zona de muestreo. Playa Progreso. Google Earth 16/06/2019	236
Figura 128 Playa Progreso: a) imagen general de la playa, b) puerto marítimo, c-d) infraestructura de madera, e) mobiliario de plástico, f) actividades recreativas en la playa, g) anuncios para la protección de la fauna, h) inflable dentro del mar, i) contenedor de PET	237
Figura 129 Localización de playa Mahahual en el estado de Quintana Roo	238
Figura 130 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Mahahual. Google Earth 20/01/2019.....	239
Figura 131 Zona de muestreo. Playa Mahahual. Google Earth 16/06/2019	240
Figura 132 Playa Mahahual: a) imagen general de la playa, b) presencia de sargazo sobre la playa, c) embarcaciones atracadas a la orilla de la playa, d) recolección de sargazo, e) anuncios para concientizar al turismo, f) residuos incinerados en la playa, g) residuos mal depositados en la playa, h) recipientes de residuos en mal estado, i) recipientes de residuos divididos en fracciones reciclables, no reciclables y orgánicos.....	241
Figura 133 Localización de playa Zipolite en el estado de Oaxaca	242
Figura 134 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Zipolite. Google Earth 20/01/2019.....	243
Figura 135 Zona de muestreo. Playa Zipolite. Google Earth 16/06/2019	244
Figura 136 Playa Zipolite: a) imagen general de la playa, b) tránsito de vehículos en playa, c) comercio sobre la playa, d-e) depósitos de residuos, f) residuos mal depositados, g) residuos vegetales sobre la línea de pleamar, h) microplásticos entre residuos vegetales, i) microplásticos en la playa	245
Figura 137 Localización de playa Troncones en el estado de Guerrero	246
Figura 138 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Troncones. Google Earth 20/01/2019	247
Figura 139 Zona de muestreo. Playa Troncones. Google Earth 16/06/2019.....	248
Figura 140 Playa Troncones: a) imagen general de la playa, b) tránsito de vehículos en la playa, c) depósito de residuos en malas condiciones, d) advertencia del oleaje en la zona, e-f) depósitos de residuos colocados por comerciantes, g) residuos entre la vegetación, h) residuos en área de rocas, i) residuo plástico degradado.....	249
Figura 141 Localización de playa Cruz de Huanacaxtle en el estado de Nayarit	250
Figura 142 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Cruz de Huanacaxtle. Google Earth 20/01/2019..	251
Figura 143 Zona de muestreo. Playa Cruz de Huanacaxtle. Google Earth 16/06/2019	252
Figura 144 Playa Cruz de Huanacaxtle: a) imagen general de la playa, b) vehículos sobre la playa, c) comercio sobre la playa, d-e) recipientes para residuos, f-g) anuncios sobre residuos en la playa, h) muestreo de residuos, i) residuos voluminosos.....	253
Figura 145 Localización de playa Brujas en el estado de Sinaloa	254
Figura 146 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Brujas. Google Earth 20/01/2019	255
Figura 147 Zona de muestreo. Playa Brujas. Google Earth 16/06/2019	256
Figura 148 Playa Brujas: a-b) vista general de la playa, c-d) vehículos sobre la playa, e-f) depósitos de residuos, g-h) anuncio para la correcta disposición de residuos, i) microplásticos en la playa	257
Figura 149 Localización de playa Puerto Peñasco en el estado de Sonora	258
Figura 150 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Puerto Peñasco. Google Earth 20/01/2019	259
Figura 151 Zona de muestreo. Playa Puerto Peñasco. Google Earth 16/06/2019	260
Figura 152 Playa Puerto Peñasco: a-c) vista general de la playa d) carpas de turistas, e) paseos en la playa, f-h) depósito de residuos, i) residuos de pesca	261
Figura 153 Localización de playa Ensenada en el estado de Baja California	262
Figura 154 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Ensenada. Google Earth 20/01/2019.....	263
Figura 155 Zona de muestreo. Playa Ensenada. Google Earth 16/06/2019.....	264
Figura 156 Playa Ensenada: a-b) vista general de la playa, c) infraestructura de madera, d) anuncios de prohibición de residuos, e) acampado en la playa, f) residuos incinerados, g-h) depósitos de residuos, i) pepena de residuos en los depósitos.....	265
Figura 157 Localización de playa Cerritos en el estado de Baja California Sur.....	266
Figura 158 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Cerritos. Google Earth 20/01/2019	267
Figura 159 Zona de muestreo. Playa Cerritos. Google Earth 16/06/2019.....	268
Figura 160 Playa Cerritos: a-c) vistas general de la playa, d-f) sitios de hospedaje, g) palapas de madera, h) depósitos de residuos, i) residuos de hidrocarburos	269

Lista de Tablas

Tabla 1 Ocurrencia de microplásticos en zonas costeras a nivel mundial.....	12
Tabla 2 Estudios internacionales de microplásticos.....	15
Tabla 3. Corrientes superficiales globales.....	24
Tabla 4 Residuos con mayor ocurrencia a nivel mundial en el periodo 1975-2010.....	37
Tabla 5 Códigos de identificación de plásticos.....	45
Tabla 6 Categorías utilizadas para describir a los microplásticos.....	48
Tabla 7 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas.....	55
Tabla 8 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas.....	57
Tabla 9 Resumen de las metodologías utilizadas para la recolección de muestras en playa.....	60
Tabla 10. Ubicación, fecha y objetivo de los estudios preliminares.....	65
Tabla 11 Categorías por material contempladas para la clasificación de residuos sólidos urbanos y fragmentos.....	76
Tabla 12 Densidades características de plásticos.....	81
Tabla 13 Clasificación de microplásticos.....	83
Tabla 14. Resultados de los estudios preliminares.....	87
Tabla 15. Ubicación de las playas estudiadas.....	88
Tabla 16. Análisis multivariado con un 95 % de confianza, método de coeficiente de Pearson. (Valor p).....	95
Tabla 17. Concentraciones de residuos sólidos urbanos, fragmentos y la suma de ambos (piezas/m ²). Primera campaña.....	99
Tabla 18. Los diez residuos sólidos urbanos más recurrentes en las playas para la primera campaña en terminos de piezas (n = 3,222).....	101
Tabla 19. Concentraciones de residuos sólidos urbanos, fragmentos y (piezas/m ²). Segunda campaña.....	111
Tabla 20. Los diez residuos sólidos urbanos más recurrentes en las playas para la segunda campaña.....	113
Tabla 21. Factores que inciden en las playas estudiadas.....	164
Tabla 22 Análisis multivariado.....	165
Tabla 23 Estudios internacionales de la presencia de residuos en playas.....	172
Tabla 24 Estudios internacionales de la presencia de microplásticos en playas.....	177
Tabla 25 Factores que se relacionaron con la presencia de microplásticos en playas.....	181

Acrónimos

ABS	Acrilonitrilo butadieno estireno
C	Celofán
FRA	Fragmentos
Mesop	Mesoplásticos (>5mm)
MP	Microplásticos
PA	Poliamida
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEBD	Polietileno de baja densidad
PET	Polietileno de tereftalato
PMA	Polimetacrilato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloruro de vinilo
RSU	Residuos sólidos urbanos

1 Introducción



We are tied to the ocean. And when we go back to the sea, whether it is to sail or to watch it, we are going back from whence we came. John F. Kennedy

Los microplásticos (MP) se definen como aquellas partículas que presentan en alguna de sus tres dimensiones un tamaño menor o igual a cinco milímetros y mayor o igual a un micrómetro. Proviene de diversas fuentes tales como la fragmentación de residuos de mayor tamaño, el derrame de pellets en embarcaciones o puertos, las aguas residuales que descargan en zonas costeras, y la desembocadura de ríos (Browne *et al.*, 2011).

La abundancia y distribución global de los MP ha aumentado durante las últimas décadas y los efectos ambientales que puedan generar son poco entendidos (Barnes *et al.*, 2009). Los MP se clasifican en dos categorías: primarios y secundarios, los primeros incluyen a los pellets y a las microperlas, los cuales son manufacturados con tamaños menores a 5mm.

Por otra parte, los secundarios provienen de la fragmentación de residuos plásticos más grandes, que al ser dispuestos en forma inadecuada llegan a diferentes ecosistemas, en los que son intemperizados por factores abióticos tales como radiación UV, temperatura y salinidad, así como por factores bióticos, que incluyen la formación de biopelícula, incrustaciones y desgaste mecánico producido por especies marinas (Alvarez-Zeferino, Beltrán-Villavicencio and Vázquez-Morillas, 2015).

Aunque los efectos de los MP no se han analizado en su totalidad, se conoce que provocan desórdenes alimenticios en especies marinas, sorben compuestos orgánicos hidrofóbicos y metales potencialmente tóxicos, los cuales pueden ingresar en la cadena trófica y provocar procesos de bioacumulación (Sharma *et al.*, 2020).

La dispersión y ocurrencia de los MP en ambientes marinos está definida por factores como la ubicación geográfica (pendiente, sustrato, corrientes), temporalidad (periodos vacacionales, eventos climatológicos) (Li, Tse and Fok, 2016) y actividades antropogénicas (usos recreativos) (Lozoya *et al.*, 2016).

La presencia de MP ha sido estudiada en la mayoría de los ecosistemas marinos y en todos se ha registrado su presencia, desde los terrestres como lo son las playas y manglares (Frias *et al.*, 2016), hasta aguas superficiales de los océanos, a través de la columna de agua y en los lechos marinos (Galgani, Hanke and Maes, 2015). El estudio

de los MP que se encuentran en playas es relevante, pues éstas son definidas como los ecosistemas más dinámicos del planeta, representan un hábitat para diversas especies, además de ser proveedoras de servicios ambientales. Dado que son las zonas en donde suceden los mayores procesos de acumulación de sedimentos y residuos, la presencia de MP puede ser significativa.

Debido a que los MP presentan tamaños del orden de milímetros a nanómetros, es imposible retirarlos por medios mecánicos de los ambientes marinos. Ante esta dificultad, se vuelve indispensable determinar el estado actual de los MP en las playas mexicanas e identificar los principales factores que intervienen en su ocurrencia, con la finalidad de establecer su posible origen y promover acciones de prevención y mitigación en estos ambientes.

1.1 Antecedentes

El primer registro de la presencia de microplásticos se remonta a 1972, cuando fueron observados en la superficie del mar de Sargazos (Carpenter and Smith, 1973), el cual se encuentra localizado en medio del giro del océano Atlántico Norte (zona de acumulación de residuos). En esa época los MP fueron reportados como “partículas de plástico” y no fue hasta el 2004 cuando se utilizó por primera vez el termino microplástico para referirse a partículas dispersas en el ambiente (Thompson *et al.*, 2004).

Hoy el día la problemática asociada a los microplásticos ha cobrado relevancia, debido a su omnipresencia en diversos ambientes, sobre todo los marinos. En la Figura 1 se presenta los resultados de la búsqueda del término microplásticos en dos bases de datos científicas internacionales, para el periodo 2006 -2020. En 2006, en ambas bases de datos sólo se encontró un artículo sobre el tema, mientras que para 2020 se reportan 731 artículos en Scopus y 554 para ScienceDirect, lo cual muestra un crecimiento exponencial en el interés por investigar el tema.

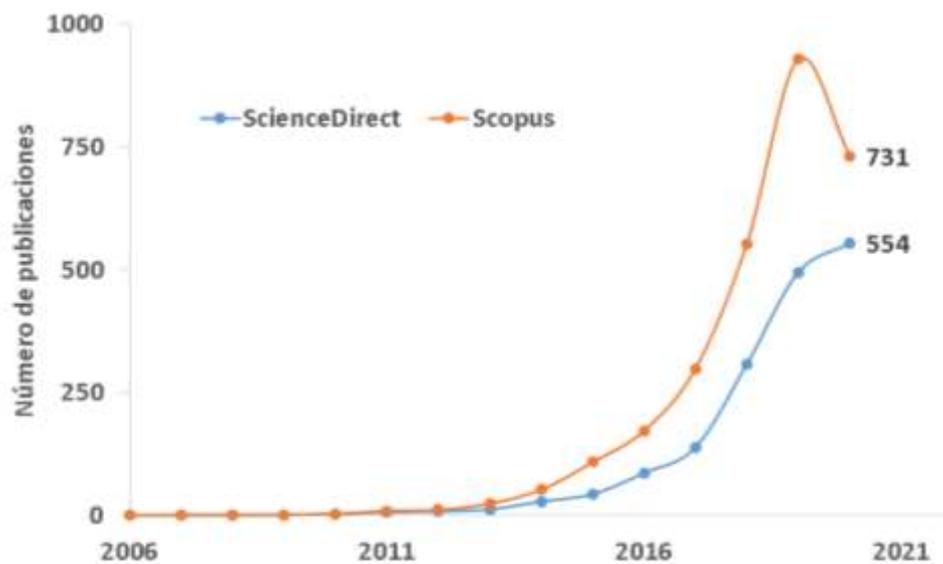
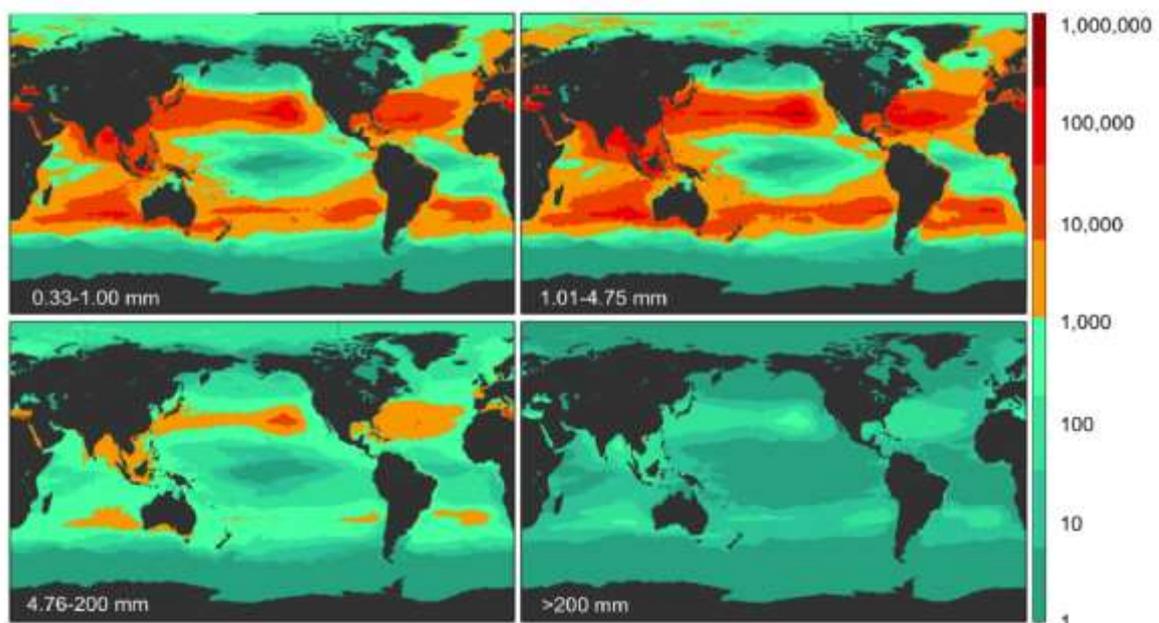


Figura 1 Publicaciones relacionadas con la contaminación de microplásticos

Distribución de los microplásticos en ecosistemas marinos

Los MP se han encontrado en todos los océanos, desde regiones cálidas hasta zonas heladas (Eriksen *et al.*, 2014); han sido reportados cerca de centros de población y también en lugares remotos (Desforges *et al.*, 2014), todo esto como resultado del transporte de las corrientes marinas superficiales y profundas. Sin embargo, existe una considerable variabilidad espacial en cuanto a las concentraciones reportadas.

En la Figura 2, se presenta el modelo de la incidencia de residuos plásticos en los océanos, en donde se contemplan cuatro clasificaciones, siendo la de 0.33-1.00 y 1.01-4.75 mm las correspondientes a los MP. Se observa que la mayor acumulación de residuos plásticos se presenta al norte del planeta, en los giros oceánicos del Pacífico y Atlántico Norte, sin embargo, también existe alta incidencia en el Océano Índico y en algunas regiones de Asia (mares de Japón y China) y Europa (mar Mediterráneo). En cuanto a México se refiere, el modelo predice que la mayor acumulación se presenta en las regiones marinas del Golfo de México y el Mar Caribe.



Fuente: (Eriksen *et al.*, 2014)

Figura 2 Predicción del modelo de densidad para el conteo global (piezas/km²) de cuatro clases de tamaño de residuos plásticos

Aguas superficiales

Los estudios realizados sobre la presencia de microplásticos (MP) en aguas marinas superficiales son vastos, y se han llevado a cabo alrededor del mundo, incrementándose cada año y ampliando la cobertura geográfica (GESAMP, 2015). A continuación, se describen resultados de investigaciones realizados en distintas regiones marinas.

En un estudio realizado en el Golfo de Lion (Noroeste del Mar Mediterráneo) se encontró alta variabilidad en cuanto a concentraciones de piezas y masa de MP. Los promedios de concentraciones fueron de 112×10^3 MP/km² y en cuanto a masa de 61.92 ± 178.03 g/km². La presencia de MP se asoció a actividades antropogénicas, además, se determinaron dos vías de ingreso: a través del río Rhône y por arrastre de la corriente superficial del Norte (Schmidt *et al.*, 2017).

Zhang y colaboradores en 2017 realizaron un estudio en el Mar de Bohai en China, en el cual se reportó un valor medio de 0.33 ± 0.34 MP/m³. Los MP más abundantes fueron polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Los MP en el intervalo de 1-5 mm fueron en su mayoría de PE, mientras que los < 1 mm fueron de PP. La acumulación en algunas zonas probablemente estuvo ligada con mecanismos de transporte y retención, gobernados por el viento y la dinámica de las corrientes (W. Zhang *et al.*, 2017).

En la zona económica exclusiva de Qatar, se determinó una concentración promedio de 0.71 MP/m³. Los materiales de los MP más comunes fueron PP, PE y PS, además la forma predominante fue granular. Los MP fueron evidentes en áreas cercanas a actividades antropogénicas, incluyendo una plataforma petrolera y embarcaciones (Castillo, Al-Maslamani and Obbard, 2016).

En un estudio realizado en la Bahía Trieste en el norte del Mar Adriático, Eslovenia, se reportó una concentración promedio 406×10^3 MP/km². El 80 % de los MP fueron identificadas como PE. En el estudio existió una variabilidad significativa de las concentraciones de MP, la cual fue atribuida a las corrientes superficiales (Gajšt *et al.*, 2016).

Faure y colaboradores en 2015, estudiaron la presencia de MP y residuos plásticos mayores a 5 mm denominados mesoplásticos (mesoP), se reportaron concentraciones de 130,000 MP/km² y 5,700 MesoP/km² en el Mar Mediterráneo Occidental. Los resultados evidenciaron una fuerte correlación entre los MP y MesoP. El 73 % de MP fueron fragmentos y el 14 % película. La relación masa promedio de MP/materia orgánica fue de 0.5, revelando una presencia significativa de MP en comparación con el plancton (Faure *et al.*, 2015).

En el Noreste del Océano Pacífico y la costa de Columbia Británica, se encontraron concentraciones en un intervalo de 8 - 9,200 MP/m³. El 75 % de los MP correspondieron a fibras, se encontraron altas concentraciones cerca de áreas urbanas por lo que se asoció a fuentes de origen terrestre. Sin embargo, una región fuera del área urbana presentó valores altos, lo cual se asoció a las condiciones oceanográficas que concentran los MP en esa zona (Desforges *et al.*, 2014).

En el Estuario de Yangtze y en el Mar de China, se reportaron concentraciones de 4,137.3 ± 2,461.5 y 0.167 ± 0.138 MP/m³, respectivamente. La desembocadura de ríos fue asociada a la presencia de MP. Las formas más frecuentes fueron fibras, gránulos y películas. Los plásticos presentaron fueron en su mayoría transparentes y coloreados. (Zhao *et al.*, 2014).

Como se observa en los ejemplos anteriores, los resultados son heterogéneos, y las causas de la presencia de MP son variadas, siendo la más recurrente las corrientes marinas, las cuales están gobernadas por las condiciones climatológicas. El origen de los MP se relacionó con las actividades antropogénicas y los ríos representan una fuente de ingreso de éstos a mares y océanos.

Sedimentos en fondo marino

Los estudios de MP en sedimentos del fondo marino son escasos y por lo regular se llevan a cabo con una embarcación y un con un instrumento llamado Box Corer o un muestreador tipo Van Veen (Ling *et al.*, 2017).

La hipótesis que se maneja comúnmente es que los MP de alta densidad tienen más posibilidades de llegar a los sedimentos en el fondo marino (Di and Wang, 2017), sin embargo, también es relevante considerar que la formación de biopelícula puede alterar la densidad de los MP (Sánchez-García *et al.*, 2016) alterando su flotabilidad, lo que podría provocar que los MP con densidades menores a las del agua marina se hundan y lleguen al fondo marino (N. Wu *et al.*, 2020). Se ha demostrado que mientras menor sea el tamaño de los MP aumenta su área superficial, y por ende la formación de biopelícula y posibilidad de hundimiento (Chubarenko *et al.*, 2016).

En un estudio realizado en el estuario de Changjiang, China, se recolectaron 53 muestras de sedimento con profundidades comprendidas en el intervalo de 0 - 36 m. La concentración media fue de 121 ± 9 MP/kg en base seca, el 93 % de los MP fueron fibras, el 42 % transparentes y el 58 % de MP fueron <1 mm. El rayón, poliéster y acrílico fueron los materiales más abundantes, por lo que la fuente de MP en el estuario fue atribuida a la descarga de aguas residuales que acarrearán fibras del lavado de ropa (Peng *et al.*, 2017).

Ling y colaboradores en 2017 realizaron un estudio en Australia, se muestrearon 42 puntos (0-15 m de profundidad) y en todos se encontró presencia de MP, además el promedio fue de 3.4 MP/mL de sedimento y el 84 % de los MP muestreados correspondieron a fibras (Ling *et al.*, 2017).

En otro estudio llevado a cabo en la bahía de Gorgan en el mar Caspio a una profundidad promedio de 1.5 m se encontraron concentraciones entre los 80 ± 25 y 740 ± 105 MP/kg, al igual que en los estudios anteriores las fibras fueron las más comunes, el color más frecuente fue el traslucido y el tamaño de 1- 2 mm (Bagheri *et al.*, 2020).

Se han analizado sedimentos en aguas profundas de los océanos, en un estudio realizado en la zona del Pacífico occidental, se recolectaron sedimentos en profundidades dentro del intervalo 4,601 - 5,732 m. Se reportaron concentraciones promedio de 240 MP/kg_{ss}, siendo las fibras las más abundantes (52.5 %), mientras que el color azul fue el más frecuente (45 %). En cuanto a los polímeros PP y PE representaron el 40 % seguidos del PET con 27.5 % (Zhang *et al.*, 2020).

En la mayoría de los estudios realizados en sedimentos, las muestras se toman en la superficie, por lo que se desestima la presencia de microplásticos que se encuentren a mayores profundidades. Courtene-Jones y colaboradores en el 2020, realizaron un estudio a una profundidad >2000 m en el canal de Rockall Trough en el Océano Atlántico, se tomaron seis núcleos de 10 cm (muestras con un cilindro) y se analizaron por intervalos de 0.5 cm. En todos los intervalos se reportaron microplásticos, además se observó una tendencia negativa significativa es decir que a mayor profundidad menor concentración de MP. La presencia de MP a las mayores profundidades fue atribuida a la porosidad del sedimento y a las vibraciones provocadas por los organismos presentes (Courtene-Jones *et al.*, 2020).

Analizando los resultados de los estudios anteriores, se observa que existe una alta incidencia de microfibras (en su mayoría de poliéster) que poseen una densidad igual o mayor a la del agua marina (Cole *et al.*, 2011), lo que válida la hipótesis de que los MP de alta densidad tienen más posibilidades de llegar a los sedimentos en el fondo marino. Las principales causas del transporte de MP a estos ecosistemas marinos son: la dinámica de las corrientes profundas (Zheng *et al.*, 2020), la tasa de sedimentación y la formación de biopelícula.

Columna de agua

Al igual que para los sedimentos en lecho marino, son pocos los estudios enfocados a la distribución de los MP a lo largo de la columna de agua, debido a las complicaciones técnicas que suelen haber en el muestreo (Brennecke *et al.*, 2016). Este tipo de estudios requiere además de una embarcación, de equipo más complejo para recolectar muestras a distintas profundidades.

Se ha demostrado que los MP se distribuyen verticalmente a lo largo de la columna de agua debido a la turbulencia provocada por el viento, por lo que en ocasiones las concentraciones de MP en los océanos suelen ser subestimadas (Kukulka *et al.*, 2012). Además, el tiempo de residencia de los MP en la columna de agua determina la posibilidad de ser ingeridos por zooplancton y peces (Zhang, 2017).

En un estudio que se llevó a cabo en Rockall Trough, Océano Atlántico Norte, Inglaterra, se encontraron fibras de plástico a una profundidad $>2,200$ m en concentraciones de 70.8 MP/m^3 , comparables a las de aguas superficiales. Se identificaron plásticos con densidades mayores y menores que el agua de mar lo cual indica un proceso de redistribución vertical (Courtene-Jones *et al.*, 2017).

En el Mar Báltico, se llevó a cabo un estudio en donde se muestrearon tres diferentes profundidades (0.7 a 2 m), los resultados obtenidos revelaron que las mayores concentraciones se encontraron cerca de la superficie y del fondo marino, 3 a 5 veces más que en las zonas intermedias, además, las fibras fueron los MP de mayor ocurrencia (Bagaev *et al.*, 2017).

En 2015 se llevó a cabo un estudio en el mar del Mediterráneo en donde se estudiaron 17 puntos a una profundidad promedio de 77 m, en todos los puntos muestreados se encontraron microplásticos, con una concentración promedio de $0.23 \pm 0.20 \text{ MP/m}^3$. En el estudio sólo se encontraron fibras de poliéster (Lefebvre *et al.*, 2019).

Dai y colaboradores en 2018 llevaron a cabo una investigación en el mar de Bohai ubicado en el Océano Pacífico Occidental, en el que se recolectaron muestras en 20 puntos, a diferentes profundidades desde los 5 hasta los 30 m. La mayor concentración de MP se encontró en el intervalo 5 - 15 m. Los MP en forma de fibras fueron los de mayor presencia (75 %), además se observó que los MP $<300 \mu\text{m}$ se encontraron con más frecuencia a mayor profundidad, debido a que poseen un área superficial mayor en comparación con MP más grandes, lo que propicia una rápida formación de bioincrustaciones y por ende su hundimiento (Dai *et al.*, 2018).

En una investigación llevada a cabo en el Mar Oriental de China se estudió la presencia de MP a una profundidad de 4 m. Se reportó una concentración media de $1.02 \pm 1.19 \text{ MP/m}^3$, uno de los hallazgos relevantes de esta investigación, fue que existe una estrecha relación entre el volumen de la muestra y la concentración obtenida de MP, a volúmenes $<8 \text{ m}^3$ existe una sobreestimación causada por la distribución aleatoria o heterogeneidad de los MP en la columna de agua (K. Liu *et al.*, 2019).

Los resultados en estudios en la columna de agua suelen ser heterogéneos, debido a dos factores principales: a) implicaciones técnicas, debido a que los equipos para estos estudios son costosos por lo que no siempre las muestras son tomadas de la misma manera; y b) factores climáticos como el viento, que produce fricción en la superficie del agua y a través de esa transferencia de energía provoca un movimiento en la columna de agua, que provoca una aleatoriedad al tomar las muestras.

Sedimentos en playas

La presencia y acumulación de MP en la superficie de las playas se ha reportado a nivel mundial (Lots *et al.*, 2017), sin embargo, los mecanismos y los factores dinámicos que controlan el transporte de MP de tierra a mar y viceversa siguen siendo difusos, por lo que se requiere recopilar información de campo como primer paso para comprender esos mecanismos y factores (Moreira *et al.*, 2016).

La zona costera podría ser considerada como el principal sumidero de MP en los ambientes marinos (Thiel *et al.*, 2013). Los MP pueden llegar a las playas de arena o de cantos rodados debido a corrientes superficiales, olas, mareas o bien por vientos que los arrastran desde la plataforma continental (Zhang, 2017). La interacción de los MP con la zona costera depende de las características que ésta tenga, tales como la composición del sustrato (lecho de roca, grava, arena, arcilla), vegetación y bioturbación (alteración de los sustratos por la actividad de los seres vivos) (Zhang, 2017).

Los MP pueden encontrarse en la superficie o distribuidos a lo largo del perfil vertical del sedimento. Se han encontrado MP a una profundidad de 2 m, lo cual se asocia a eventos oceanográficos de alta energía (tormentas tropicales, huracanes), los cuales son el mecanismo para su enterramiento (Turra *et al.*, 2015). La distribución de MP en la zona intermareal exhibe patrones dinámicos espacio/temporal de acuerdo a la geometría y regímenes de mareas (Dekiff *et al.*, 2014).

La mayoría de MP se localizan en la línea pleamar durante las bajamareas, sin embargo, también se ha encontrado en ambientes de baja energía (Mathalon and Hill, 2014). El transporte de MP puede verse afectado por características morfológicas costeras

(lagunas, barreras de coral, barrera de islas, dunas de arena) y por estructuras de ingeniería (rompeolas, puertos, malecones) (Zhang, 2017).

En la Tabla 1 se presentan ejemplos estudios que se han llevado a cabo sobre la ocurrencia de MP en zonas costeras. Las investigaciones realizadas se han llevado a cabo tanto en playas con apertura directa al mar, localizadas en bahías o bien en manglares, además, las playas estudiadas fueron regularmente de arena.

Tabla 1 Ocurrencia de microplásticos en zonas costeras a nivel mundial

Área de estudio	País	Resultados	Plásticos	Referencia
Región costera del sureste de Estados Unidos	Estados Unidos	24 % PET y 68 % Fibras	PET	(Yu <i>et al.</i> , 2018)
Región costera de Qatar	Qatar	36-228 MP/m ²	PE y PP	(Abayomi <i>et al.</i> , 2017)
Trece países europeos	Europa	72 – 1,512 MP/kg _{ss}	PE y PP	(Lots <i>et al.</i> , 2017)
Sureste de Inglaterra	Inglaterra	436 - 488 MP	PE y PP	(Massos and Turner, 2017)
Bahía de Bohai y Laizhou	China	1 - 7 MP	PE, PP y PS	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Sur de Portugal	Portugal	0.01 MP/g	PP y Rayón	(Frias <i>et al.</i> , 2016)
Bahía de Mobile, Alabama, Estados Unidos	Estados Unidos	5 - 117 MP/m ²	PE y PP	(Wessel <i>et al.</i> , 2016)
Bahías de Huatulco, Oaxaca	México	0 - 70 MP/30g _{ss}	N.R.	(Retama <i>et al.</i> , 2016)
Playa Kahuku, O'ahu y Playa Kamilio, Hawaii	Estados Unidos	16,206 – 28,782 MP	PE y PP	(Young and Elliott, 2016)
Bahía de Guanabara	Brasil	12 – 1,300 MP/m ² 3 - 743 MP/m ²	No identificaron	(de Carvalho and Baptista Neto, 2016)
Punta del Este	Uruguay	25 MP/m ² 3.2 gMP/m ²	PE y PP	(Lozoya <i>et al.</i> , 2016)
Costa Norte de Taiwán	Taiwán	8 - 484 MP/0.0125m ³ 4 - 532 MP/0.0125m ³	PE, PP, PS y ABS	(Kunz <i>et al.</i> , 2016)
Golfo de Beibu y Mar China, China	China	216 - 608 MP/50g _{ss}	PEAD, PET, Poliéster y PS	(Qiu <i>et al.</i> , 2015)
Manglares de Singapur	Singapur	3.0 - 15.7 MP/250g _{ss}	PE, PP, Nylon y PVC	(Mohamed Nor and Obbard, 2014)
Costa de Eslovenia	Eslovenia	13,33.3 MP/kg	No identificaron	(Laglbauer <i>et al.</i> , 2014)

PET: polietileno de tereftalato; MP: microplásticos; kg_{ss}: kg sedimento seco; gMP: gramos de MP; PE: polietileno; PP polipropileno, PS poliestireno, PVC: policloruro de vinilo

Agrupando los trabajos por continentes se observa que se tiene la representación de tres de ellos: Europa, América (Estados Unidos, Brasil, Uruguay y México) y Asia (Qatar, China, Taiwán y Singapur). Los resultados son concluyentes, en todas casi las playas estudiadas se encontraron MP, salvo una excepción que se presentó en un estudio realizado en las Bahías de Huatulco Oaxaca, México (Retama et al., 2016), sin embargo, los MP reportados en este estudio solo comprendieron fibras dejando fuera otras formas como fragmentos, películas y pellets.

En cuanto a los tipos de plásticos encontrados en las investigaciones, salta a la vista que el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) son los dos más comunes, posteriormente le siguen el poliestireno (PS) y polietileno de tereftalato (PET). Los plásticos menos comunes son el policloruro de vinilo (PVC) y los termofijos poliéster y nylon.

Yu y colaboradores en 2018 realizaron un estudio en la región costera del sureste de los Estados Unidos, en la cual encontraron que el PET fue el material más abundante de los MP (24 %), además el 68 % fueron fibras. El origen de los MP fue atribuido a la descarga de aguas residuales en zonas costeras, además se consideró que la alta variación entre los diversos puntos muestreados se debió a la cercanía con la desembocadura de grandes ríos y a las áreas urbanizadas (Yu *et al.*, 2018).

En el estudio realizado en Qatar, se reportaron concentraciones en el intervalo de 36-228 MP/m². Los resultados mostraron que los MP se encontraron distribuidos de manera homogénea en toda el área intermareal. Las fibras de color azul fueron las más comunes y se atribuyeron a las cuerdas y redes usadas en la pesca, las cuales fueron abandonadas (Abayomi *et al.*, 2017).

Lots y colaboradores en 2017, determinaron la presencia de MP en trece países de Europa, los plásticos secundarios fueron los dominantes. Las fibras de color azul fueron ubicuas en todas las playas. La abundancia de MP difiere geográficamente, encontrándose las mayores concentraciones en el Mediterráneo, lo anterior se explica por ser un cuerpo de agua semicerrado, combinado con altas densidades de población y la entrada de aguas residuales (Lots *et al.*, 2017).

En el estudio llevado a cabo en las playas del sureste de Inglaterra, se encontró que los MP primarios en forma de pellet fueron el tipo más común (>70%), sin embargo, no se menciona la posible fuente de contaminación (Massos and Turner, 2017).

Wessel y colaboradores en 2016 realizaron un estudio en el norte de Golfo de México. En las siete playas muestreadas se encontraron microplásticos, los resultados mostraron que las playas que están más expuestas a las corrientes marinas presentaron altas concentraciones, diversidad y polímeros más densos en comparación con las que permanecen en zonas semicerradas y están menos influenciadas por el mar (Wessel *et al.*, 2016).

Además del artículo realizado por Retama y colaboradores en 2016, en México se han desarrollado pruebas con la finalidad de separarlos por flotación y caracterizarlos en tipos de plásticos, colores y tamaños (Sánchez-García *et al.*, 2016). En otro trabajo realizado por Alvarez-Zeferino y colaboradores en 2017 en una playa del estado de Veracruz, se realizó una recolección de residuos sólidos y se encontró que los residuos plásticos representaron un valor superior al 75 %, además la concentración promedio de microplásticos fue de 123 MP/100m, el origen de los MP fue incierto, sin embargo, se observó que gran parte de éstos son traídos por las corrientes marinas (Alvarez-Zeferino, Ojeda-Benítez and Vázquez-Morillas, 2017).

En general, los resultados son heterogéneos en todos los compartimientos, debido a los diversos factores que están presentes, tales como condiciones ambientales y ubicaciones geográficas, por mencionar algunos. En síntesis, se han presentado estudios que evidencian la presencia de microplásticos en diversos compartimientos marinos, sin embargo, es notoria la carencia de metodologías estandarizadas que permitan comparar los resultados. Se observa también que el elevado costo de los equipos de muestreo e identificación de MP para algunos compartimientos, hace que estas investigaciones en ocasiones sean accesibles sólo a centros de investigación de países desarrollados, lo que provoca que existan zonas que no han sido estudiadas y que probablemente presenten graves afectaciones por la presencia MP.

1.2 Planteamiento del problema

Los microplásticos (MP) son contaminantes omnipresentes en los ambientes marinos y su concentración ha aumentado en los últimos años. Poseen el potencial de causar daños en los ecosistemas marinos, siendo uno de ellos la zona costera, la cual por naturaleza es una zona de acumulación de residuos. La acumulación de microplásticos en ambientes marinos es un tema complejo de estudiar, debido a distintas causas:

- a) Su reducido tamaño hace difícil su identificación y cuantificación
- b) Los ambientes marinos son los más dinámicos del planeta, por lo que la ocurrencia de los MP depende en gran medida de las condiciones climáticas presentes en la temporada de los estudios
- c) Falta de infraestructura para su estudio en algunos países
- d) Heterogeneidad en las metodologías de muestreo, identificación y clasificación, reportadas en los diversos estudios

Aunque el estudio de MP en playas a nivel mundial se ha extendido en los últimos años, la falta de un protocolo de muestreo, separación e identificación de MP y la manera de reportar los resultados, ha sido un impedimento al momento de comparar los estudios. Al analizar algunos de los resultados más recientes (Tabla 2), es evidente la falta de homogeneidad en las unidades empleadas, lo que dificulta su comparación, pues generalmente no se sabe con precisión la metodología que se empleó para la toma de muestra, la separación de los MP y su identificación.

Tabla 2 Estudios internacionales de microplásticos

País	Resultados	Referencia
Estados Unidos	24 % PET y 68 % Fibras	(Yu <i>et al.</i> , 2018)
Qatar	36 - 228 MP/m ²	(Abayomi <i>et al.</i> , 2017)
Europa	72 - 1,512 MP/kg _{ss}	(Lots <i>et al.</i> , 2017)
Inglaterra	436 - 488 MP	(Massos and Turner, 2017)
China	1 - 7 MP	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Portugal	0.01 MP/g	(Frias <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	5 - 117 MP/m ²	(Wessel <i>et al.</i> , 2016)

Tabla 2 Estudios internacionales de microplásticos. Continuación

País	Resultados	Referencia
México	0 - 70 MP/30g _{ss}	(Retama <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	16,206 – 28,782 MP	(Young and Elliott, 2016)
Brasil	12 - 1300 MP/m ² 3 - 743 MP/m ²	(de Carvalho and Baptista Neto, 2016)
Uruguay	25 MP/m ² y 3.2 gMP/m ²	(Lozoya <i>et al.</i> , 2016)
Taiwán	8 - 484 MP/0.0125m ³	(Kunz <i>et al.</i> , 2016)
China	216 - 608 MP/50g _{ss}	(Qiu <i>et al.</i> , 2015)
Singapur	3.0 - 15.7 MP/250g _{ss}	(Mohamed Nor and Obbard, 2014)
Eslovenia	1,333.3 MP/kg	(Laglbauer <i>et al.</i> , 2014)

PET: polietileno de tereftalato; MP: microplásticos; kg_{ss}: kg sedimento seco; gMP: gramos de MP

Como se observa en la Tabla 2, en algunos casos sólo se menciona el número de MP encontrados, como en los estudios llevados a cabo en el sureste de Inglaterra (Massos and Turner, 2017) la Bahía de Bohai y Laizhou (W. Zhang *et al.*, 2017) y Playa Kahuku, O´ahu y Playa Kamilo, Hawai (Young and Elliott, 2016), sin embargo, no se pueden comparar porque los datos no están normalizados, es decir, no se sabe si fue la misma área, distancia o volumen el que se consideró.

En otros casos se reporta solo el porcentaje de plástico, como en el estudio realizado por Yu y colaboradores en 2018. Algunos autores reportan con base al área muestreada (Qiu *et al.*, 2015; de Carvalho and Baptista Neto, 2016; Lozoya *et al.*, 2016; Wessel *et al.*, 2016). Otra forma de reportar es en términos de masa del sedimento recolectado, las unidades de masa están dadas en kilogramos o gramos, y por lo regular se especifica en que condición se analizó la muestra (húmeda o seca) (Laglbauer *et al.*, 2014; Mohamed Nor and Obbard, 2014; Qiu *et al.*, 2015; Frias *et al.*, 2016; Retama *et al.*, 2016; Lots *et al.*, 2017).

En el país no se tiene información con respecto a esta problemática, a pesar de que México se encuentra ubicado entre los dos océanos más grandes del mundo, el Atlántico y el Pacífico. De los 32 estados que conforman el país, 17 tienen apertura al mar y representan el 57 % del territorio nacional. Posee cinco regiones oceánicas: Pacífico Tropical, Pacífico Noreste, Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe (Figura 3).

La vasta zona costera del país, y el carácter global de la problemática asociada a los MP, permiten prever la presencia de microplásticos en las playas de México, así como de los efectos negativos de los mismos.



Figura 3. Regiones oceánicas en México

1.3 Justificación

Los microplásticos son omnipresentes en los ambientes marinos y se han documentado las afectaciones y riesgos que generan para los organismos vivos, incluyendo el hombre. Su investigación resulta relevante con la finalidad de establecer líneas base que permitan realizar un diagnóstico actual de su presencia, sin embargo, es necesario que su estudio se realice utilizando metodologías claras, viables y replicables, que permitan la comparación de resultados.

Actualmente en México, hay una ausencia de políticas públicas, legislación e información sobre el tema. En este contexto, este estudio contribuye con el desarrollo de metodologías tanto en campo como en laboratorio, la generación de información sobre la presencia de MP en las playas mexicanas, la identificación de factores que inciden en su presencia, y la emisión de recomendaciones para la prevención y

mitigación del problema. Los beneficios obtenidos podrían servir como fundamento emisión de instrumentos de política pública, preservación de ecosistemas costeros, contribución a actividades económicas como el turismo y concientización de la ciudadanía.

Esta investigación se justifica desde tres distintos enfoques:

- a) Un enfoque de generación de conocimiento, a partir de la construcción de una base de datos nacional y a la georreferenciación de los resultados, con la finalidad de que éstos sirvan como línea base para evaluar el estado actual de la contaminación por MP
- b) Un enfoque metodológico, mediante el desarrollo de metodologías que sirvan como una herramienta para que el estudio de MP en playas, sea extensivo y participativo
- c) Un enfoque analítico, a través de la identificación de los factores más importantes que inciden en la ocurrencia de MP, a partir de la cual se podrían proponer estrategias para prevenir y minimizar el ingreso de estos contaminantes en los ecosistemas marinos
- d) Un enfoque educativo, derivado de la divulgación de los resultados obtenidos en eventos científicos y a la sociedad, con la finalidad de concientizar sobre esta problemática

Retomando los puntos anteriores, el proyecto contribuye a generar metodologías para el estudio de microplásticos, establecer una línea base a nivel nacional y promover la educación ambiental a través de la divulgación de los resultados obtenidos, con la finalidad de contribuir a una mejor conservación y aprovechamiento de los ecosistemas marinos y costeros.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

- ✓ Analizar la contaminación de microplásticos en once playas de arena mexicanas

1.4.2 Específicos

- ✓ Diseñar un método de muestreo de residuos sólidos que integre los protocolos internacionales y el nacional
- ✓ Diseñar un método de muestreo sistemático de microplásticos para el presente estudio
- ✓ Realizar muestreos en diferentes playas mexicanas con la finalidad de recolectar muestras de arena para la extracción de microplásticos
- ✓ Determinar la concentración de microplásticos en términos de ocurrencia por unidad de área
- ✓ Clasificar los microplásticos recolectados en términos de tamaño, color, forma y composición química
- ✓ Comparar la incidencia de microplásticos en diferentes playas del país
- ✓ Analizar como los factores ubicación y temporalidad inciden sobre la ocurrencia y características de microplásticos
- ✓ Analizar las interacciones entre los factores evaluados
- ✓ Correlacionar los resultados de ocurrencia entre residuos plásticos y los microplásticos
- ✓ Emitir recomendaciones para minimizar la incidencia de residuos y microplásticos en ambientes marinos

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Las actividades antropogénicas en las playas influyen en la presencia de microplásticos en playas mexicanas

1.5.2 Hipótesis particulares

1. La incidencia de los microplásticos en playas mexicanas depende de su localización geográfica
2. Las playas con mayor concurrencia de actividades humanas presentarán las mayores concentraciones de microplásticos
3. Las playas del Golfo de México presentarán mayor concentración de MP debido a que se encuentran en una zona semicerrada que propiciará la acumulación de MP
4. Las playas que presenten mayor cantidad de residuos plásticos tendrán la mayor cantidad de MP

2 Marco teórico



Ocean is more ancient than the mountains, and freighted with the memories and the dreams of Time. H. P. Lovecraft

En este capítulo se aborda la teoría que fundamenta la presente investigación y permite comprender la complejidad de la problemática asociada a los microplásticos (MP), el capítulo se ha organizado en cuatro secciones.

- a) En la primera sección se hace una revisión de los conceptos básicos sobre el océano, haciendo hincapié en la importancia que tiene para el planeta. Se explora el tema de la dinámica de los océanos, la cual se ve influenciada por corrientes superficiales y profundas, olas, y mareas; se abordan los conceptos básicos de las zonas costeras, y por último se presenta una revisión de las características de las costas mexicanas
- b) En la segunda sección se define la problemática de la contaminación marina, centrándose en el tema de residuos sólidos urbanos en playas. Posteriormente, se hace una breve revisión sobre las generalidades de los plásticos y los residuos plásticos en las playas
- c) La tercera sección está dedicada al tema de microplásticos, y en ella se analizan sus fuentes e impactos
- d) Por último, se presentan los métodos de muestreo de residuos sólidos urbanos y microplásticos, analizando las características predominantes en cada caso

2.1 La importancia del océano en el planeta

El océano es de vital importancia para la humanidad, debido al hecho de que cubre aproximadamente el 70.8 % del planeta. El volumen total del agua se estima en 1430 millones de km³ y en los océanos se encuentra el 97.4 % del total (Seoáñez Calvo, 2017). El ciclo hidrológico depende en gran medida del agua evaporada de los océanos y que se traslada a plataformas continentales (Costanza, 1999).

Las corrientes marinas en el océano distribuyen el calor de los trópicos a otras partes del mundo. La capacidad del océano para almacenar y mover enormes cantidades de calor es aproximadamente 1200 veces superior a la de la atmósfera, lo cual tiene efectos

considerables sobre el clima. El océano retiene el calor del verano y lo libera lentamente en invierno, moderando la temperatura del planeta entre una estación y otra (Erickson, 2002; Seoáñez Calvo, 2017).

Además, produce el 80 % del oxígeno del planeta, mientras que depura el dióxido de carbono de la atmósfera y lo almacena en sedimentos en el fondo oceánico (Erickson, 2002). Por otra parte, funge como un sumidero de nutrientes y minerales (Costanza, 1999), los cuales son erosionados en tierra y arrastrados por escorrentías y ríos. Aproximadamente el 35 % de la producción primaria del planeta se lleva a cabo en los océanos (Lalli and Parsons, 1993), que albergan una biodiversidad sustancial (Bergmann *et al.*, 2015).

Hoy en días los océanos están expuestos a diversas presiones antropogénicas, las cuales causan un detrimento en la calidad de vida de los organismos marinos (Gall and Thompson, 2015). Las presiones deben ser entendidas, analizadas y mitigadas, mediante la creación de grupos multidisciplinarios, así como incentivar la educación ambiental y la divulgación a la sociedad (Bergmann *et al.*, 2015).

2.1.1 Dinámica de los océanos

Las aguas del océano están constantemente en movimiento. Los vientos generan corrientes superficiales, las cuales son importantes sistemas de transporte de seres marinos, y son muchas las especies que se adaptan a este tipo de transporte; la gravedad de la Luna y el Sol produce mareas y las diferencias de densidad crean circulación en el océano profundo. Además, las olas transportan la energía de las tormentas a costas distantes, donde su efecto erosiona el terreno (Tarbuck *et al.*, 2014).

Las corrientes superficiales

La fricción de los vientos globales sobre la superficie de los océanos transmite una gran cantidad de energía al agua, dando origen así a las corrientes superficiales cálidas y frías. Su desplazamiento es determinado por el sentido de los vientos dominantes, se ve modificado por la presencia de masas continentales y por la rotación de la tierra (efecto

Coriolis), que las desvía hacia la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur (Seoáñez Calvo, 2017).

Las trayectorias de las corrientes son de giro anticiclónico, es decir, la rotación se da en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el sur (NOAA, 2020). El giro lo inician los vientos alisios que soplan de manera relativamente constante en verano (hemisferio norte y menos en invierno, y que desplazan el agua hacia el oeste (corrientes ecuatoriales). Cuando llegan a la costa occidental las corrientes retornan, constituyendo la deriva del oeste, y cuando alcanzan las costas orientales estas corrientes sufren una doble desviación hacia zonas polares y hacia zonas ecuatoriales, calentando o refrescando respectivamente estas zonas (Seoáñez Calvo, 2017).

En la Figura 4 se presentan las 31 corrientes superficiales más importantes del planeta, las flechas en color azul representan las corrientes frías, mientras que las rojas son las cálidas o templadas. El nombre de cada una de ellas se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3. Corrientes superficiales globales

1. De Alaska	17. Del Labrador
2. Pacífico Norte	18. De Groenlandia
3. De California	19. De las Agujas
4. Ecuatorial del Pacífico	20. Australiana del Norte
5. Contracorriente Ecuatorial	21. Ecuatorial del Sur
6. De Humboldt o del Perú	22. Ecuatorial del Norte
7. Ecuatorial del Pacífico	23. Del Monzón
8. Cabo de Hornos	24. Bengala
9. Antártica (vientos del Oeste)	25. Australiana del Este
10. Brasileña	26. Ecuatorial del Pacífico Sur
11. Atlántica del Sur	27. Kuro Shivo
12. De Benguela	28. Ecuatorial del Pacífico Norte
13. Ecuatorial del Atlántico	29. Oya Shivo
14. Del Golfo	30. De Guinea
15. Ecuatorial del Atlántico Norte	31. De las Canarias
16. Del Atlántico Norte	

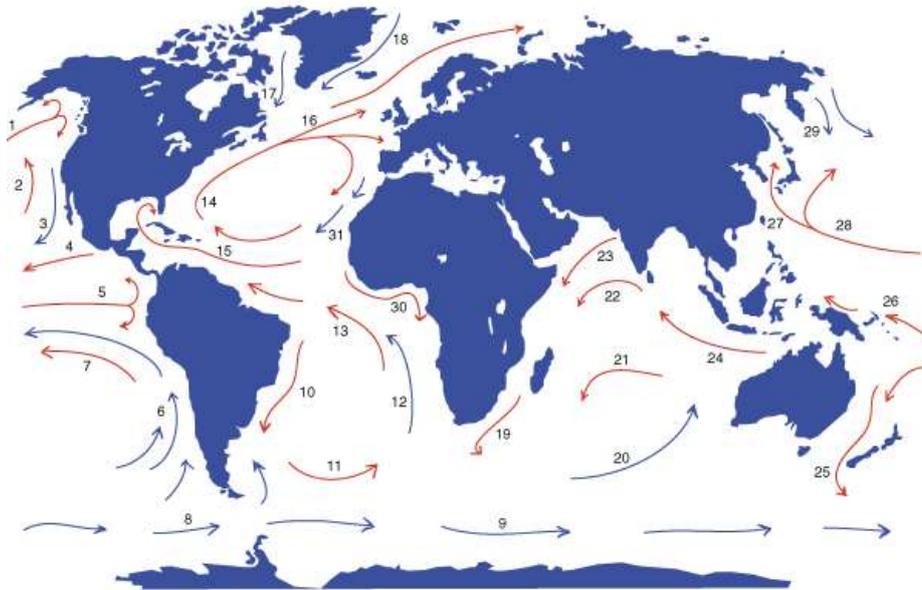


Figura 4 Distribución mundial de las corrientes superficiales (NOAA, 2017a)

Las corrientes superficiales generan que en algunas zonas de los océanos se formen grandes espirales de corrientes que son denominados “giros”. En la Figura 5 se presentan los cinco grandes giros oceánicos: del Atlántico Norte, Atlántico Sur, Pacífico Norte, Pacífico Sur y Océano Indico (NOAA, 2017a).

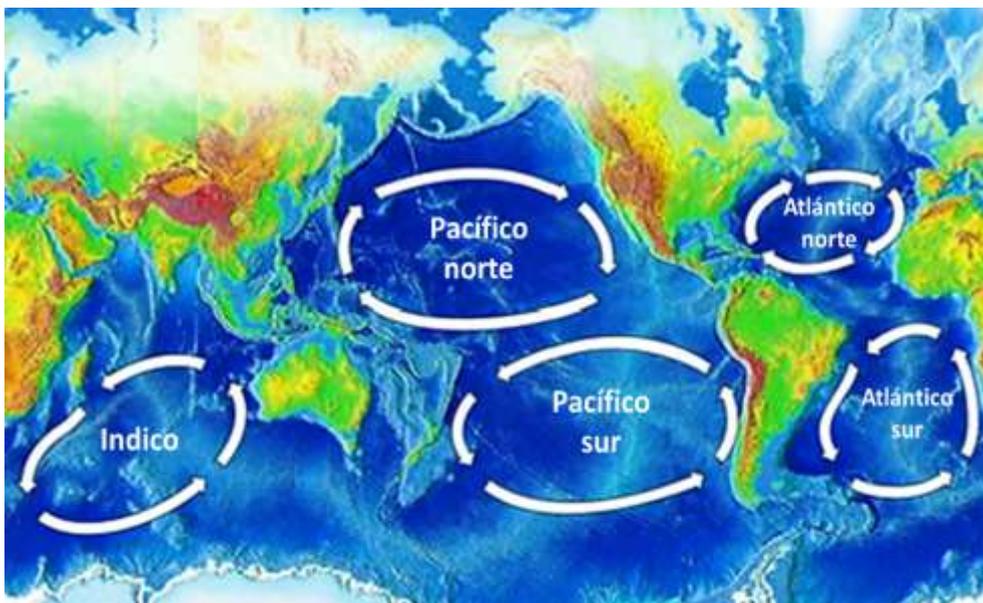


Figura 5 Los cinco grandes giros oceánicos Fuente: (NOAA, 2017b)

Las corrientes profundas

El agua que se enfría en la superficie de los polos tiene mayor densidad y se hunde, posteriormente el agua polar es reemplazada por aguas que vienen de latitudes medias, de esta manera se forma una circulación termohalina (Seoáñez Calvo, 2017). El agua polar, al aproximarse al Ecuador, asciende de nuevo, y tiene temperatura, salinidad y oxígeno distintos de la circundante. La producción de agua fría es más importante en el hemisferio sur que en el Norte. En la Figura 6 se presenta la circulación termohalina, la franja azul representa la corriente profunda fría y salada, y la roja corriente superficial cálida. La relevancia de las corrientes profundas radica en la posibilidad de que los MP que se encuentren suspendidos a lo largo de la columna de agua podrían ser transportados por este medio.

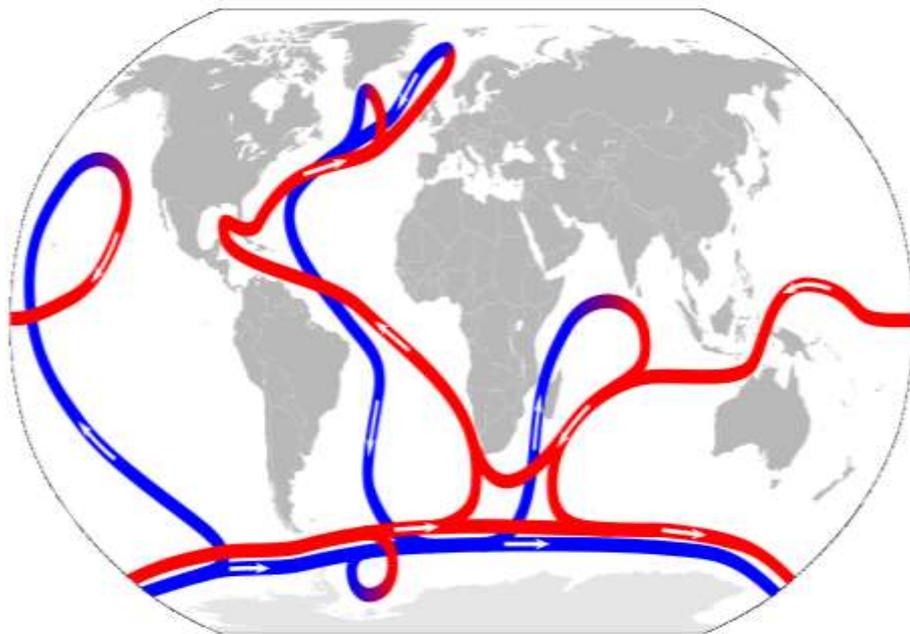


Figura 6 Corrientes profundas. Fuente: (GeoEnciclopedia, Sin fecha)

Las grandes corrientes en México

En el país se tienen nueve grandes corrientes las cuales se presentan en la Figura 7. Además de las diferencias geológicas que existen entre ellas, también presentan variantes en intensidad y duración en el espacio y tiempo (Lanza, 2004).

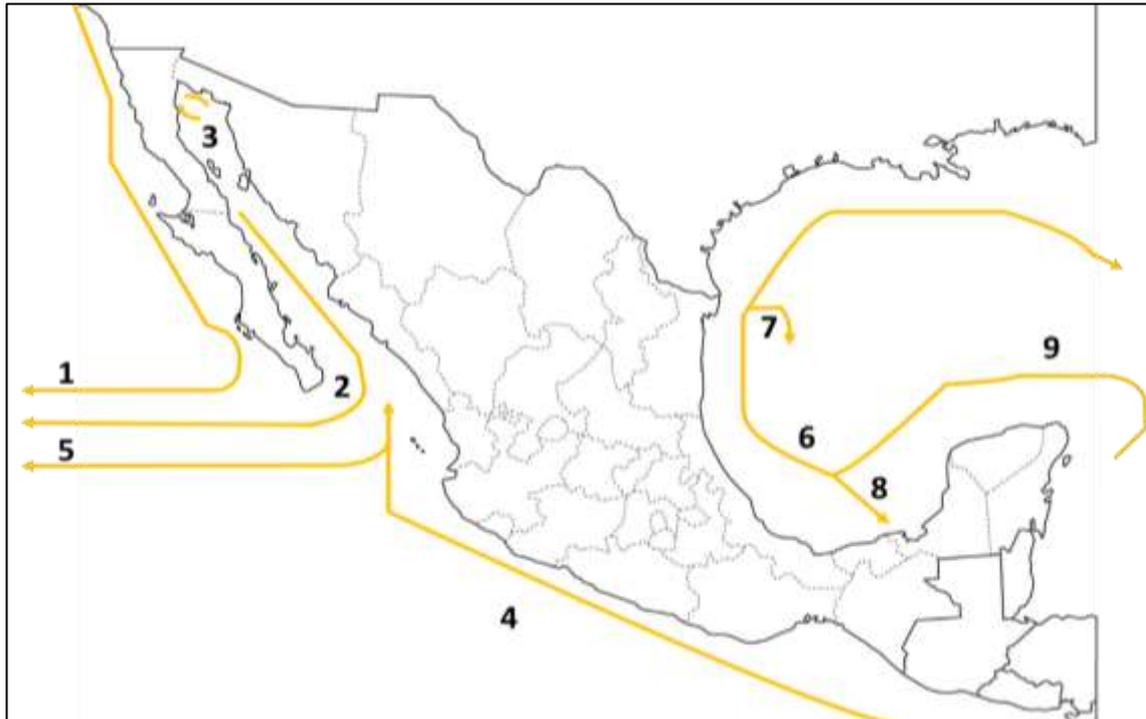


Figura 7. Las grandes corrientes de México. Modificado de Lanza 2004

La *Corriente de California* (1) se localiza en la costa occidental de la península de Baja California, presenta gran anchura y extensión, que llega hasta el sur de la península, donde gira hacia el oeste y conforma la *Corriente Norecuatorial* (5). En los meses de marzo y julio esta corriente puede llegar hasta Chiapas.

La *corriente costera de Costa Rica*, también conocida como *Corriente Mexicana* (4), viene de Centroamérica, llega en junio y julio hasta Cabo Corrientes y en agosto al Golfo de Tehuantepec.

En el Golfo de California la presencia de la *Corriente del Golfo de California* (2), la de *California* y la *Costera de Costa Rica*, con variantes temporales y espaciales, produce una circulación compleja. Además, destacan los *Giros del Alto Golfo* (3), en donde existe una circulación local que constituye grandes giros ciclónicos y anticiclónicos, con ascensiones y hundimientos de agua respectivamente, cerca de la costa.

En el Golfo de México y Mar Caribe se presentan cuatro grandes corrientes, la *Corriente de El Lazo* (6), la del *Gran Anticiclón de Tamaulipas*, el *Giro Ciclón de la Sonda de Campeche* y la *Corriente del Caribe*. La *corriente del Caribe* (9) inicia a la altura de la península de Yucatán, posteriormente el Golfo de México se le nombra como la *Corriente de El Lazo*, debido a su forma. Es cálida y salina, y se desplaza heterogéneamente año con año. En la trayectoria que tiene la corriente del Lazo por el Golfo de México se forman giros ciclónicos (ascensión de agua) y anticiclónicos (hundimiento de agua), siendo el más importante por su tamaño el *Gran Anticiclón de Tamaulipas* (7).

En el Mar Caribe se registra una ascensión de aguas profundas debido a la dinámica de circulación, al pasar la *Corriente del Caribe* a través del estrecho Canal de Yucatán, afloran las aguas profundas en el *Giro Ciclón de la Sonda de Campeche* (8), enriqueciendo con nutrimentos, lo que se observa por la alta producción de pesquerías en la región.

Las olas

Las olas superficiales son movimientos del agua que pueden alcanzar alturas que varían desde unos centímetros hasta los 30 metros. Se originan por el viento, aunque también pueden ser causadas por terremotos, explosiones volcánicas, y otros fenómenos naturales. Si el viento se desplaza sobre el agua a velocidad baja, el flujo es laminar, pero si la velocidad aumenta, aparecen irregularidades en la superficie del océano y con ellas las olas. Las velocidades del viento superiores a 1 m/s hacen que las olas tomen un carácter de movimiento ondulatorio periódico (Seoáñez Calvo, 2017).

En las olas el movimiento del agua decrece desde la superficie hacia abajo, y a 30 metros de profundidad prácticamente no se nota el oleaje. Las olas aceleran los intercambios

de calor y gases entre el agua y la atmósfera, e influyen en los seres marinos, transportando los organismos que se hallan en suspensión, y arrancando algunos que se encuentran fijos o posados en el fondo (Seoáñez Calvo, 2017).

Las mareas

Las mareas son los cambios diarios de elevación de la superficie del océano, que provocan el familiar ascenso y descenso rítmico en el nivel de mar. Las mareas son las ondas de mayor longitud que se observan en el océano, en la mayoría de las playas se experimentan dos mareas altas (pleamares) y dos bajas (bajamares) al día (Tarbuck *et al.*, 2014).

Las mareas se generan debido a las fuerzas de atracción entre la Tierra, el Sol y la Luna. El resto de los planetas del sistema solar producen también mareas, pero son despreciables en comparación con las primeras (Tarbuck *et al.*, 2014). La Luna y el Sol tienen suficiente atracción gravitacional para ejercer fuerzas generadoras de mareas lo suficiente fuertes como para deformar el cuerpo sólido de la Tierra, pero tienen una influencia mayor sobre los océanos. El Sol es 27 millones de veces más grande que la luna, pero está 390 veces más lejos de la Tierra, y su fuerza generadora de mareas es sólo un 46 % de la de la Luna. Por consiguiente, las mareas están dominadas por la Luna, pero el Sol juega también un papel importante (Erickson, 2002).

Las mareas no ocurren exactamente todos los días a la misma hora, debido al movimiento relativo de la Luna y la Tierra. Los patrones de las mareas cambian todos los días en 50 minutos (Arnott, 2009), lo que permite una alternancia entre las pleamares y bajamares a lo largo del año.

La fuerza de atracción aumenta en la Tierra cuando el Sol y la Luna están alineados, dichos alineamientos ocurren durante la luna nueva y luna llena, durante estas fases se producen las mayores pleamares y menores bajamares, denominadas como mareas de primavera. Por otra parte, cuando el Sol y la Luna están alineados en ángulos rectos entre sí, las fuerzas de atracción se anulan por lo que se nombran mareas muertas (Arnott, 2009). Estas interacciones se ilustran en la Figura 8.

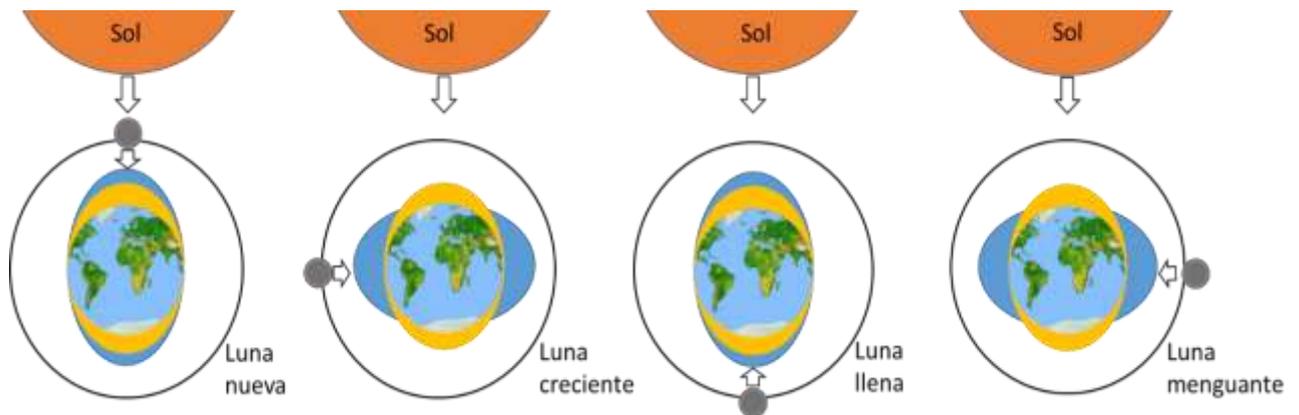


Figura 8 Fases lunares y su relación con las mareas

2.1.2 La zona costera

Las líneas de costa son ambientes dinámicos. Su topografía, composición geológica y clima varían enormemente de un lugar a otro, por lo que consecuentemente su composición, la vegetación y los organismos presentes en los mismos también lo hacen. Los procesos continentales y oceánicos convergen a lo largo de las costas y crean paisajes que con frecuencia experimentan cambios rápidos. Cuando se forman a partir de la deposición de sedimentos, constituyen una zona de transición entre los ambientes marinos y el continental (Tarbuck *et al.*, 2014). La riqueza y diversidad de recursos que existen en la zona costera conllevan al aumento de actividades y asentamientos humanos, por lo que se estima que cerca de la mitad de la población humana vive en la costa o cerca (Botello, Sánchez-Cabrera and Villanueva, 2012).

Las zonas costeras son definidas como aquellas en las cuales existe una marcada interacción entre el medio marino y el terrestre, representada por una serie de gradientes o ecotonos (zonas de transición entre dos ambientes). Este enfoque obliga a concebir a la zona costera como una amplia región en la que se presentan fenómenos físicos, químicos, geológicos, atmosféricos, biológicos y socioculturales que ponen de manifiesto la intrincada relación que existe entre la parte “seca” y la parte “mojada”(Ortiz *et al.*, 2010). La costa es una zona de anchura variable, incluyendo la zona intermareal y playa, y que se extiende hasta el límite terrestre de penetración de

influencia marina: la cresta de un acantilado, los márgenes de un estuario, o el inicio dunas costeras, lagunas y pantanos (Bird, 2008).

Las líneas costeras están constituidas por diversas zonas (Figura 9). La costa está comprendida entre la bajamar y la línea de costa, la cual en ocasiones está delimitada por acantilados, dunas o edificaciones. La playa es la acumulación de sedimento suelto, ya sea arena, grava o cantos rodados (Bird, 2008).

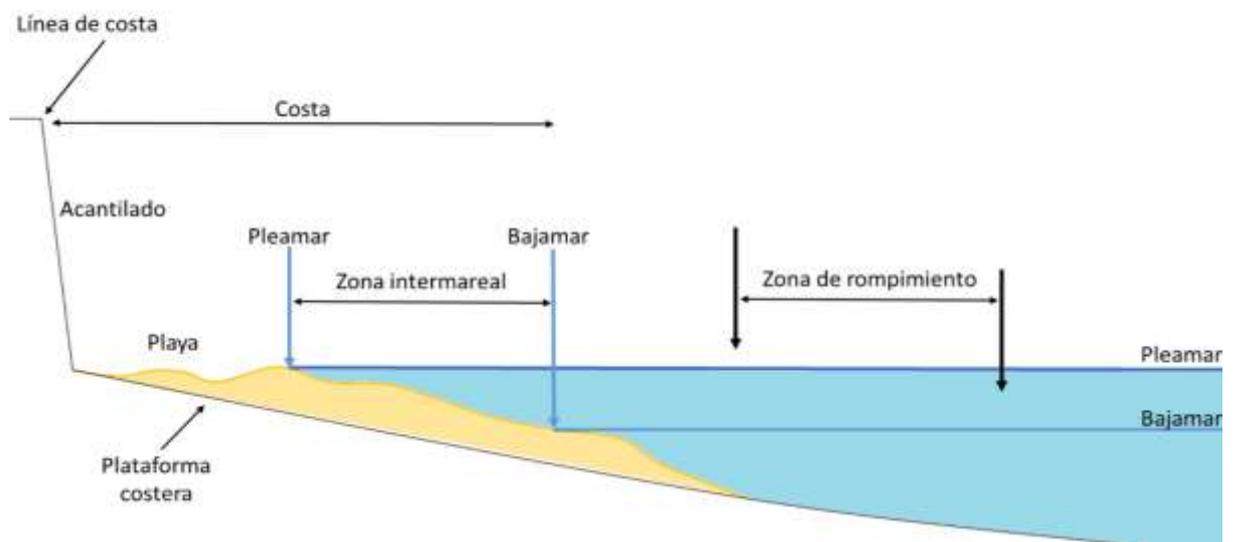


Figura 9 Terminología de la zona costera. Modificado de Bird, 2008

2.1.3 Zona costera de México

México se encuentra ubicado entre los dos océanos más grandes del mundo, el Atlántico y el Pacífico, comprende cinco regiones oceánicas: Pacífico Noreste, Pacífico Tropical, Golfo de California, Golfo de México y Mar Caribe (Figura 1), además, de los 32 estados que conforman el país, 17 tienen apertura al mar y representan el 57 % del territorio nacional. La longitud de costa del país, sin contar la correspondiente a las islas, es de 11,122 km. En el litoral del Pacífico y Golfo de California se tienen 7,828 km de costa y 3,294 km en el Golfo de México y Mar Caribe (SEMARNAT 2012).

En la Figura 10 se presenta la división geomorfológica de las regiones costeras del país, la cual se divide en siete regiones de acuerdo con la clasificación propuesta por Lankford en 1977. Éstas pueden asociarse o no a descargas fluviales, lo cual individualiza aún más los rasgos costeros, como lagunas y otras depresiones de la línea de costa – bahías y estuarios (Lanza, 2004).

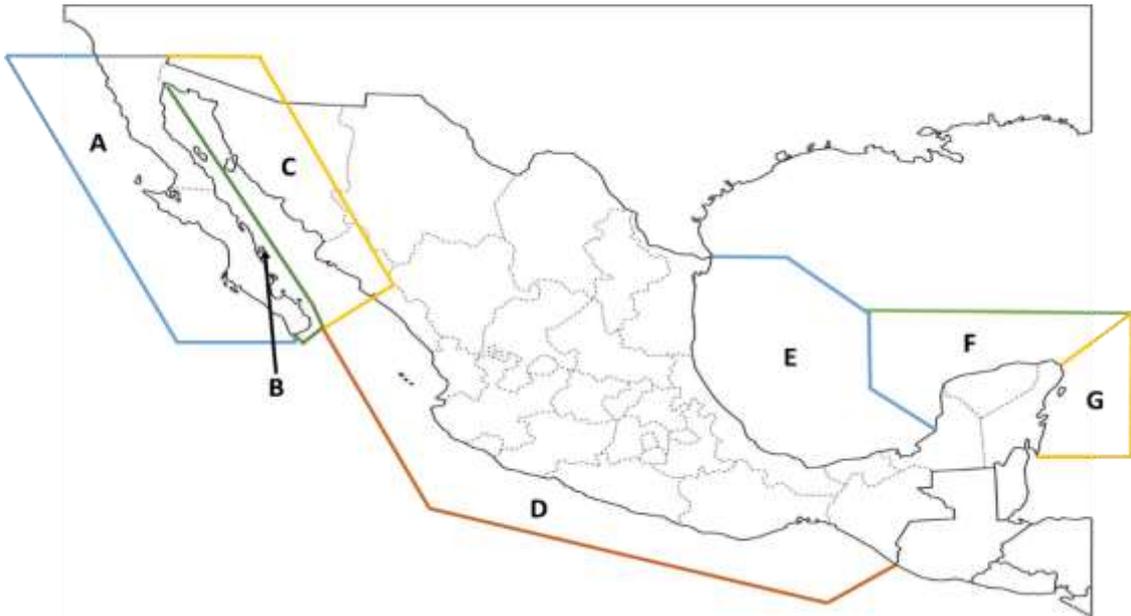


Figura 10 División geomorfológica de las regiones costeras de México. Modificado de Lanza-Espino, 2004

La mayoría de las regiones comprendida entre A-D (Océano Pacífico) presentan una menor plataforma continental y, en algunos casos, una línea de costa rocosa o escarpada debido a su origen tectónico.

La región E se ubica en el Golfo de México y presenta un mar marginal (zona localizada al margen del continente que está parcialmente cerrado por penínsulas o golfos) protegido desde el río Bravo hasta Campeche. En esta región la mayor deposición se lleva a cabo por ríos, además, recibe aportes fluviales permanentes con alto contenido de nutrimentos.

Las regiones F y G o plataforma de Yucatán y Quintana Roo son costas con mares marginales, de erosión terrestre y calcárea, con deposición marina. Reciben escasas

aguas continentales a excepción de las subterráneas procedentes de los cenotes, que son de bajo contenido de nutrimentos, pero con la influencia de ascensiones de aguas marinas de mayor profundidad ricas en éstos.

En la zona costera de México, se desarrollan actividades pesqueras, portuarias, mineras y turísticas, sin embargo, están sometidas a la presión ejercida por el desarrollo costero que con lleva al crecimiento de la población e intenso uso de espacio, especialmente en los estuarios y las playas (arenosas y rocosas). Las consecuencias negativas de las actividades humanas, como la contaminación y, la invasión de ambientes, resultan en una pérdida de animales, plantas y modificaciones a procesos naturales que ponen en riesgo los servicios que los ecosistemas brindan, así como, los procesos productivos y económicos y sociales.

2.2 La contaminación marina

La contaminación es la introducción de sustancias indeseables al medio. Muchas actividades humanas como la producción industrial, la quema de combustibles fósiles, la agricultura y el uso de productos, entre otros, generan contaminantes que pueden ingresar de manera directa o indirecta a los océanos (Erickson, 2002). En ocasiones se tiene la falsa creencia que el océano es tan vasto que los contaminantes que se vierten malintencionadamente se podrían diluir lo suficientemente para eliminar su impacto, se sabe, sin embargo, que algunos contaminantes pueden alterar significativamente los ecosistemas y causar daños (en ocasiones letales) a especies desde lo alto a lo más bajo de la cadena trófica (Osborne 2007). Los contaminantes marinos deben atenderse de forma prioritaria debido a que hoy en día sus concentraciones en el ambiente han aumentado (Academias, 2007) incluyen los hidrocarburos, exceso de nutrientes provenientes de fertilizantes, contaminantes industriales y residuos sólidos urbanos (Osborne, 2007).

Los contaminantes en ocasiones son originados en la plataforma continental y son transportados al océano por medio de descarga de aguas residuales (Browne *et al.*, 2011), escorrentías urbanas y agrícolas (Auta, Emenike and Fauziah, 2017), actividades turísticas e industriales (Li, Tse and Fok, 2016) desembocaduras de ríos (Moore, Lattin and Zellers, 2011) o a través del aire (Osborne, 2007). La otra fuente es la marina, e incluye a las actividades de pesca (Possatto *et al.*, 2011), plataformas de extracción ubicadas mar adentro, embarcaciones comerciales y recreativas (Allsopp *et al.*, 2006).

En la Figura 11, se presenta un esquema general de las problemáticas asociadas a la contaminación producida por residuos desde el punto de vista toxicológico. Los tres principales procesos que se llevan a cabo son la asimilación, acumulación y la biodegradación.

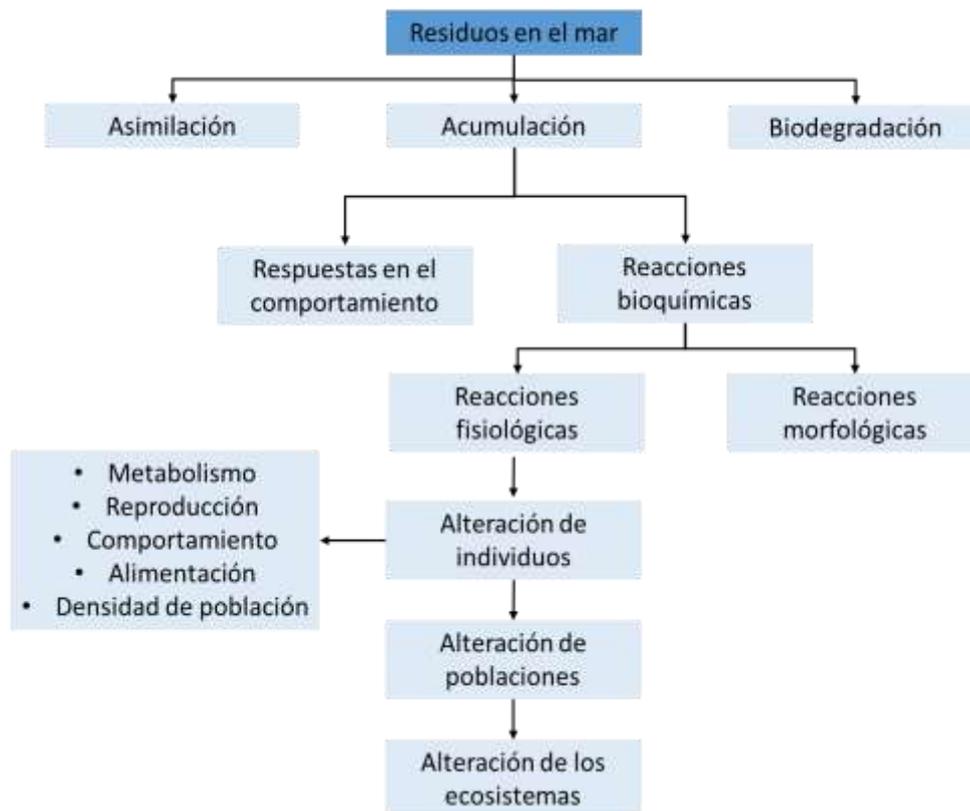


Figura 11 Procesos asociados a la contaminación por residuos del mar. Modificado de Seoáñez-Calvo, 2000

En algunos casos, debido a la naturaleza de los contaminantes y a las condiciones de exposición, los contaminantes pueden biodegradarse en el ambiente marino; por otra parte, algunos tienden a ser asimilados por los ambientes marinos lo que conlleva a que los contaminantes se diluyan o se estabilicen. El proceso de acumulación, genera mayores problemáticas, debido a que por una parte pueden existir respuestas en el comportamiento de los organismos o bien una reacción bioquímica.

2.2.1 Contaminación por residuos sólidos urbanos en playas

Los residuos marinos son definidos como aquellos residuos de origen antropogénico de cualquier tamaño que han sido descargados intencionalmente o accidentalmente en los ecosistemas marinos (MLS, 2018). Representan un problema complejo que involucra diversos sectores, con significativas implicaciones para los ambientes marinos y costeros del mundo, al igual que para las actividades humanas. Lo anterior se traduce en costos

ecológicos, sociales y culturales alrededor del mundo. El problema causado por los residuos marinos es multifacético y en ocasiones se debe a mala gestión de residuos en las playas (NOAA and UNEP, 2011).

Panorama mundial

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se observan comúnmente en todas las playas, ingresan al mar desde fuentes terrestres, embarcaciones, instalaciones en el mar, siendo estas fuentes puntuales o difusas. Posteriormente viajan largas distancias antes de quedar varadas en los giros oceánicos o bien hasta llegar al fondo marino o a la playa (Galgani, Hanke and Maes, 2015).

Ocean Conservancy Inc, es una organización internacional fundada en 1972, que se dedica a divulgar problemas referentes a la contaminación en mares. En el mes de septiembre coordina un evento denominado “Trash Free Seas” en el cual, en distintas partes del mundo se recolectan los residuos a lo largo de la playa; posteriormente, publican un reporte anual con los resultados obtenidos por país y a nivel mundial (Ocean Conservancy, 2017). Los datos obtenidos por Ocean Conservancy son de acceso libre y permiten generar una línea de base entorno a la situación de los residuos en playas internacionales, incluyendo México. En la Tabla 4 se presenta el listado de los 10 residuos con mayor presencia a nivel mundial durante 25 años de muestreo publicado por Ocean Conservancy en 2010. Al contrastar el listado con los diez residuos más recurrentes en 2019, se observa que siete residuos aún permanecen en la lista, sin embargo, solo tres residuos ocupan la misma posición (colillas, envolturas de alimentos/contenedores y platos, cuchillos, tenedores, vasos, cucharas), dos de los tres residuos que salieron del listado en 2019 se fabrican a partir de vidrio y metal (Ocean Conservancy, 2020).

Tabla 4 Residuos con mayor ocurrencia a nivel mundial en el periodo 1975-2010

Posición 1975-2010	Residuo recolectado	Número de residuos acumulados	Porcentaje del total de residuos	Posición 2019
1	Colillas de cigarros	52,907,756	32	1
2	Envolturas de alimentos/Contenedores	14,766,533	9	2
3	Tapas	13,585,425	8	6
4	Platos, cuchillos, tenedores, vasos, cucharas	10,112,038	6	4
5	Botellas de bebidas (plástico)	9,549,156	6	5
6	Bolsas (plástico)	7,825,319	5	7
7	Botellas de bebidas (vidrio)	7,062,199	4	N.D.
8	Latas de bebidas	6,753,260	4	N.D.
9	Popotes/Agitadores	6,263,453	4	3
10	Cuerdas	3,251,948	2	N.D.
Total de los diez residuos con mayor presencia		132,077,087	80	
Total de residuos mundial		166,144,420	100	

N.D. No estuvo dentro de los diez residuos más frecuentes en 2019
Fuente: (Ocean Conservancy, 2012, 2020)

Las colillas de cigarros están fabricadas de acetato de celulosa, el cual es un polímero sintético (Root, 2019), razón por la cual es común considerarlas como residuos plásticos. Los residuos con mayor presencia fueron las colillas de cigarro (32 %), además, si se observan detalladamente a los residuos restantes, la suma de los residuos plásticos constituye la fracción más significativa.

Panorama nacional

Actualmente en el país no se tiene una base de datos periódica sobre la presencia de residuos sólidos urbanos en playas, por lo que se trabajó con los resultados reportados por Ocean Conservancy. En la Figura 12 se presenta el número de voluntarios por año. La tendencia en general ha ido al alza. En sus inicios (1989 – 1992) el número de voluntarios se mantuvo en el orden de centenas, al siguiente año incremento pasando del orden de centenas a millares el cual es el que ha prevalecido hasta la fecha. Los tres

años que han presentado mayor número de voluntarios han sido 2016, 2015 y 2012 con 20,588; 17,989 y 16,945 voluntarios, respectivamente.

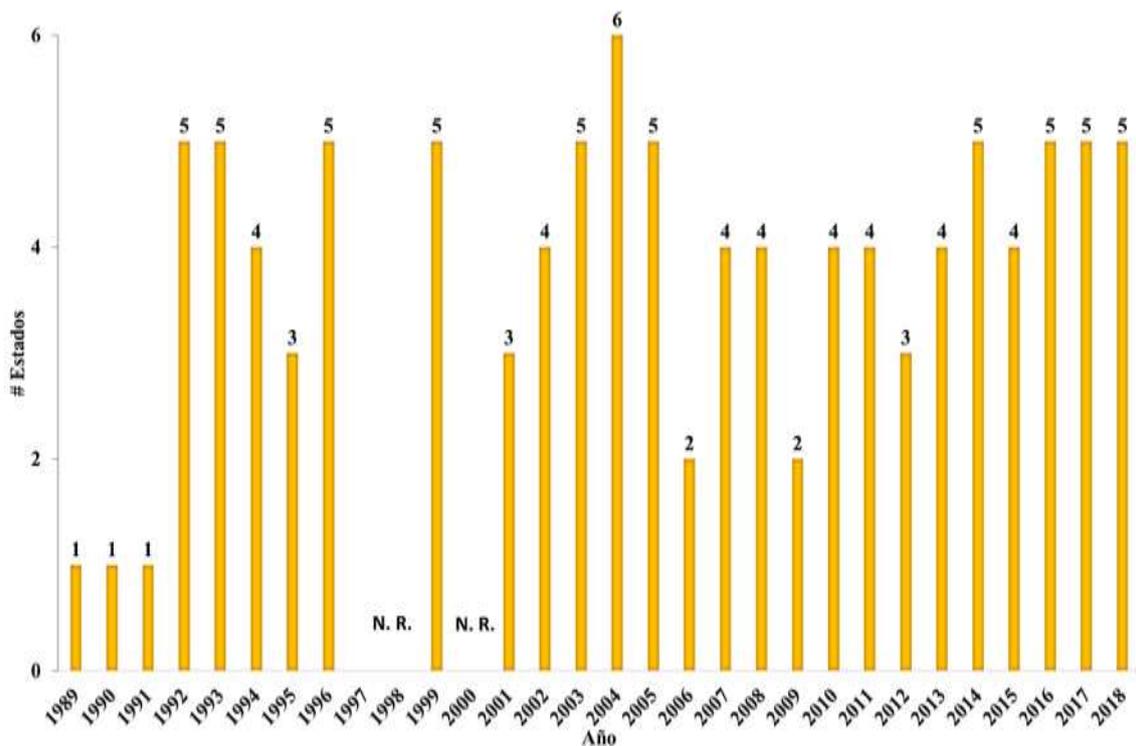


Figura 12 Número de estados participantes por año

El gráfico del número de voluntarios por año se muestra en la Figura 13. La tendencia en general ha ido al alza. En sus inicios (1989 – 1992) el número de voluntarios se mantuvo en el orden de centenas, al siguiente año incremento pasando del orden de centenas a millares el cual es el que ha prevalecido hasta la fecha. Los tres años que han presentado mayor número de voluntarios han sido 2016, 2015 y 2012 con 20,588; 17,989 y 16,945 voluntarios, respectivamente.

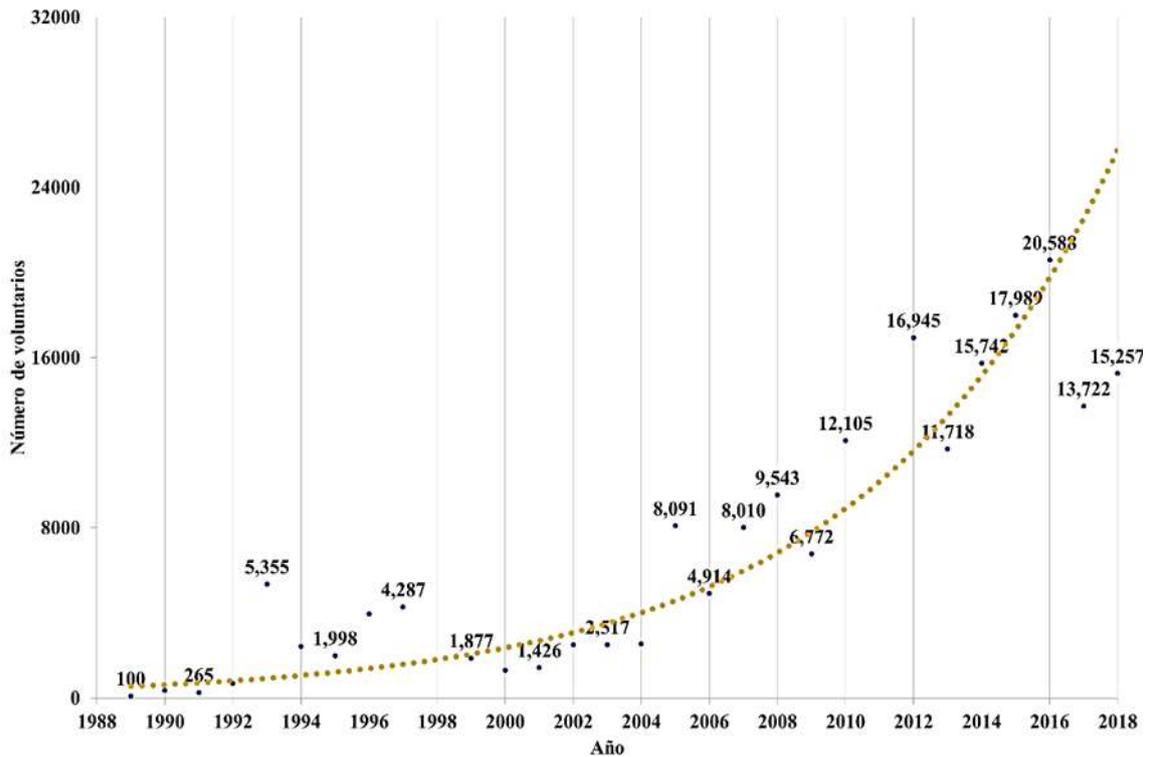


Figura 13 Número de voluntarios por año

Los datos de la longitud recorrida por año se muestran en la Figura 14, la tendencia que siguen los datos es aumentar el recorrido de kilómetros. La menor distancia recorrida fue en 1989, ya que sólo se recorrió 1 km. En el caso de la mayor distancia recorrida ocurrió en el 2007 con 1,850 km lo cual representa un aumento de aproximadamente ocho veces con relación a 2006. Si se compara esta longitud con las más recientes (2016 - 2018) el valor sigue siendo muy grande, analizando el número de voluntarios en el 2007 se observa que no fue tan alto como en otros años, por lo que se tiene la hipótesis que probablemente existió un error en la captura de los resultados.

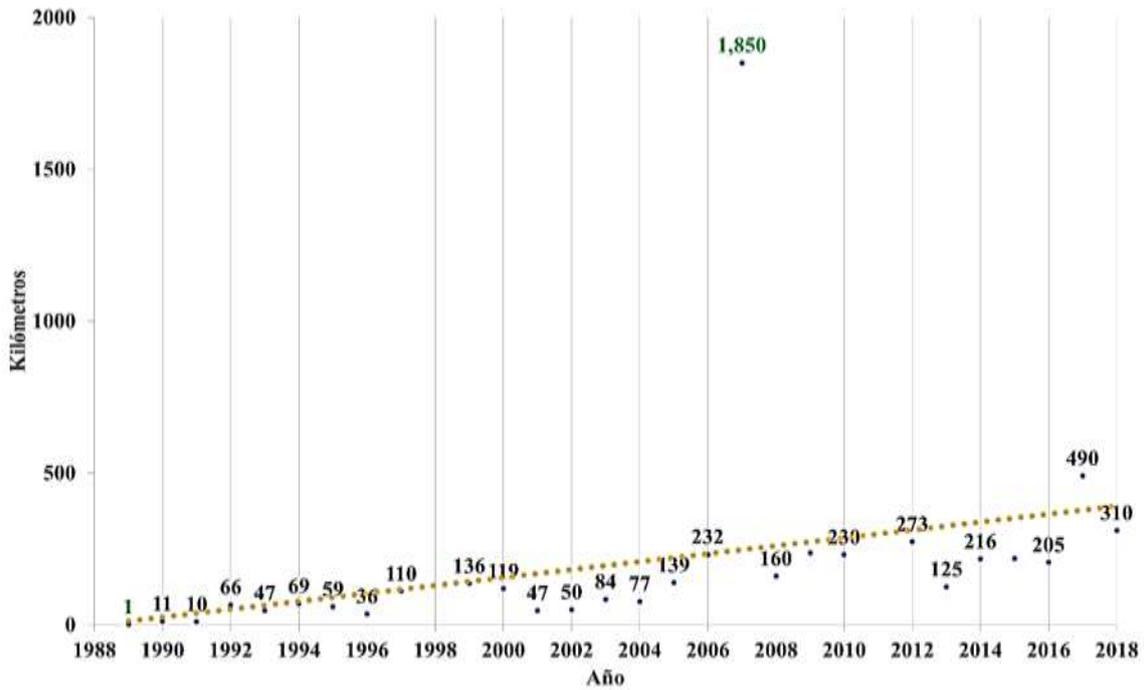


Figura 14 Longitud recorrida por año

En cuanto a la longitud recorrida por cada participante, se observa que la tendencia va a la baja. Lo que significa que los voluntarios cada vez recorren menos longitud en la recolección (Figura 15). Lo anterior se podría deber a que en los eventos actuales se están recolectando fragmentos de residuos, lo cual involucra más tiempo de recolección y por ende, menos longitud recorrida. Por otro lado, se observa que antes de 2010 se tenían longitudes superiores a los 17 m, salvo en algunos casos, sin embargo, de 2012 a 2016 el valor disminuyó y en los dos últimos años se observa que ha ido en aumento.

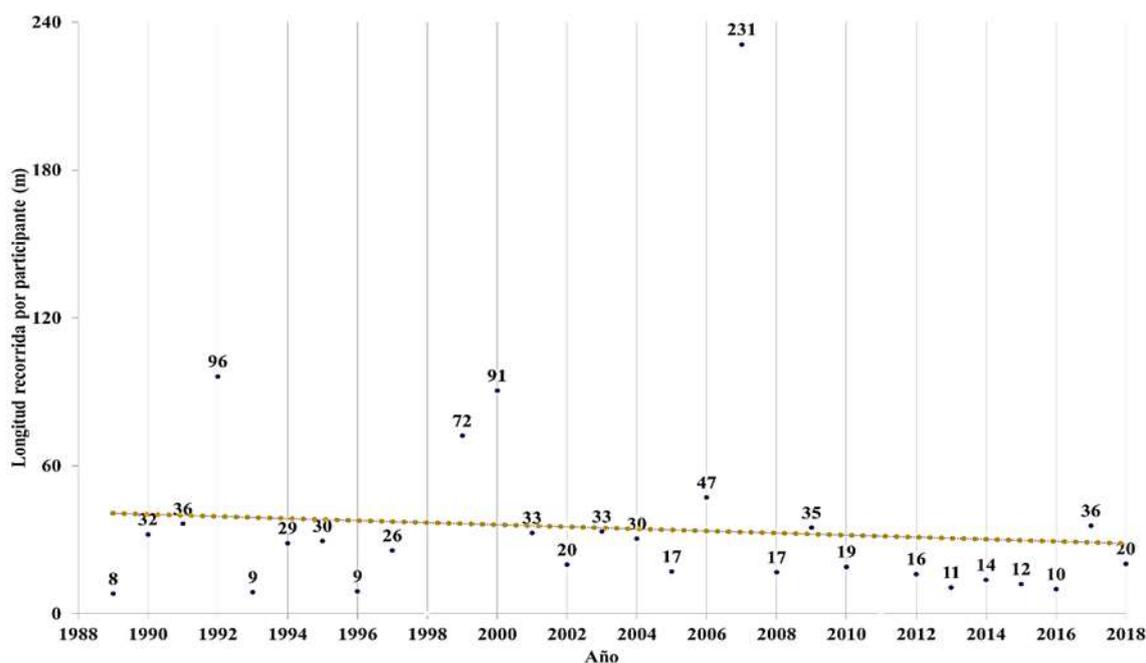


Figura 15 Longitud recorrida por participante por año

Las concentraciones de residuos en términos de piezas/m_{lineal} se presentan en la Figura 16 en la cual también se observa una tendencia a la baja, sin embargo, esto no significa que actualmente las playas están menos contaminadas. En el resultado deben considerarse otros factores que pueden repercutir en las recolecciones, por ejemplo, las LIC son llevadas a cabo por voluntarios de todas las edades, en algunos estados se convocan a niños quienes después de cierto tiempo pueden perder el interés de recolección o distraerse. Otro factor es el tamaño de los residuos, ya que, a menor tamaño es más difícil observar o en ocasiones la gente considera que no vale la pena el esfuerzo que se hace para recogerlo. Esos factores podrían ocasionar que no todos los residuos presentes se recolecten, por lo que los datos podrían ser subestimados.

En cuanto a las mayores concentraciones estas se encontraron en 1989 con 8.4 piezas/m, mientras que la menor se registró en 2007 con un valor de 0.1 piezas/m.

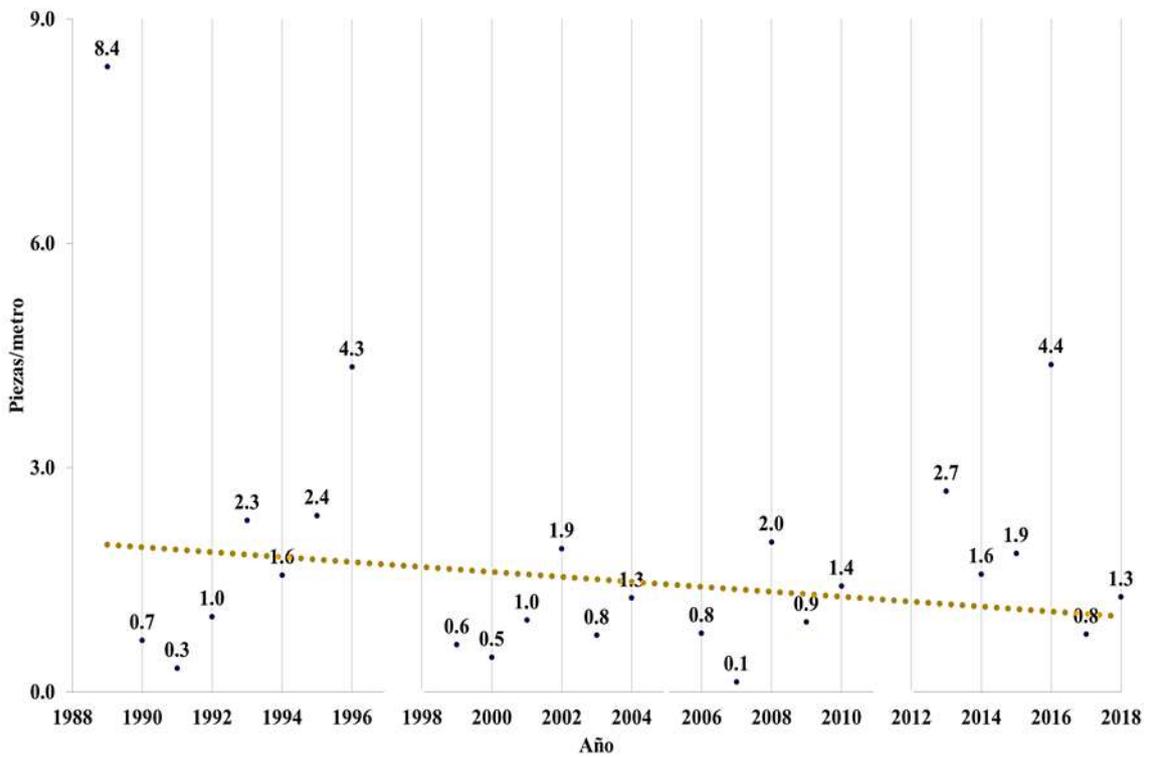


Figura 16 Relación piezas/metro por año

En la Figura 17 se presenta la relación entre el número de piezas recolectadas y su masa, al igual que en los dos gráficos anteriores la tendencia disminuye, y es atribuida principalmente a los materiales que constituyen los residuos. En los 90s algunos de los materiales más comunes eran vidrio y madera, posteriormente fueron cambiando por otros más ligeros como los plásticos.

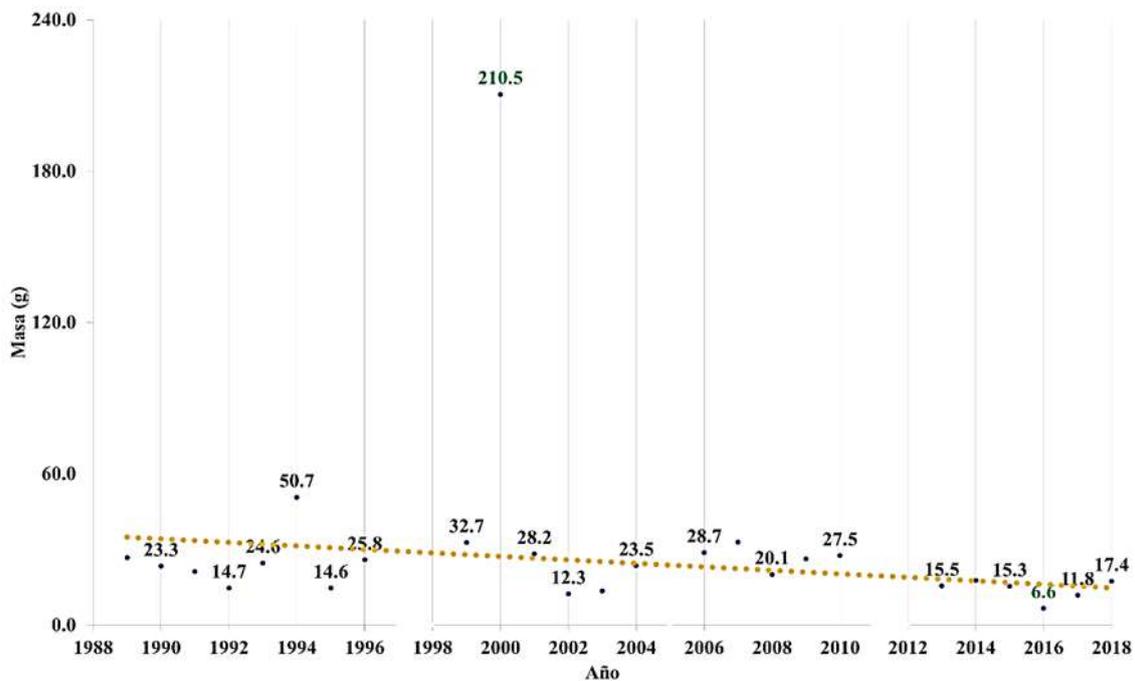


Figura 17 Relación piezas/masa por año

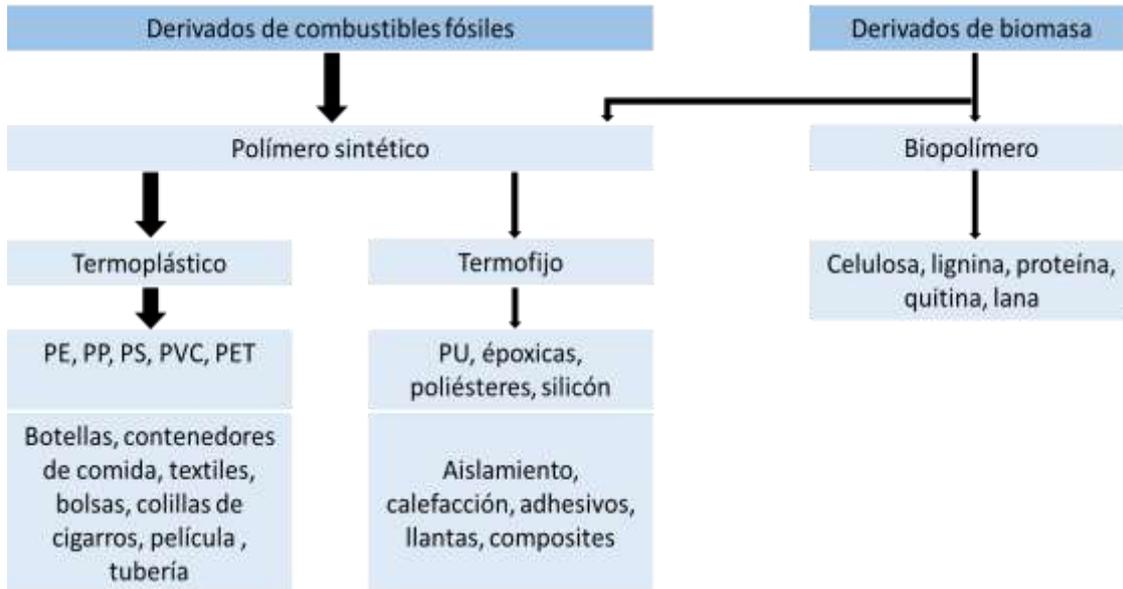
2.2.2 Los residuos plásticos como contaminantes de mayor incidencia

Los residuos sólidos se encuentran en todas las playas del mundo, en algunas de ellas las concentraciones son alarmantes (NOAA and UNEP, 2011). Una constante es que el porcentaje de residuos plásticos es siempre mayor al de otro tipo de residuos, esto se debe en cierta medida al incremento en la producción mundial y sus diversos usos, aunados a una mala gestión de residuos, lo que ha provocado la acumulación de residuos plásticos en los océanos (Andrady, 2015).

Los plásticos

El término plástico es usado en diversas disciplinas, sin embargo, la GESAMP (Grupo de Expertos Sobre Aspectos Científicos para la Protección del Medio Marino) los define como una subcategoría de una clase compleja de materiales llamados polímeros, los cuales son grandes moléculas, conformadas por unidades idénticas denominadas monómeros. Los polímeros que constituyen los plásticos al calentarse se suavizan y se pueden moldear (GESAMP, 2015).

En la Figura 18 se presenta la clasificación de los polímeros, haciendo énfasis en los plásticos. Las flechas gruesas indican una mayor producción en comparación con las delgadas.

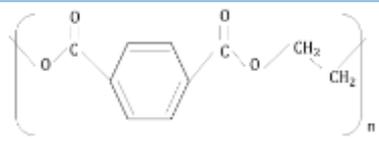
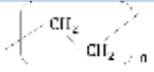
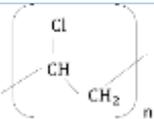
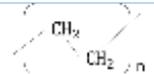
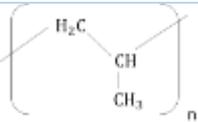
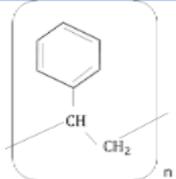


Modificado de GESAMP 2015

Figura 18 Clasificación de plásticos. PE: polietileno, PP: polipropileno, PS: poliestireno, PVC: policloruro de vinilo, PET: polietileno tereftalato, PU: poliuretano

En 1988 se desarrolló un sistema de símbolos y códigos de identificación de plásticos, con el fin de promover su reciclaje, el cual es utilizado mundialmente, que sigue en uso hasta la fecha (Plastic Industry Association, 2017), los cuales posteriormente fue retomado por la norma mexicana, NMX-E-232-CNCP-2014 Industria del plástico – Símbolos de identificación de plásticos (CNCP, 2014). En la Tabla 5 se presentan los nombres de los plásticos referidos en la NMX-E-232-CNCP-2014 y algunas de sus características.

Tabla 5 Códigos de identificación de plásticos

Nombre	Acrónimo	Código	Estructura química	Principales aplicaciones
Polietileno de tereftalato	PET o PETE	1		Envases para bebidas, electrodomésticos, textiles
Polietileno de alta densidad	PEAD	2		Envases y empaques, aislantes, industria eléctrica y automotriz
Policloruro de vinilo	PVC	3		Tubería, botellas, película y lámina, calzado, recubrimiento de cable
Polietileno de baja densidad	PEBD	4		Películas, bolsas y tuberías
Polipropileno	PP	5		Película, rafia, productos médicos, juguetes, recipientes para alimentos
Poliestireno	PS	6		Envases de productos alimenticios, edificación, carcasas, juguetes
Nylon, poliuretano, policarbonato, entre otros	Otros	7	-	Textiles, recipientes de alimentos, partes automotrices

En la Figura 19 se presenta el consumo nacional aparente (CNA) de las cinco resinas más comúnmente utilizadas en la fabricación de artículos plásticos. En el caso del polietileno en el período de 2010 a 2015 el CNA se mantuvo estable, sin embargo, en 2016 y 2017 hubo una disminución drástica en un 20 %, para 2018 hubo un repunte el cual posteriormente nuevamente se vio afectado en 2019.

El propileno (PP) ha mostrado en los últimos años, una tendencia a la alza, salvo en 2019 que presentó una caída del 32.1 %, sin embargo, es relevante mencionar que en el 2019 presentó un CNA superior al PE. El poliestireno (PS) mostró una tendencia estable de 2010 a 2012, posteriormente se observó una disminución en 2016, y en los últimos tres

años ha mostrado un CNA inestable. El polietileno de tereftalato (PET) ha mostrado ser una resina que ha sufrido muchas variaciones durante todo el periodo. Finalmente, el policloruro de vinilo (PVC) ha sido la única resina que se ha mantenido constante durante todo el periodo.

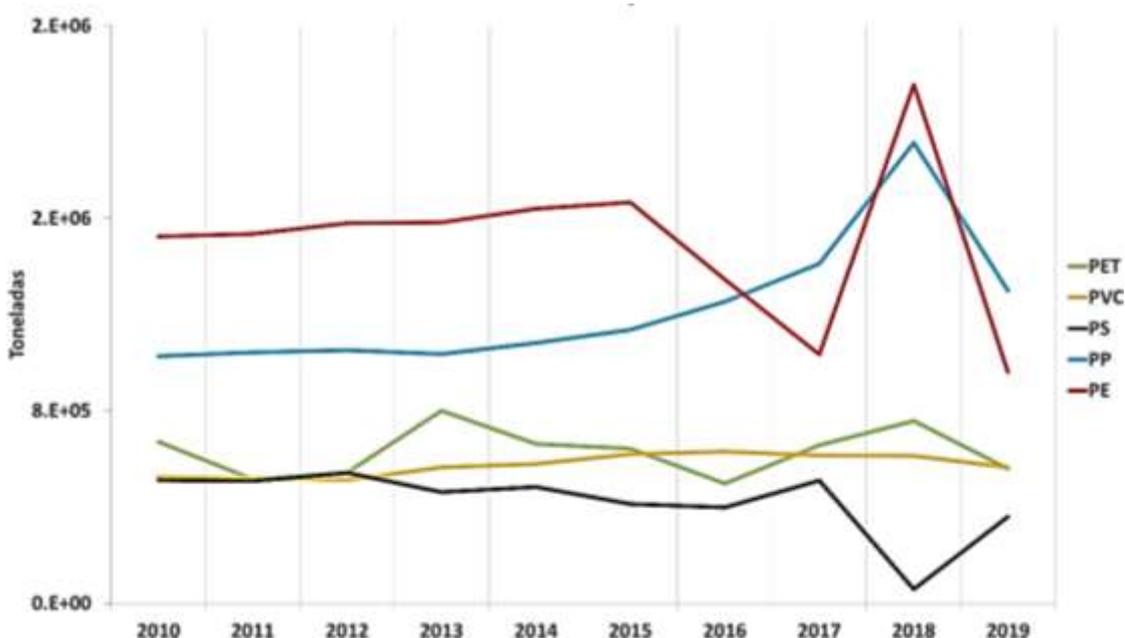


Figura 19. Consumo nacional aparente de tres tipos de resinas. Elaboración propia con datos de (ANIQ, 2020)

2.3 Contaminación por microplásticos en ambientes marinos

Los microplásticos (MP) son partículas de plásticos dentro del intervalo 0.001-5 mm en al menos dos de sus tres dimensiones y poseen propiedades fisicoquímicas (tamaño, densidad, color y composición química) que los pueden volver potencialmente peligrosos, debido a la biodisponibilidad que presentan para los organismos (Rocha-Santos and Duarte, 2015; Wessel *et al.*, 2016) y otros factores que se mencionarán en la presente sección.

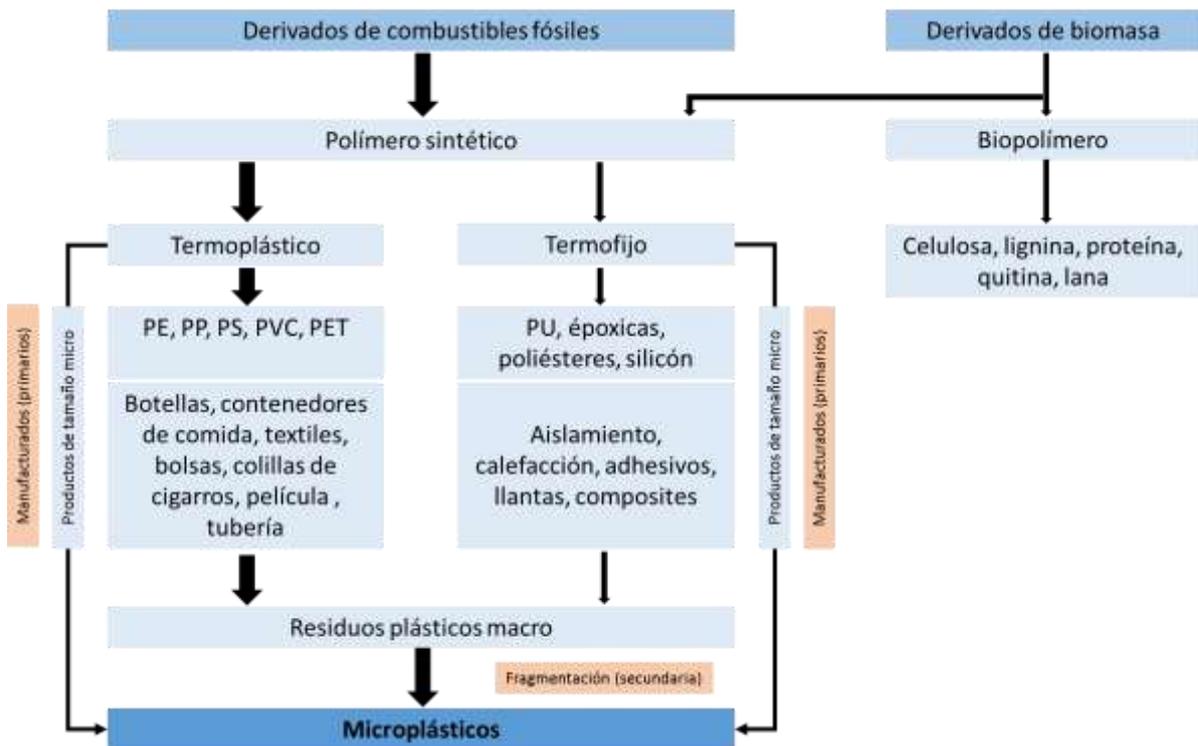
2.3.1 El origen de los microplásticos

El origen de los microplásticos es difícil de precisar, debido a que pueden provenir de diversas fuentes, sin embargo, si son clasificados como primarios o secundarios, o a

través de su forma, color y tamaño, se pueden hacer conjeturas sobre sus orígenes (W. Zhang *et al.*, 2017).

Los MP primarios están conformados por microperlas y pellets, los primeros son aquellos que han sido manufacturados con esas dimensiones para un uso en específico, generalmente en productos de higiene personal, como champuses, exfoliantes, geles de ducha y cosméticos (Anderson *et al.*, 2016; Lei *et al.*, 2017). En cuanto a los pellets, éstos se utilizan como materia prima en la industria de plástico, y son vertidos a los ambientes marinos accidentalmente por derrames, fugas entre otros (Veerasingam *et al.*, 2016).

Los microplásticos secundarios son clasificados como fragmentos y microfibras. Los fragmentos se forman de los residuos plásticos de mayor tamaño (>5 mm), que al permanecer expuestos a diferentes condiciones marinas tienden a degradarse por diversos factores, tanto de origen biótico (la generación de biopelícula en la superficie), como abiótico (radiación solar, salinidad, temperatura, desgaste mecánico producido por la fricción entre el residuo y la arena o las rocas) (Alvarez-Zeferino, 2014). Las microfibras se generan durante el lavado de ropa y otros textiles fabricados generalmente de poliéster o poliamidas (Miller *et al.*, 2017); llegan a los ambientes marinos por las descargas de aguas residuales en la zona costera. En algunos casos, aunque las aguas residuales reciban un tratamiento antes de ser dispuestas, esto no es suficiente para la remoción total de los MP (Salvador, Turra and Baroque-ramos, 2017). En la Figura 20 se observa un diagrama que presenta el origen de los diferentes tipos de microplásticos.



Fuente: (GESAMP 2015)
 Figura 20 Origen de los microplásticos

Además de la clasificación mencionada anteriormente, los MP pueden ser categorizados a partir de distintas características, como se describen en la Tabla 6.

Tabla 6 Categorías utilizadas para describir a los microplásticos

Categorías	Descripción
Tipo	Fragmento Pellet Filamento Película Espumado Gránulo
Nivel de erosión	Nuevo, sin intemperización, alteración incipiente, y nivel de agrietamiento (fracturas concoidales), intemperizados, surcos, superficie irregular, fragmentos dentados, fracturas lineales, crestas subparalelas y muy degradado
Color	Transparente, cristalino, blanco, claro-blanco-crema, rojo, naranja, azul, opaco, negro, gris, café, verde, rosa, amarillo, bronceado, pigmentado

Fuente: (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2013)

Los termoplásticos (aquellos polímeros que pueden fundirse y volver a ser moldeados (ANIQ, 2018)) son los más comúnmente encontrados en los diferentes ambientes marinos que se han estudiado, siendo el polietileno el más reportado, seguido del polipropileno y poliestireno, probablemente a que son los plásticos más utilizados para el empaque de productos, los cuales tienen relativamente tiempos de vida útil cortos, convirtiéndose rápidamente en residuos (GESAMP, 2015), en cuanto al polietileno de tereftalato (PET) y el policloruro de vinilo (PVC) también ha sido reportada su incidencia aunque en menor proporción, debido probablemente a que su densidad es mayor a la del agua marina, por lo que podrían depositarse en el fondo marino (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2013).

Dentro de los termofijos (polímeros que al exponerse al calor se degradan irreversiblemente (ANIQ, 2018)) más comunes se han encontrado nylon (Mohamed Nor and Obbard, 2014), poliésteres (Qiu *et al.*, 2015), acrílico, polimetacrilato, poliuretanos (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2013).

2.3.2 Impactos de los microplásticos en ambientes marinos

Los riesgos ecológicos y humanos de los microplásticos en ambientes marinos son áreas de investigación relativamente nuevas, por lo que actualmente se tiene un grado de incertidumbre alto en torno a éstos (GESAMP, 2015).

El riesgo es una función del daño que puede causar el MP y la exposición (dosis); la evaluación de los riesgos de los MP requiere conocimientos de sus posibles daños (el potencial de los MP para causar efectos adversos a través de mecanismos plausibles), niveles de exposición (es decir, las cantidades de MP detectado en el ambiente e incluso en organismos vivos) y sus efectos (identificación de relaciones dosis-respuesta y niveles de umbral) (Amaral-Zettler *et al.*, 2016).

Los MP tienen diversos efectos como consecuencia de factores relacionados con su condición física o química. Los factores físicos relevantes son el tamaño y la forma, mientras que los factores químicos clave que actúan juntos para determinar su potencial

daño son sus áreas superficiales, reactividad, la toxicidad intrínseca del MP y los contaminantes adsorbidos en su superficie (GESAMP, 2015).

Ingestión de microplásticos por seres vivos

Diversos estudios han demostrado que los MP son ingeridos por una amplia variedad de organismos comprendidos en varios niveles de la cadena trófica (Figura 21), peces, aves, mamíferos e invertebrados (lombrices, pepino marino, zooplancton entre otros). Además, existen numerosos reportes que avalan que en todas las regiones oceánicas existe esta problemática (GESAMP, 2015). La incorporación de los MP en algunos organismos puede llevarse a cabo vía translocación o ingestión. La translocación se presenta sobretodo en especies que tengan branquias, ya que los MP pueden introducirse por esa vía a los organismos, aunque es más común que lo hagan vía ingestión (GESAMP, 2015).

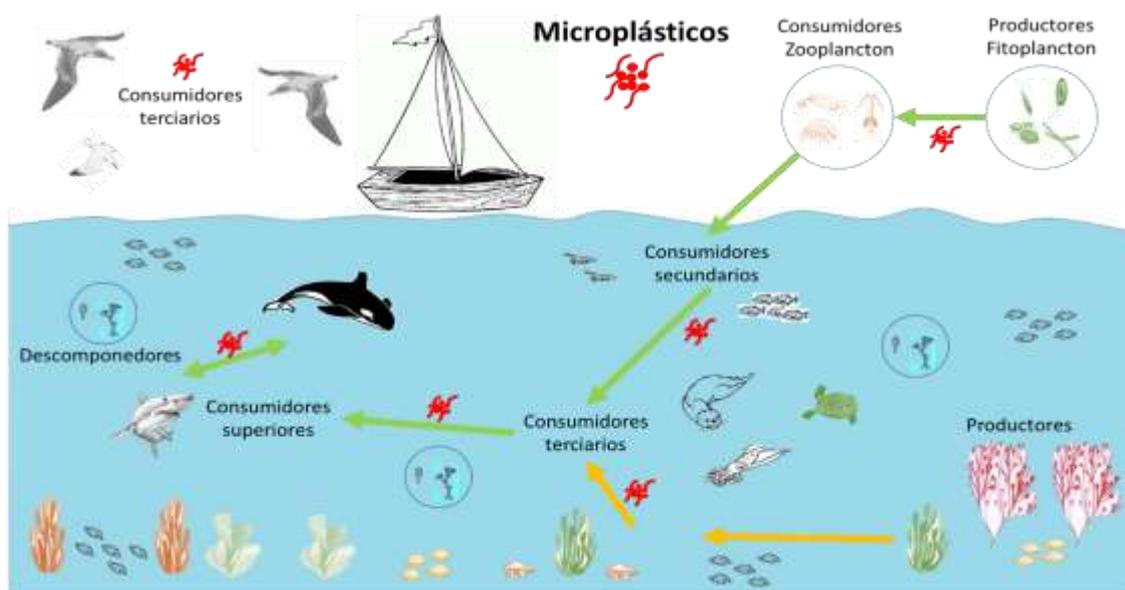


Figura 21 Ingreso de los microplásticos a la cadena trófica

El monitoreo de MP en la biota es complejo, debido al tamaño microscópico de algunos de ellos. La evidencia de ingestión de MP es limitada a ser estudiada únicamente en

laboratorios, además de que no existe un procedimiento estandarizado para la extracción de estos (Wesch *et al.*, 2016).

Los MP afectan a los niveles más bajos de la cadena trófica como es el caso del plancton y zooplancton, en el primero se ha evidenciado que los MP interfieren en el proceso de fotosíntesis, debido a que los MP presentan alta reactividad y provocan daño físico en las células (C. Zhang *et al.*, 2017). Mientras que en algunas especies que conforman el zooplancton los MP producen una inmovilización provocando su muerte (Rehse, Kloas and Zarfl, 2016).

Cuando los MP son ingeridos por macrórganismos marinos, se pueden acumular en diversas partes del cuerpo, lo cual depende en cierta medida de la especie, sin embargo, es común su presencia en intestinos, estómago e hígado. Se ha evidenciado que los MP pueden alterar la microbiota intestinal, lo que produce estrés oxidativo e inflamación en los organismos (Pirsaheb, Hossini and Makhdoumi, 2020). Además podría tener efectos en la función inmunológica y neurotoxicidad (Joana Correia Prata *et al.*, 2020), y causar desórdenes alimenticios lo que posteriormente repercute en procesos reproductivos (Xu *et al.*, 2017).

Transporte de especies invasoras

Los MP, al estar expuestos a condiciones marinas, se les tiende a formar biopelícula, la cual está constituida por una compleja interacción de organismos micro y macro, además de minerales (Alvarez-Zeferino, Beltrán-Villavicencio and Vázquez-Morillas, 2015). En la biopelícula puede propiciarse el crecimiento de organismos nativos en ciertas zonas, los cuales pueden viajar sobre los MP largas distancias y llegar a zonas en donde condiciones favorables pueden propiciar su desarrollo y alterar la cadena trófica de la zona.

En un estudio realizado en Eslovenia se logró identificar una bacteria patógena de peces *Aeromonas salmonicida* sobre la superficie de los MP. Esta bacteria es responsable de causar enfermedades, por lo que los autores concluyen que es crucial conseguir respuestas de como los plásticos pueden esparcir enfermedades y alterar los ecosistemas marinos (Viršek *et al.*, 2017).

Un estudio similar se llevó a cabo en el Mar Báltico y del Norte, en el cual se tomaron muestras de microplásticos y posteriormente fueron analizadas, los resultados revelaron la presencia de una bacteria potencialmente patógena, *Vibrio parahaemolyticus* sobre la superficie de éstos (Kirstein *et al.*, 2016).

Sorción de contaminantes

Debido a sus propiedades fisicoquímicas los MP pueden adsorber una compleja mezcla de contaminantes presentes en los ambientes marinos (Rochman, 2015). Los MP más pequeños tienen mayor área superficial por unidad de masa, lo que les permite adsorber mayores concentraciones de contaminantes, por lo tanto, es probable que exhiban mayor toxicidad (GESAMP, 2015).

Elementos traza y metales pesados

Los metales pesados y microplásticos han sido considerados con un riesgo ambiental en los ambientes marinos y la interacción entre ambos ha sido poco estudiada, sin embargo, hoy en día se reconoce que los MP representan un importante vehículo para el transporte de metales en estos entornos (Holmes, Turner and Thompson, 2012; Brennecke *et al.*, 2016).

Los elementos traza y metales pesados más estudiados han sido aluminio (Al), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), estaño (Sn), plomo (Pb), titanio (Ti) y zinc (Zn), debido a la alta toxicidad que presentan algunos de ellos en bajas concentraciones (Brennecke *et al.*, 2016; Castillo, Al-Maslamani and Obbard, 2016; Bagaev *et al.*, 2017).

Los factores que interfieren en la adsorción de los metales son: la salinidad (a mayor salinidad menor adsorción de metales), las propiedades físicas y químicas de los microplásticos, la afinidad química de ciertos metales, el grado de intemperización de los MP (Vedolin *et al.*, 2017; Guo and Wang, 2021).

Hoy en día se han desarrollado investigaciones específicas entre metales y microplásticos, con la finalidad de establecer posibles riesgos entre los MP reportados

en ambientes marinos y cierto tipo de metales (Li *et al.*, 2020). Por ejemplo, en un estudio se comparó la adsorción del Cu en policloruro de vinilo (PVC) y poliestireno (PS), la adsorción de Cu fue significativamente más alta en MP de PVC que en PS, debido a una mayor área superficial y polaridad (Brennecke *et al.*, 2015).

Contaminantes orgánicos

Los POP (contaminantes orgánicos persistentes por sus siglas en inglés), que engloban a los bifenilos policlorados (BPC) y a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), por mencionar algunos tipos de compuestos, pueden llegar a los océanos por diversas vías como lo son deposición atmosférica, efluentes de ríos, descarga de aguas residuales y escurrimientos de suelos; presentan alta hidrofobicidad y estabilidad química y térmica, además son compuestos bioacumulables (Murk *et al.*, 2014).

La adsorción de los POP está condicionada por las propiedades de los polímeros: densidad, cristalinidad, tamaño, forma, color, tipo de polímero, grado de intemperización y peso molecular y factores ambientales como: salinidad, pH, temperatura, materia orgánica y fuerza iónica (Rodrigues *et al.*, 2019).

Posteriormente, los MP al ingresar a los organismos pueden desorber los contaminantes que se encuentran en su superficie, provocando un proceso de bioacumulación y los riesgos aún no han sido descritos en su totalidad.

En un estudio realizado en China, se evaluó la toxicidad de MP con fenantreno sobre *Daphnia magna* en cinco tamaños de partículas (desde 50 nm a 10 µm), los resultados revelaron que los MP más pequeños (50 nm) presentaron toxicidad significativa y daño físico sobre la especie evaluada (Ma *et al.*, 2016).

En otro estudio realizado con mejillones *Mytilus galloprovincialis*, se evaluó la toxicidad de MP (polietileno y poliestireno) con pireno (HAP), los resultados mostraron la transferencia del pireno a los mejillones, el pireno se acumuló en los tejidos digestivos. Los efectos celulares incluyeron alteraciones en la respuesta inmunológica, efectos neurotóxicos e inicio de genotoxicidad. El estudio demostró que los MP adsorben HAPs

y posteriormente presentan una elevada biodisponibilidad, con las repercusiones que conlleva (Avio *et al.*, 2015)

Besseling en el 2013, evaluó el efecto de MP (poliestireno) adsorbido con 19 PCBs diferentes, sobre la sobrevivencia, actividad y masa de lombrices *Arenicola marina*, se encontró una relación positiva entre la concentración de MP en el sedimento y la pérdida de peso de las lombrices (L *et al.*, 2013)

Lixiviación de aditivos

Varios de los aditivos asociados con los plásticos son considerados peligrosos por agencias reguladoras, lo cuales incluyen los retardantes de llama bromados, ftalatos, plastificantes y estabilizadores al calor (Rochman *et al.*, 2015). Cuando los plásticos ingresan a los ambientes marinos pueden ser susceptibles de lixiviar una parte de los aditivos que contienen, debido a factores como el pH y la salinidad (Luo *et al.*, 2019).

Los compuestos lixiviados pueden alterar la fotosíntesis en algas (Luo *et al.*, 2019), causan toxicidad aguda en el zooplancton (Bejgarn *et al.*, 2015).

2.4 Métodos para el muestreo de residuos sólidos y microplásticos

En el presente capítulo, se presentan los diversos protocolos de muestreo de residuos sólidos y microplásticos en playas, los cuales son avalados por instituciones gubernamentales o asociaciones civiles, además se incluyen métodos de muestreo propuestos por investigadores de diversas partes del mundo.

2.4.1 Protocolos para el muestreo de residuos sólidos

En la Tabla 7 se presentan los protocolos internacionales para el estudio de los residuos sólidos urbanos presentes en playas, así como los objetivos que persiguen cada uno de ellos.

Tabla 7 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas

Protocolo	Objetivo	Referencia
Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas	El objetivo es implementar un protocolo para el monitoreo de los residuos que sea aplicado en todas las zonas costeras, el cual permita asegurar la comparabilidad de los resultados con otras regiones	(Ferreira, 2014)
NOAA Marine Debris Shoreline Survey Field Guide	Los objetivos del estudio se centran en el monitoreo de residuos marinos. Contempla dos tipos de estudios: acumulación y standing-stock. El primero provee información sobre la tasa de deposición (flujo) de residuos sobre la zona costera (#piezas por unidad área y #piezas por unidad de tiempo). El segundo brinda información de la cantidad y tipos de residuos en la zona costera. (#piezas por unidad de área)	(Opfer, Arthur and Lippiatt, 2012)
Guideline for Monitoring Marine Litter on the Beaches in the OSPAR Maritime Area	El objetivo de la guía es la recopilación de datos sobre residuos marinos para determinar tendencias, cantidades y origen de los residuos	(OSPAR, 2010)

Tabla 7 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas. Continuación

<p>UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. La cuantificación y caracterización de residuos marinos con el propósito de desarrollar y evaluar la efectividad de la gestión, el control, cumplimiento y/o las estrategias de mitigación, en particular de la integración del manejo de los residuos sólidos 2. Comprender el nivel de riesgo que representa los residuos marinos para la biota y los ecosistemas 3. Proporcionar bases de datos comparables de residuos marinos para el desarrollo de evaluaciones regionales, nacionales y globales 	<p>(Cheshire <i>et al.</i>, 2009)</p>
<p>Guidelines for Monitoring Marine Litter on the Beaches and Shorelines of the Northwest Pacific Region</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Estimar la cantidad, tipos y posibles fuentes de residuos marinos encontrados en las playas y líneas costeras 2. Estimar las tendencias en cuanto a cantidades y tipos de residuos se refiere 3. Remover los residuos a lo largo de la costa de la región del pacifico noreste 4. Educar a la gente sobre el problema de los residuos marinos 5. Mantener una comunicación efectiva entre los miembros de la región del pacifico noreste 6. Usar la información obtenida para acciones positivas desde un nivel individual, nacional y regional, centrándose en la reducción de las entradas de los residuos a los ambientes marinos y costeros 	<p>(NOWPAP, 2007)</p>

En la Tabla 7 se presentan 5 protocolos internacionales para el estudio de residuos sólidos urbanos, en todos los casos uno de los objetivos prioritarios es el de cuantificar y caracterizar los residuos presentes en las playas, sin embargo, algunos protocolos presentan variaciones tales como establecer periodos determinados con la finalidad de evaluar tasas de deposición (Opfer, Arthur and Lippiatt, 2012), o brindar educación a la población sobre la problemática de los residuos marinos (NOWPAP, 2007). Sólo en dos de los cinco protocolos, se señala la importancia de obtener resultados que puedan ser comparables entre diversos estudios (Cheshire *et al.*, 2009; Ferreira, 2014).

En México se cuenta solamente con la norma NMX-AA-120-SCFI-2016, que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas (SEMARNAT, 2016). Esta norma, si bien no es específica para residuos en playa, en un apartado contempla una metodología para evaluar los residuos marinos.

2.4.2 Protocolos para el muestreo de microplásticos

Actualmente se existen diversos protocolos para el muestreo de microplásticos desarrollados por diversas asociaciones ambientales o gubernamentales, los cuales se presentan en la Tabla 8, además de una descripción del objetivo que persiguen.

Tabla 8 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas

Protocolo	Objetivo	Referencia
Standardized protocol for monitoring microplastics in sediments	El objetivo principal es crear una metodología estandarizada que mejore las técnicas actuales de muestreo, procesamiento, análisis y seguimiento de microplásticos en sedimentos intermareal y submareales; lo que permitirá realizar comparaciones entre los resultados de diferentes publicaciones sobre microplásticos en el continente europeo	(Gago <i>et al.</i> , 2018)
Sampling and processing micro and mesoplastic samples from sandy beaches	El objetivo de este reporte es mostrar una técnica estandarizada de muestreo, extracción y cuantificación de microplásticos y mesoplásticos en playas arenosas de manera secuencial e ilustrativa	(Herrera <i>et al.</i> , 2018)
Microplastics Sampling and Processing Guidebook	El objetivo de este protocolo fue guiar en el aprendizaje de técnicas estandarizadas de muestreo, procesamiento de microplásticos y recopilación de datos a los científicos ciudadanos que participaron en un proyecto de la Alianza del Golfo de México, cuyo fin era determinar la abundancia de microplásticos en la región norte del Golfo de México El proyecto también tiene el propósito de brindar técnicas que puedan adaptarse para uso de educadores y estudiantes	(Sartain, Wessel and Sparks, 2018)

Tabla 8 Protocolos internacionales para el monitoreo de residuos sólidos en playas. Continuación

<p>Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments</p>	<p>Uno de los objetivos de este protocolo es proporcionar técnicas simplificadas que requieran equipo sencillo y sean fáciles de reproducir en diversas partes del mundo para la determinación de concentraciones de microplásticos en ambientes marinos, así como también desarrollar técnicas de procesamiento de muestras en laboratorio para cuantificar microplásticos en agua y sedimentos marinos y productos de higiene personal</p> <p>El segundo objetivo es usar las técnicas de muestreo y los objetivos de cada investigación para la normalización de datos a través de diversas métricas como cantidad, masa y volumen de piezas, con el fin de realizar comparaciones de resultados entre publicaciones de todo el mundo</p>	<p>(Masura <i>et al.</i>, 2015)</p>
<p>Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean</p>	<p>El objetivo principal es brindar herramientas como: recomendaciones, ejemplos de protocolos utilizados en el muestreo de diferentes tipos de residuos, técnicas de muestreo y estudios de caso para el desarrollo de programas de seguimiento y evaluación de la distribución y abundancia de residuos plásticos (macro, meso y microplásticos) en ambientes marinos</p>	<p>(Marine Debris Program, 2015)</p>
<p>Guidelines for sampling microplastics on sandy beaches</p>	<p>El objetivo principal es proporcionar a grupos de voluntarios métodos accesibles y fáciles de comprender e implementar para determinar la abundancia de microplásticos en playas arenosas.</p> <p>Las técnicas de muestreo, procesamiento de microplásticos y obtención de resultados están basadas en el protocolo desarrollado por la Directiva del marco de estrategia marina sobre desechos marinos de la comisión europea</p>	<p>(GESAMP, 2019)</p>
<p>Guidance on monitoring of marine litter in European seas</p>	<p>Este reporte tiene como objetivo general proporcionar a los países de la Unión Europea información sobre protocolos y consideraciones específicas para la obtención y el análisis de resultados sobre residuos en playas, en la biota marina y en la superficie y el fondo marino, con el fin de dar seguimiento a la distribución y concentración de residuos en los mares de Europa</p>	<p>(MSFD Technical Subgroup on Marine Litter, 2013)</p>
<p>A citizen science protocol for microplastics pollution</p>	<p>El objetivo principal de este protocolo es proporcionar técnicas de recolección e identificación visual de microplásticos de entre 1 – 5 mm en playas arenosas, bahías, lagos y ríos, que sean sencillas de aplicar por científicos ciudadanos</p> <p>Adicionalmente, también se tiene como objetivo el determinar concentraciones actuales de microplásticos y buscar tendencias regionales a través de la base de datos de la aplicación para Smartphone o tabletas Marine Debris Tracker utilizada en este protocolo</p>	<p>(Gyres, 2019)</p>

El objetivo de la mayoría de los protocolos es establecer una metodología estandarizada para el muestreo de microplásticos en playas de arena, aunque en algunos casos se mencionan que la misma metodología puede ser aplicada en otros entornos marinos como: lagunas, ríos, entre otros (Marine Debris Program, 2015; Masura, Julie, Baker, Joel, Foster, Gregory, Arthur, 2015; Gyres, 2019).

En tres protocolos se hace mención de la inclusión de voluntarios (Sartain, Wessel and Sparks, 2018; GESAMP, 2019; Gyres, 2019), el mismo número de protocolos sugiere que dentro de los elementos a considerar se incluyan las características de accesibilidad y de fácil reproducción (Masura, Julie, Baker, Joel, Foster, Gregory, Arthur, 2015; GESAMP, 2019; Gyres, 2019).

2.4.3 Metodologías propuestas por diversos investigadores para el estudio de microplásticos

Se consultaron 15 publicaciones científicas sobre la presencia de microplásticos en playas de arena, con la finalidad de realizar una matriz para visualizar las variables que contemplan (Tabla 9).

Tabla 9 Resumen de las metodologías utilizadas para la recolección de muestras en playa

País	Número de playas muestreadas	Transecto de playa (m)	Puntos muestreados por playa	Distancia entre puntos (m)	Periodicidad	Hora de muestreo	Área muestreada	Zona de muestreo	Profundidad (cm)	Referencia
Singapur	7	N.E.	3	2 - 3	1 evento al año	Marea baja	1.5 x 1.5 m	N.E.	3 - 4	(Mohamed Nor and Obbard, 2014)
China	5	N.E.	N.E.	N.E.	1 evento al año	Marea baja	N.E.	Debajo de la pleamar	1	(Qiu <i>et al.</i> , 2015)
Portugal	10	100	3	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	(Frias <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	7	N.E.	12	Aleatoria	1 evento al año	Marea baja	0.25 x 0.25 m	Intermareal	3 - 6	(Wessel <i>et al.</i> , 2016)
México	35	N.E.	N.E.	N.E.	2 eventos anuales	N.E.	N.E.	Línea pleamar	N.E.	(Retama <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	2	N.E.	3	N.E.	1 evento al año	N.E.	1 x 1 m	Línea pleamar	5 - 10	(Young and Elliott, 2016)
Brasil	17	N.E.	2	N.E.	2 eventos en un año	N.E.	1 x 1 m	Línea pleamar	5	(de Carvalho and Baptista Neto, 2016)
Qatar	8	N.E.	3	Aleatoria (separación 5 x punto)	1 evento al año	N.E.	0.5 x 0.5 m	Línea pleamar	2	(Abayomi <i>et al.</i> , 2017)
Europa	23	40	5	10	1 evento al año	N.E.	N.E.	Línea pleamar	5	(Lots <i>et al.</i> , 2017)
Inglaterra	2	10	N.E.	N.E.	1 evento al año	N.E.	N.E.	Línea pleamar	Superficial	(Massos and Turner, 2017)
China	28	N.E.	5	N.E.	1 evento al año	N.E.	1 x 1 m	N.E.	0 - 2	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Estados Unidos	18	50	10	N.E.	1 evento al año	Marea baja	Cilindro 25 cm ϕ , 1.5 cm altura	Línea pleamar	1.5	(Yu <i>et al.</i> , 2018)

Tabla 9 Resumen de las metodologías utilizadas para la recolección de muestras de arena en playa. Continuación

País	Utensilios para la recolección	Almacenamiento	Lugar de separación	Condiciones de secado	Técnica de separación	Intervalo de microplástico	Técnica de identificación	Plásticos recurrentes	Resultados	Referencia
Singapur	Espátula de acero	N.E.	Laboratorio	60 °C y 24 h	Densidad	< 20 – 5,000 µm	FTIR	PE, PP, Nylon y PVC	3.0 - 15.7 pzs/250g _{ss}	(Mohamed Nor and Obbard, 2014)
China	N.E.	Bolsa de aluminio	Laboratorio	50 °C hasta peso cte.	Densidad	< 5 mm	Microscopio de Fluorescencia	PEAD, PET, Poliéster y PS	216 - 608 pzs/50g _{ss}	(Qiu <i>et al.</i> , 2015)
Portugal	N.E.	N.E.	N.E.	60 °C y 48 h	Densidad y Filtración		FTIR	PP y Rayón	0.01 pzs/g	(Frias <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	Espátula de acero	N.E.	Laboratorio	N.E.	Tamizado y Densidad		FTIR	PE y PP	5 - 117 pzs/m ²	(Wessel <i>et al.</i> , 2016)
México	N.E.	N.E.	Laboratorio	T ambiente	Densidad y Filtración	< 5mm	Microscopía Electrónica	N.R.	0 - 70 pzs/30g _{ss}	(Retama <i>et al.</i> , 2016)
Estados Unidos	N.E.	N.E.	Campo	N.E.	Densidad	0.5 - 8 mm	Espectroscopia de Raman	PE y PP	16,206 – 28,782 pzs	(Young and Elliott, 2016)
Brasil	N.E.	Cubetas de plástico	Laboratorio	60 °C	Densidad y Filtración	N.E.	Estereoscopio	No identificaron	12 – 1,300 pzs/m ² 3 - 743 pzs/m ²	(de Carvalho and Baptista Neto, 2016)
Qatar	N.E.	Frasco de vidrio	Laboratorio	60 °C	Densidad y Filtración	2 mm	FTIR	PE y PP	36 - 228 pzs/m ²	(Abayomi <i>et al.</i> , 2017)
Europa	Pala de metal, GPS	Bolsa con zip-lock	Laboratorio	60 °C y 48 h	Densidad y Filtración	< 5 mm	Microscopio, Espectroscopia de Raman	PE y PP	72 – 1,512 pzs/kg _{ss}	(Lots <i>et al.</i> , 2017)
Inglaterra	Pinzas de acero	N.E.	Laboratorio	40 °C y 24 h	Tamizado	< 5 mm	FTIR y Espectroscopia de Fluorescencia	PE y PP	436 - 488 pzs	(Massos and Turner, 2017)
China	Pala de metal	N.E.	Laboratorio	N.E.	Densidad	<1-5 mm	FTIR	PE, PP y PS	1 - 7 pzs	(Zhang <i>et al.</i> , 2018)
Estados Unidos	Pala de metal	Bolsas de aluminio	Laboratorio	50 °C y 48 h	Densidad		Microscopio digital 75X y FTIR	PET	24 % PET y 68 % Fibras	(Yu <i>et al.</i> , 2018)

N.E. No se especifica; cte. Constante; h horas; FTIR Transformación de Fourier de la Radiación Infrarroja; PE Polietileno; PP Polipropileno; PVC Policloruro de vinilo; PEAD Polietileno de alta densidad; PET Polietileno de tereftalato; PS Poliestireno; ss sólidos secos; pzs Piezas

En la Tabla 9 se observa que el número de playas muestreadas por estudio se encuentran en el intervalo de 2-35, solo cuatro artículos mencionan la distancia del transecto elegido (10-100 m), en cuanto a los puntos muestreados por playa el número máximo es de 12 mientras que el mínimo son dos.

Sólo cuatro publicaciones toman en cuenta la distancia entre puntos, dos de ellos de manera aleatoria. La mayoría de los estudios se realizan sólo en una ocasión, a excepción del realizado en México que se realizó en dos años diferentes y el estudio publicado en Brasil que realizó dos muestreos en un año. En cuatro estudios los muestreos se realizan en la marea baja.

El área muestreada es muy variable hay seis artículos que utilizan cuadrantes que van desde los 0.25m hasta los 1.5m, sólo un autor utiliza un cilindro para realizar el muestreo, los cinco restantes no especifican. En cuanto a la zona de muestreo, la mayoría lo realiza en la línea pleamar. La profundidad del muestreo varía desde la superficie hasta un máximo de 10 cm.

Los utensilios para la recolección de la arena se prefieren aquellos fabricados con acero inoxidable, la separación de los microplásticos se realiza en laboratorio a excepción de un artículo que refiere que la separación se realizó en campo, las muestras se secaron desde temperatura ambiente hasta los 60 C, y el tiempo fue de 24 a 48 horas. Las técnicas más comunes de separación son por densidad utilizando soluciones con diferentes densidades, tamizado y filtrado. Las técnicas de identificación más comunes son el FTIR, y métodos microscópicos.

Los plásticos más recurrentes son polietileno (PE) y polipropileno (PP), en cuanto a los resultados es difícil la comparación entre ellos, debido a que en primera las unidades son diferentes, y en segunda la toma de muestra es diferente en todos los casos.

3 Metodología



You must not lose faith in humanity. Humanity is like an ocean; if a few drops of the ocean are dirty, the ocean does not become dirty. Mahatma Gandhi

En el presente capítulo se describe la metodología para el desarrollo del proyecto, la cual fue dividida en seis etapas (Figura 22):

- a) Muestreos preliminares con la finalidad de definir la técnica de muestreo en playas de arena y de extracción e identificación de microplásticos en laboratorio
- b) Selección de playas con base en criterios específicos
- c) Recopilación de información para cuantificar los parámetros de los indicadores y evaluar la calidad ambiental de las playas
- d) Muestreo de residuos y microplásticos (MP) en dos campañas: 2018 y 2019
- e) Extracción y caracterización fisicoquímica de los microplásticos en laboratorio
- f) Análisis estadístico de los resultados



Figura 22 Metodología empleada para el desarrollo del estudio

3.1 Muestreos preliminares

Se realizaron tres muestreos preliminares en 2017, con la finalidad de establecer criterios de campo y definir la técnica de muestreo, así como técnicas analíticas en laboratorio para la extracción de microplásticos. Las playas en que se realizaron estas pruebas se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10. Ubicación, fecha y objetivo de los estudios preliminares

Lugar y fecha	Objetivo
Puerto Peñasco, Sonora (febrero 2017)	Seleccionar condiciones para el muestreo de microplásticos
Santander, España (junio 2017)	Desarrollar una metodología en laboratorio para la separación de microplásticos
Tuxpan, Veracruz (septiembre 2017)	Emplear la metodología propuesta de campo para el muestreo de microplásticos

Las playas se eligieron por cuestiones de logística en los dos primeros casos, y en el último, durante una estancia de investigación.

3.2 Selección de las playas de estudio

La selección de las playas del estudio se realizó con base en tres niveles; primero se eligieron las regiones marinas del país, posteriormente diferentes localidades y por último las zonas de muestreo, en cada caso se eligieron criterios específicos (Figura 23).

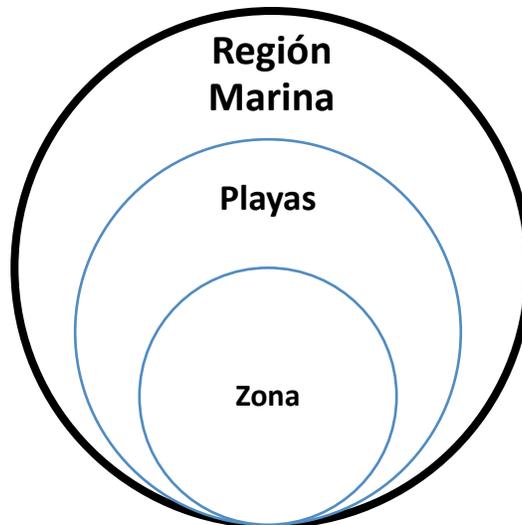


Figura 23 Jerarquización de la selección de las zonas de estudio

3.2.1 Selección de regiones

Se consideraron el siguiente criterio para la selección de las regiones marinas:

- En el país existen cinco regiones marinas, por lo que se optó por seleccionar al menos dos playas por región, con la finalidad de tener una mayor cobertura sobre la presencia de residuos y MP en el país

3.2.2 Selección de playas

Se eligieron playas que cumplieran con los siguientes criterios:

- Pertenecientes a diferentes estados de la república, con la finalidad de comparar las distintas formas del manejo de los residuos
- Con actividad turística, debido a que algunos autores señalan que existe una correlación entre la presencia de MP con las actividades antropogénicas específicas que se realizan en éstas (Retama *et al.*, 2016)

- Playas de arena o guijarros ≤ 5 cm de diámetro, las playas rocosas se excluyeron debido a lo riesgoso que pueden ser realizar el muestreo y a que no existe acumulación de sedimento (Cheshire, Adler, Barbière, & Cohen, 2009; NOWPAP, 2007)
- Con al menos 100 m de longitud, para que los resultados sean representativos y válidos estadísticamente (Besley *et al.*, 2016)
- De fácil acceso durante todo el año
- Playas con seguridad pública

3.2.3 Selección de la zona de muestreo

Para la elección de las zonas de muestreo de cada playa se consideró lo siguiente:

- Se eligieron, en la medida de lo posible, playas en las que no existiera infraestructura física (palapas, sombrillas, entre otros), dado que ésta puede generar acumulaciones de residuos
- Se buscó una zona en donde la línea pleamar estuviera bien definida

3.3 Recopilación de información de campo

La recopilación de información de campo se dividió en dos etapas, en la primera se realizó consultando información geográfica en imágenes satelitales obtenidas de Google Earth y a través de la observación de en las playas. La segunda etapa consistió en la evaluación de indicadores para establecer índice de calidad ambiental con base en lo propuesto por Cruz-Salas en 2020.

3.3.1 Registro de características geográficas de la zona de estudio

Se desarrolló una ficha para el registro de la información de acuerdo a la reportada en el protocolo de muestreo y monitoreo de residuos marinos avalado por la UNEP (Cheshire *et al.*, 2009). En la Figura 24 se presentan los tres elementos que se evaluaron para cada playa: descripción general, características físicas y elementos geográficos relevantes (Anexo 7.2).

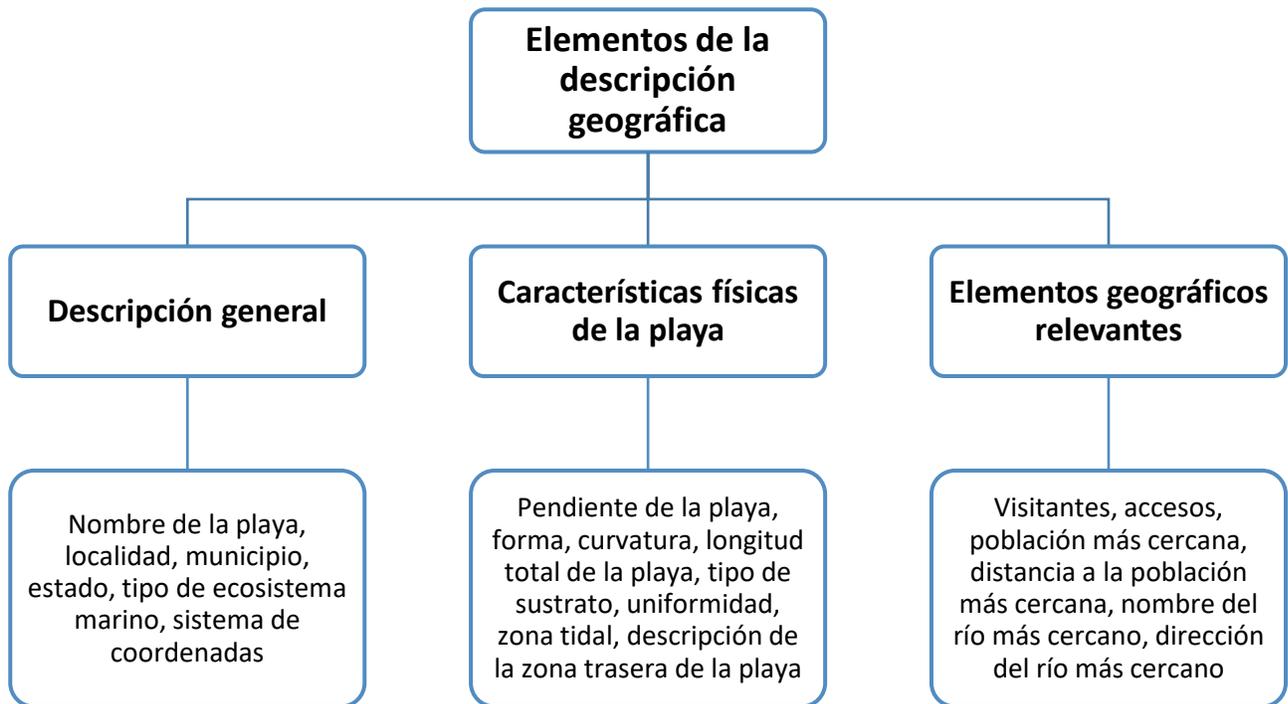


Figura 24 Esquema de la ficha del levantamiento de datos geográficos de las playas

3.3.2 Evaluación de la calidad ambiental

Se evaluaron cinco indicadores con sus respectivos parámetros de acuerdo con lo propuesto por Cruz-Salas en 2020. En la Figura 25 se presentan los cinco indicadores y sus respectivos parámetros: urbanización, conservación, potencial recreativo, gestión de residuos y contaminación.

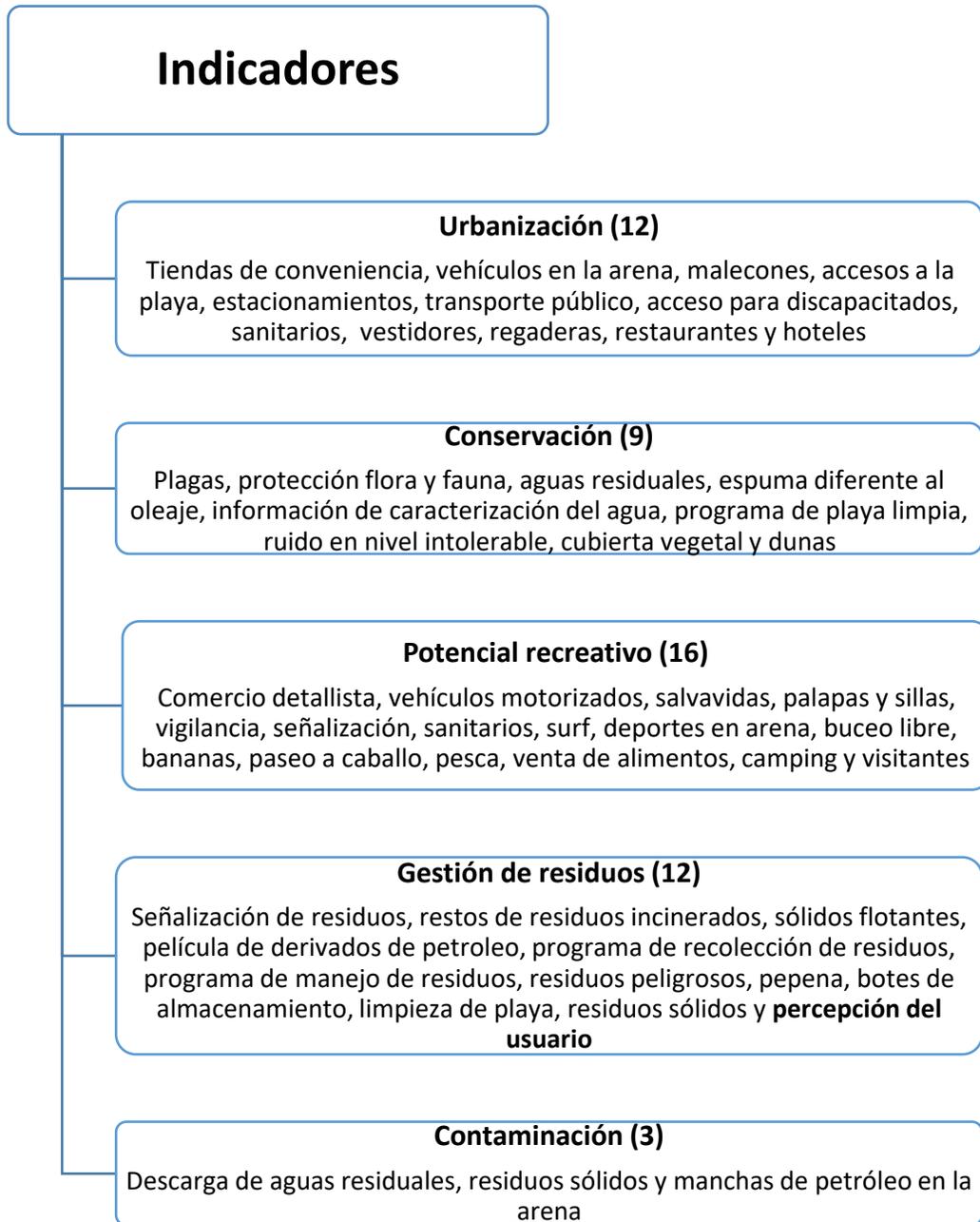


Figura 25 Indicadores evaluados (# de parámetros)

La evaluación de los parámetros se realizó con base en su ausencia o presencia, y el puntaje asignado fue 0 o 1. Sin embargo, algunos otros parámetros se calificaron con una escala más amplia: presencia de hoteles a orillas de la playa, cubierta vegetal, limpieza de playa, residuos sólidos.

El parámetro percepción de usuario, se evaluó mediante una encuesta tomada de Cruz-Salas (2020), la cual se aplicó en cada campaña de muestreo a 15 turistas por playa. La encuesta contenía nueve preguntas, y sólo cinco de éstas se utilizaron para el cálculo del parámetro, mientras que el resto sirvió como información adicional (Cruz-Salas, 2020). Además se determinó, el porcentaje de percepción del usuario respecto al tipo de residuos más recurrente en la playa, los valores se obtuvieron contando el número de ocasiones en que un residuo fue mencionado en las encuestas y posteriormente se obtuvo el porcentaje considerando 330 como el valor máximo (100%), el cual representa el número total de encuestas.

La escala que determinó el nivel presente en cada uno de los indicadores de las playas de estudio se presenta en la Figura 26. La ficha de trabajo para la evaluación de indicadores, así como la encuesta de percepción se presenta en los Anexos 7.3 y 7.4.

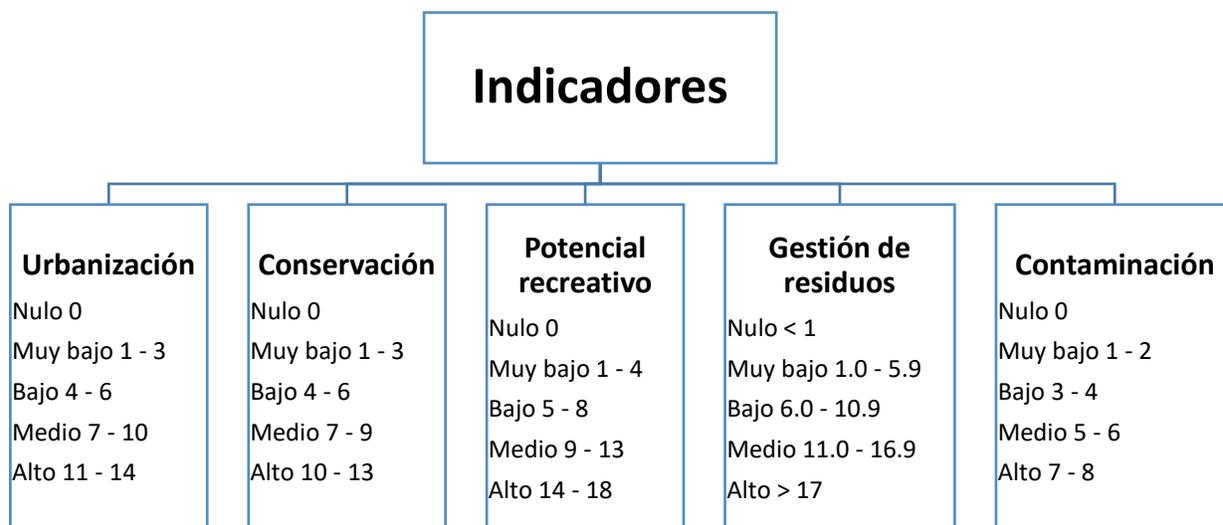


Figura 26 Escala para la evaluación de indicadores

3.4 Muestreo y caracterización de residuos y microplásticos

Se desarrollaron dos campañas de muestreo, en los periodos marzo – junio de 2018 y abril – julio de 2019. La metodología que se utilizó tanto para el muestreo de residuos, como el de microplásticos se determinó con base en los muestreos preliminares.

En cada zona de estudio se eligió un transecto de 100 metros paralelo a la línea de marea, y se consideró un ancho de playa que abarcó desde la línea de agua hasta la zona trasera de la playa delimitada por dunas, vegetación, o estructuras fijas instalada (palapas, camastros, mesas, sillas, por mencionar algunos), como se muestra en la Figura 27.

Los muestreos se realizaron en fines de semana (sábado y domingo), bajo el supuesto que los residuos y microplásticos encontrados el sábado corresponden al acumulado de la semana, y los generados en domingo corresponden a los del día sábado. Se muestreó a primera luz de día, con la finalidad de evitar afluencia de visitantes en la zona elegida, que pudiese alterar las condiciones del estudio.

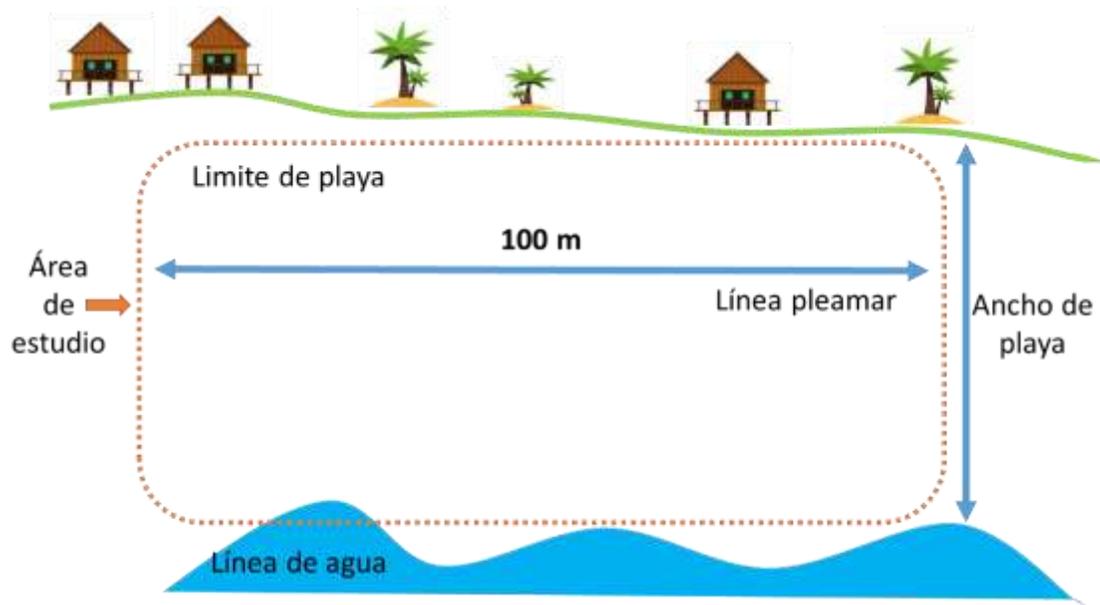


Figura 27 Área de estudio residuos y microplásticos en playas

3.4.1 Muestreo y caracterización de residuos

La degradación de los residuos en general, se lleva a cabo por factores bióticos y abióticos, lo que contribuye a la generación de fragmentos, en el caso de los plásticos los fragmentos suelen convertirse en microplásticos, por lo que resulta relevante estudiar su presencia en las playas, debido a lo anterior para el estudio de residuos se contemplaron dos fracciones: residuos sólidos urbanos (RSU) y fragmentos (FRA) (Figura 28).

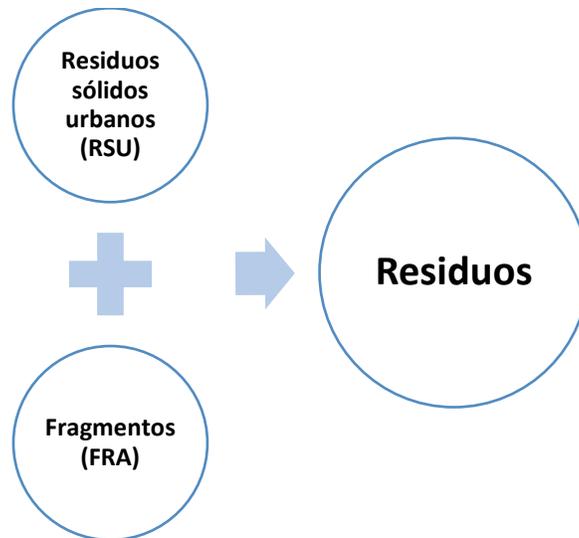


Figura 28 Clasificación de los residuos

Para el caso de los RSU, se consideraron piezas completas y aquellas que, a pesar de presentar fragmentación parcial, podían identificarse, mientras que para los FRA se consideraron piezas mayores a cinco milímetros en las que no era posible precisar el producto de origen.

El área de estudio para el muestreo de residuos se dividió en dos zonas, para la zona 1 se consideraron aquellos residuos situados en la pleamar y debajo de ésta, hasta la línea de agua, para el caso de la zona 2 se consideraron los residuos desde la pleamar hasta el límite de playa establecido (Figura 29).

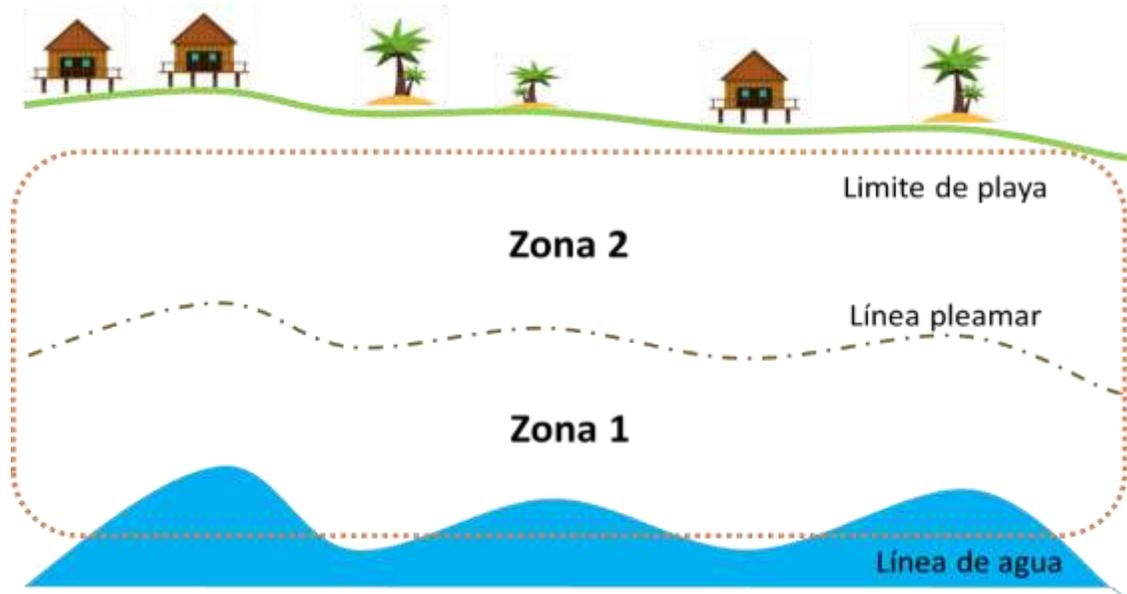


Figura 29 Área de estudio para residuos

La división de zonas se realizó bajo la hipótesis de que los RSU y FRA encontrados en la zona 1 son aquellos depositados por las corrientes marinas, mientras que los recolectados en la zona 2 se deben a las actividades propias de la playa.

El transecto de 100 m se dividió en 20 secciones de cinco metros, cada una se numeró de izquierda a derecha del 1 al 20 (Opfer, Arthur and Lippiatt, 2012). Las secciones se limitaron con cuerda de media pulgada (Silva-Iñiguez and Fischer, 2003), y la longitud se determinó con una cinta métrica y se marcó con estacas (Figura 30).

Posteriormente se eligieron cinco secciones aleatoriamente, y se procedió a recolectar todos los RSU y FRA presentes en las mismas. Se consideraron todos los RSU y FRA mayores a 5 mm que se encontraran total o parcialmente dentro de las secciones.

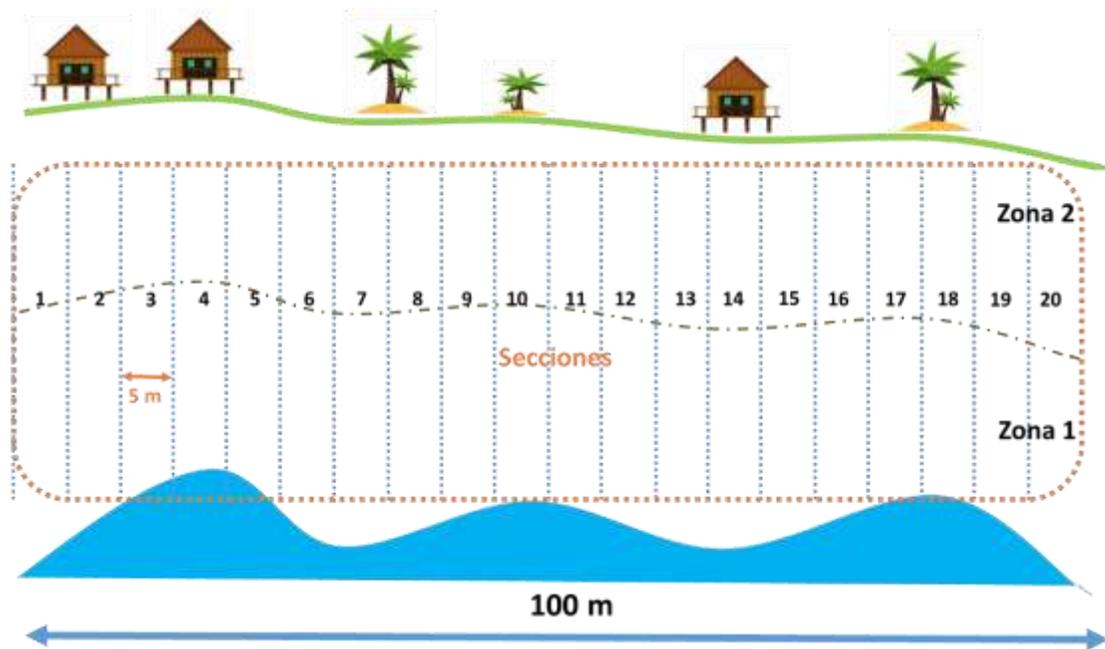


Figura 30 Diagrama de muestreo para la caracterización de residuos

Los residuos recolectados fueron contados y se registró el número de piezas para cada categoría por material según la clasificación que se presenta en la Tabla 11 (Ficha de trabajo, en Anexo 7.5). Además, solo para el caso de los RSU se realizó un listado de los 10 residuos sólidos urbanos con mayor ocurrencia por día (sábado y domingo) y por campaña de muestreo (2018 y 2019).

Las categorías se seleccionaron con base en lo propuesto por la UNEP en el reporte de “Informes y estudios de mares regionales” (Cheshire et al., 2019). En el listado de la UNEP las colillas de cigarro son consideradas dentro de la categoría de plástico, sin embargo, para el presente estudio fueron consideradas como una categoría aparte, debido a su alta incidencia.

Tabla 11 Categorías por material contempladas para la clasificación de residuos sólidos urbanos y fragmentos

Residuos sólidos urbanos	Fragmentos
Plásticos	Plásticos
Colillas	Plásticos espumado
Plásticos espumado	Tela
Tela	Vidrio y cerámica
Vidrio y cerámicos	Metal
Metal	Papel y cartón
Papel y cartón	Caucho y látex
Caucho y látex	Madera
Madera	
Otros - Orgánicos	

Posteriormente se calculó el índice de contaminación (IC) por playa empleando la ecuación 2.

$$IC = \frac{\#_{Piezas}}{\#_{Secciones} * L * A} * 20 \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

- # Piezas = total de piezas recolectadas
- # Secciones = total de secciones muestreadas = 5
- L = longitud de cada sección (m) = 5 m
- A = ancho de playa (m)

Los índices de contaminación obtenidos se clasificaron de acuerdo a lo propuesto por Alkalay y colaboradores en 2007:

- 0.0 – 1.0: Muy limpia (ML)
- 1.1 – 2.0: Limpia (L)
- 2.1 – 3.0: Moderada (M)
- 3.1 – 4.0: Sucia (S)
- >4.0: Muy sucia (MS)

Se calcularon dos índices de contaminación, en el primero se consideró el número total de piezas de RSU, y en el segundo se incluyó la suma de RSU y FRA, el primer índice es el más utilizado en los estudios de RSU en playas y considera a residuos >2 cm, sin embargo, subestima los resultados

de la problemática real de los residuos en playas, por lo que se decidió añadir un segundo índice el cual contempla residuos >0.5 mm (Marin *et al.*, 2019).

3.4.2 Muestreo, extracción y clasificación de microplásticos

El muestreo de microplásticos (MP) se realizó en los 100 m del transecto sobre la línea de pleamar, que es la línea en donde se depositan los residuos (Figura 31). En las playas en que se observó más de una línea de pleamar, se eligió la más alejada del agua. Para elegir los puntos de muestreo se seleccionaron aleatoriamente diez puntos sobre el transecto Figura 32 y se proyectaron en la línea pleamar.

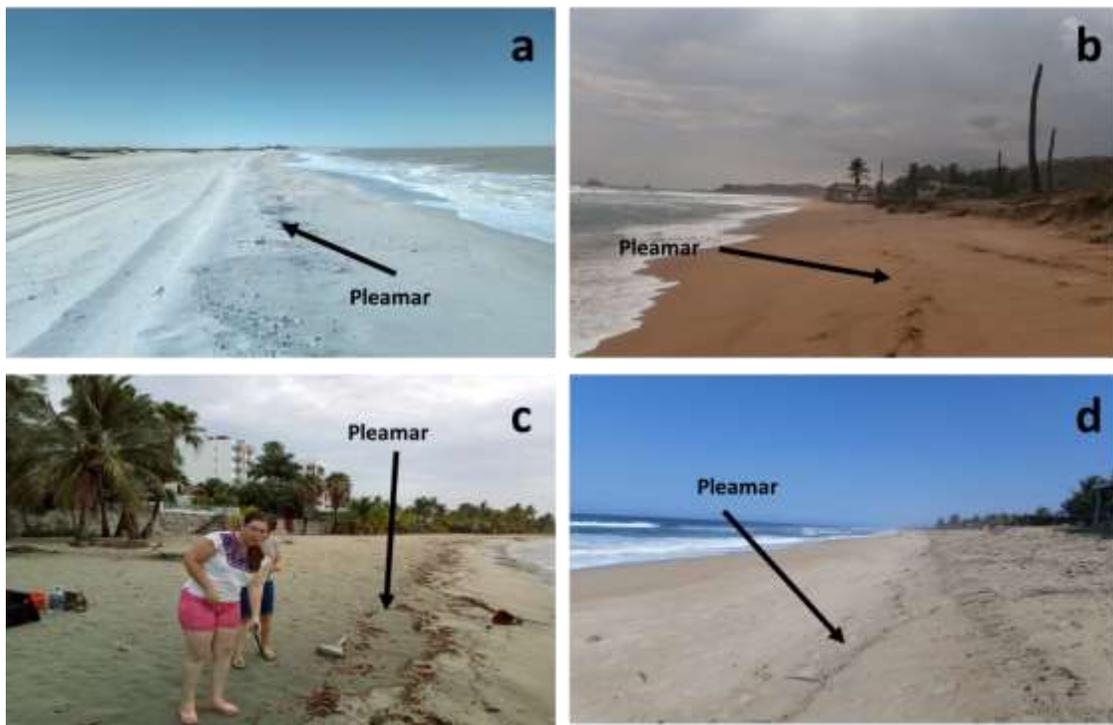


Figura 31 Ejemplos de líneas pleamares. a) playa “el Cochorit”, Sonora; b) playa “Zipolite”, Oaxaca; c) playa “Cruz de Huanacaxtle”, Nayarit; d) playa “Troncones”, Guerrero

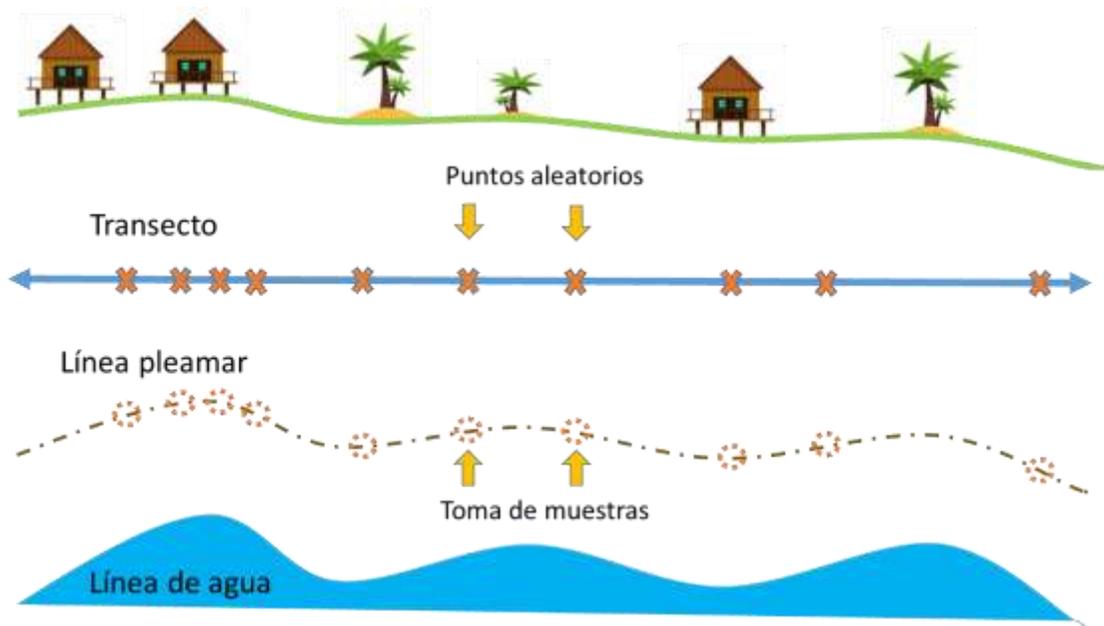


Figura 32 Muestreo de microplásticos

Para la toma de muestra se utilizó un cilindro de 15 cm de diámetro y 5 cm de altura, el cual fue completamente enterrado hasta que su borde superior coincidió con la superficie de la arena (Figura 33a). Posteriormente se excavó a su alrededor y, deslizando una hoja metálica en la parte inferior del cilindro, se extrajo el volumen de arena contenido en el mismo (Figura 33b).

El volumen de sedimentos muestreados (arena) se colocó en una charola de aluminio (Figura 33c) y se pesó (Figura 33d). Para la extracción de microplásticos se filtró agua de mar en una malla con apertura de 0.5 mm (Figura 33e), y se agregó a los sedimentos. Éstos se hicieron pasar a través de dos mallas del número 4 y 35 (apertura de 4.75 y 0.5 mm, respectivamente). Los residuos retenidos en la malla de 4.75 mm (Figura 33f) fueron analizados visualmente, cuando se observaba algún residuo plástico se retiraba y se colocaba en la malla de 0.5 mm, los demás residuos fueron desechados. Los residuos retenidos en la malla de 0.5 mm se envolvieron en papel aluminio, rotulados y trasladados al laboratorio (Figura 33g), Adicionalmente se tomó una muestra de sedimento y se guardó en un vial hermético, con la finalidad de conservar la humedad de la muestra para posteriormente medirla en laboratorio.



Figura 33 Metodología empleada para el muestreo de microplásticos. a) hundimiento del muestreador; b) segmentación de la muestra; c) deposición de la muestra en charola de aluminio; d) determinación de la masa de la muestra; e) enjuague de la muestra; f) retención de residuos en malla de 4.75 mm; g) retención de residuos en malla de 0.5 mm; h) vaciado de residuos en papel aluminio; i) rotulación de las muestras

Extracción de microplásticos en laboratorio

La extracción de los microplásticos en laboratorio se realizó utilizando material de vidrio y de acero inoxidable para prevenir la contaminación de las muestras. En primer lugar, la muestra de sedimento conservada en el vial fue pesada al llegar al laboratorio (masa húmeda) en una balanza analítica (0.0001 g) y posteriormente se secó en una estufa a 105 °C durante 24 horas, se retiró y se pesó nuevamente (masa seca). El porcentaje de humedad se determinó de acuerdo con la ecuación 3.

$$\%H = \frac{S_h - S_s}{S_h} * 100 \dots \dots \dots (3)$$

Dónde:

S_h = sedimento húmedo (g)

S_s = sedimento seco (g)

El valor de % H se utilizó para reportar los resultados en términos tanto de masa húmeda como seca.

Las muestras transportadas al laboratorio (envueltas en papel aluminio), fueron secadas de forma similar a la muestra de sedimento, posteriormente se tamizaron con mallas número 4 y 35 (abertura de 4.75 y 0.5 mm) para eliminar fracciones mayores a 4.75 mm y menores a 0.5 mm, en el caso de los plásticos situados en la malla de 4.75 mm se midieron con un pie de rey para verificar que estuvieran dentro del intervalo de 4.75 y de 5 mm (Figura 34).

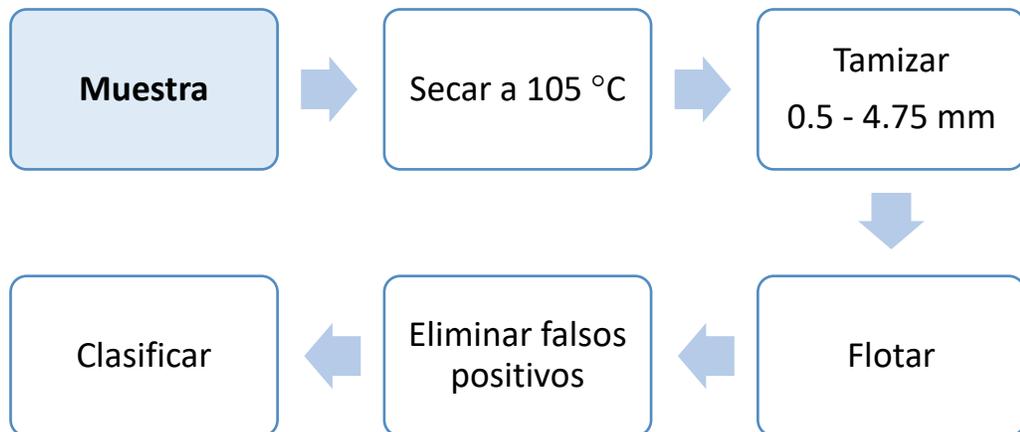


Figura 34 Metodología para la extracción de microplásticos

Los residuos retenidos en la malla de 0.5 mm se vertieron en una solución de NaI con una $\rho \approx 1.55$ g/L (Kedzierski *et al.*, 2016), con la finalidad de separar los microplásticos de acuerdo con sus densidades (Tabla 12).

Tabla 12 Densidades características de plásticos

Tipo de plástico	Densidad g/ml	Referencia
Poliétileno	0.91-0.95	(Avio, Gorbi and Regoli, 2017)
Polipropileno	0.90-0.92	
Poliestireno expandido	0.01-1.05	(Asociación Nacional del Poliestireno Expandido, no date)
Poliestireno	1.04-1.09	(Avio, Gorbi and Regoli, 2017)
Cloruro de polivinilo	1.16-1.30	
Nylon	1.13-1.15	
Poliétileno de tereftalato	1.34-1.39	
Acetato de celulosa	1.22-1.24	(UIProspector, 2018)
Resina de poliéster	>1.35	(British Plastics Federation, 2018)

La separación de MP se realizó visualmente mediante la ayuda de una lupa con un aumento de 1X y un microscopio marca ZEISS utilizando los objetivos 5X y 10X (Figura 35). Para la identificación de los MP se siguieron los siguientes criterios (KIMO Sweden, 2007):

- Sin estructuras celulares u orgánicas visibles
- Con coloración uniforme
- Fibras uniformemente gruesas y no segmentadas
- Opacidad

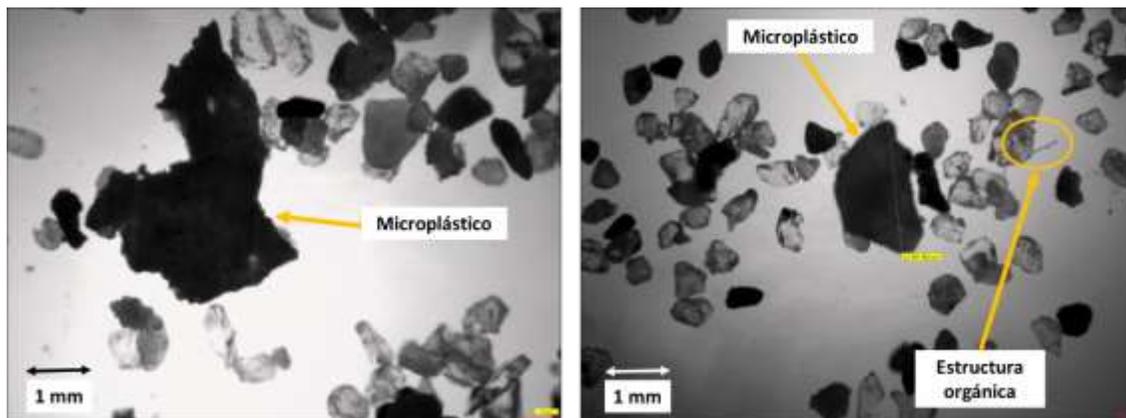


Figura 35. Microplásticos observado al microscopio con un aumento de 10X

Posteriormente se eliminaron los falsos positivos, introduciendo las partículas extraídas en una solución de peróxido de hidrogeno al 30% para diferenciar las fibras sintéticas de las vegetales y una solución ácida de HCl 0.5N, con la finalidad de distinguir los fragmentos de plásticos de las conchas (carbonato de calcio), que en presencia de un ácido burbujean por la liberación de CO₂ (Free *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos se reportaron en número de microplásticos por unidad de área, #MP/m².

Clasificación de microplásticos

Los microplásticos obtenidos se clasificaron en términos de tipo, forma, color, tamaño y composición química. Las categorías de forma se retomaron de la propuesta de Laglbauer *et al.*, en el 2014 (Laglbauer *et al.*, 2014), y la clasificación de colores se basó en lo reportado por Boerger *et al.* (2010).

La composición química se determinó por medio de espectroscopia, la cual es una de la más utilizadas en las investigaciones de microplásticos (Holmes, Turner and Thompson, 2012), las pruebas se realizaron con un espectrofotómetro infrarrojo tipo FTIR Scientific Nicolet iS10.

Las mediciones realizadas se evaluaron en el intervalo de 700-3500 cm⁻¹, y una resolución fija de 2 cm⁻¹ con 36 escaneos por espectro, posteriormente se utilizaron las bases de datos del equipo

para determinar la composición química. Los criterios de clasificación de los microplásticos y las categorías correspondientes a cada uno se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13 Clasificación de microplásticos

Tipo	Forma	Color	Tamaño y rango (mm)	Composición química
Primarios Secundarios	Película Fragmento Fibra Pellet Balín Espumado	Azul	0.5 – 1.0 (0.5) 1.1 – 2.0 (0.9) 2.1 – 3.0 (0.9) 3.1 – 4.0 (0.9) 4.1 – 5.0 (0.9)	PE
		Verde		PP
		Amarillo		PS
		Rojo		PU
		Naranja		PVC
		Transparente		PET
		Blanco		Nylon
		Negro		PC
		Gris		Otros
		Morado		

PE: polietilenos, PP: polipropileno, PS: poliestireno, PU: poliuretano, PVC: policloruro de vinilo, PET: polietileno de tereftalato, PC: policarbonato

3.5 Análisis estadístico

En el presente apartado se describe el tratamiento estadístico efectuado para cada sección (indicadores, residuos y microplásticos). Todos los análisis se realizaron con el software estadístico Statgraphics Centurion XV.II y con un nivel de confianza del 95 %.

Indicadores de la calidad ambiental

Los cinco indicadores (urbanización, conservación, potencial recreativo, gestión de residuos y contaminación), así como la percepción del usuario (encuesta) se sometieron a un análisis multivariado con un 95 % de confianza utilizando el método de coeficiente de Pearson, el cual mide la fuerza o grado de asociación entre diversas variables aleatorias cuantitativas (Restrepo and González L, 2007).

Una vez que se establecieron las correlaciones significativas entre las variables mencionadas (las correlaciones se presentan en pares), se procedió a realizar regresiones simples para cada correlación, y se ajustaron al modelo que mejor ajuste brindó.

Residuos

En el subcapítulo de residuos se realizaron dos análisis estadísticos:

- En el primero se evaluó la correlación entre la presencia de residuos sólidos urbanos (RES) y fragmentos (FRA), utilizando el análisis de regresión simple con un nivel de confianza del 95 %
- El segundo análisis consistió en análisis Kruskal - Wallis con un 95 % de confianza de las dos zonas estudiadas: zona 1 (en y debajo de la pleamar) y la zona 2 (encima de la pleamar), además de analizar las cinco regiones marinas (Golfo de California, Golfo de México, Mar Caribe, Pacifico Noroeste y Pacifico Tropical)

Microplásticos

En cuantos a los análisis estadísticos efectuados para el tema de microplásticos se llevaron a cabo los siguientes:

Análisis Kruskal – Wallis con un 95 % de confianza para:

- Los días de muestreo con dos niveles: sábado y domingo
- Las regiones marinas en México con cinco niveles: Pacífico Noreste, Pacífico Tropical, Golfo de México, Mar Caribe y Golfo de California
- Los océanos que rodean el país con dos niveles: Océano Pacífico y Atlántico
- Las campañas de muestreo con dos niveles: 2018 y 2019
- Las playas estudiadas con once niveles: Miramar, Tecolutla, Progreso, Mahahual, Zipolite, Troncones, Cruz de Huanacastle, Brujas, Puerto Peñasco, Ensenada y Cerritos

Posteriormente se realizó un análisis multivariado utilizando el método de coeficiente de Pearson al 95 % de confianza para los indicadores evaluados, las concentraciones de residuos, fragmentos y microplásticos, para los pares que presentaron correlación, se procedió a realizar las regresiones simples correspondientes.

4 Resultados y análisis



In one drop of water are found all the secrets of all the oceans; in one aspect of you are found all the aspects of existence. Khalil Gibran

En el presente capítulo se presentan los resultados divididos en cinco secciones las cuales son: resultados de los estudios preliminares, selección de playas, evaluación de los indicadores, presencia de residuos y microplásticos.

4.1 Estudios preliminares

Los estudios preliminares sirvieron para establecer criterios para la metodología de muestreo, identificación y clasificación de residuos y microplásticos. En la Tabla 14 se presentan los objetivos de cada estudio y los resultados relevantes obtenidos, los cuales fueron integrados en las metodologías descritas en el Capítulo 3.

Tabla 14. Resultados de los estudios preliminares

Lugar y fecha	Objetivo	Resultados
Puerto Peñasco, Sonora (febrero 2017)	Seleccionar condiciones para el muestreo de microplásticos	<ul style="list-style-type: none"> Definición de la hora para realizar los muestreos, al amanecer Identificación y elección de la pleamar para toma de muestras Utilización de números aleatorios para elegir los puntos de muestreo
Santander, España (junio 2017)	Desarrollar una metodología en laboratorio para la separación de microplásticos (Alvarez-Zeferino <i>et al.</i> , 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Selección de temperatura para secar la muestra Determinación de la secuencia para la extracción de microplásticos presentes en sedimentos Selección de solución de peróxido de hidrogeno al 30 % y HCl 0.5 N para eliminación de falsos positivos
Tuxpan, Veracruz (septiembre 2017)	Emplear la metodología propuesta de campo para el muestreo de microplásticos (Rosado-Piña <i>et al.</i> , 2018)	<ul style="list-style-type: none"> Selección de muestreador cilíndrico ($\Theta = 19$ cm y 5 cm de altura) Definición de criterios y categorías de clasificación de microplásticos Definición de unidades para reportar la concentraciones de microplásticos

4.2 Selección de playas de estudio

En la Tabla 15 se muestra la información sobre la ubicación de las playas elegidas, el estado al que pertenecen, la región marina y sus coordenadas. Se eligieron dos playas por región marina, salvo para la región del Golfo de California, en donde fueron tres. En la Figura 36, se presenta el mapa del país con la distribución de las playas incluidas en el presente estudio.

Tabla 15. Ubicación de las playas estudiadas

Playa	Estado	Región marina	Coordenadas	
			Norte	Oeste
Miramar	Tamaulipas	Golfo de México	22°17'3.32"	97°47'57.45"
Tecolutla	Veracruz		20°28'43.64"	97°0'19.21"
Progreso	Yucatán	Mar Caribe	21°17'19.27"	89°39'34.16"
Mahahual	Quintana Roo		18°42'54.55"	87°42'26.57"
Zipolite	Oaxaca	Pacífico Tropical	15°39'43.99"	96°30'48.02"
Troncones	Guerrero		17°46'35.37"	101°43'5.23"
Cruz de Huanacastle	Nayarit	Golfo de California	20°45'4.77"	105°22'34.71"
Bruja	Sinaloa		23°18'11.88"	106°29'25.23"
Mirador	Sonora		31°17'43.71"	113°31'58.61"
Ensenada	Baja California	Pacífico Noroeste	31°50'8.47"	116°36'38.83"
Cerritos	Baja California Sur		23°19'40.78"	110°10'48.44"



Figura 36 Playas contempladas en el estudio. Los colores de los círculos representan la región marina a la que pertenecen: Golfo de México (naranja), Mar Caribe (azul), Pacífico Tropical (verde), Golfo de California (rojo) y Pacífico Noroeste (amarillo)

Para cada playa se realizó una monografía en donde se describen las características geográficas, socioeconómicas y de las actividades que se llevan a cabo (Anexo 8.5).

4.3 Evaluación de la calidad ambiental

En la siguiente sección se describen los resultados obtenidos sobre la evaluación de la calidad ambiental para las playas, en donde se analizaron cinco indicadores (urbanización, conservación, potencial recreativo, gestión de residuos y contaminación).

Al final de esta sección se realizó un análisis multivariado para establecer cuáles de estos indicadores mostraron una relación significativa entre ellos, en aquellos pares que mostraron significancia se procedió a realizar una regresión simple. Posteriormente, los valores de los

indicadores serán retomados en la sección 4.5 para realizar un análisis estadístico en donde se contemplaron como posibles factores en la incidencia de microplásticos.

4.3.1 Indicador de urbanización

Se encontró que las playas de Miramar, Tecolutla y Progreso presentaron un nivel de urbanización alto, cuatro playas presentaron un nivel de urbanización medio (Mahahual, Zipolite, Bruja y Ensenada), mientras que playa Troncones presentó un nivel bajo, por último, tres se consideraron en un nivel muy bajo de urbanización: Cruz de Huanacastle, Peñasco y Cerritos (Figura 37).

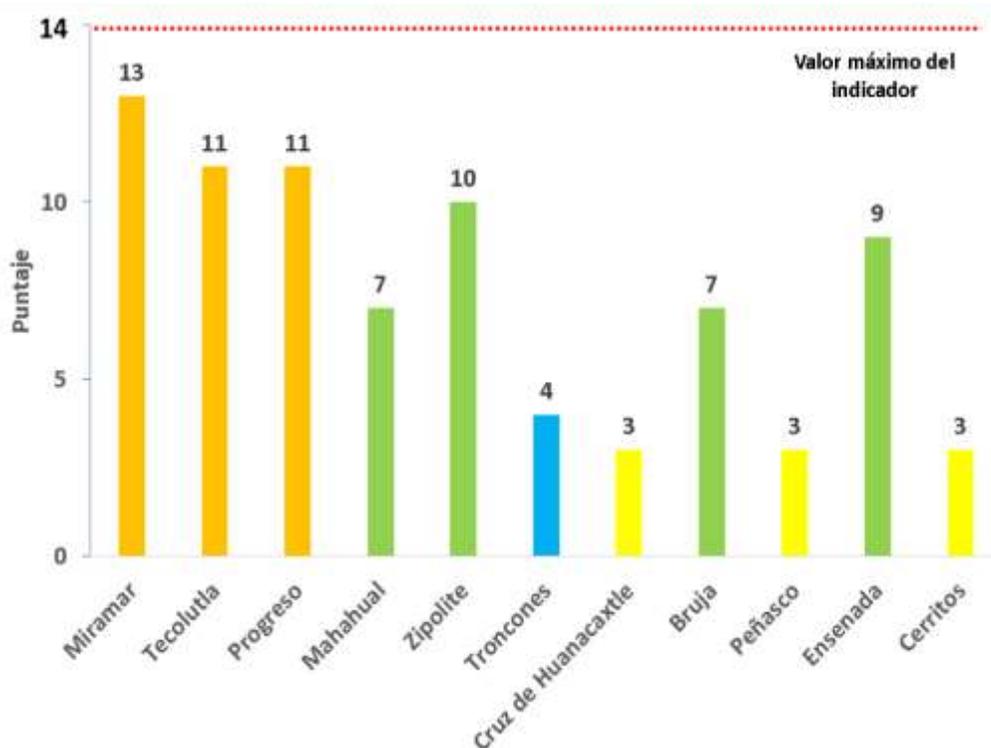


Figura 37. Resultados para el indicador de urbanización. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja)

4.3.2 Indicador de conservación

Para este indicador se presentaron tres grupos, el primero está conformado solamente por playa Miramar con un indicador de conservación medio. Las playas Tecolutla, Mahahual y Zipolite, se agruparon en un indicador de conservación muy bajo, mientras que las playas restantes (63.7 %) constituyeron el tercer grupo, con un índice bajo (Figura 38).

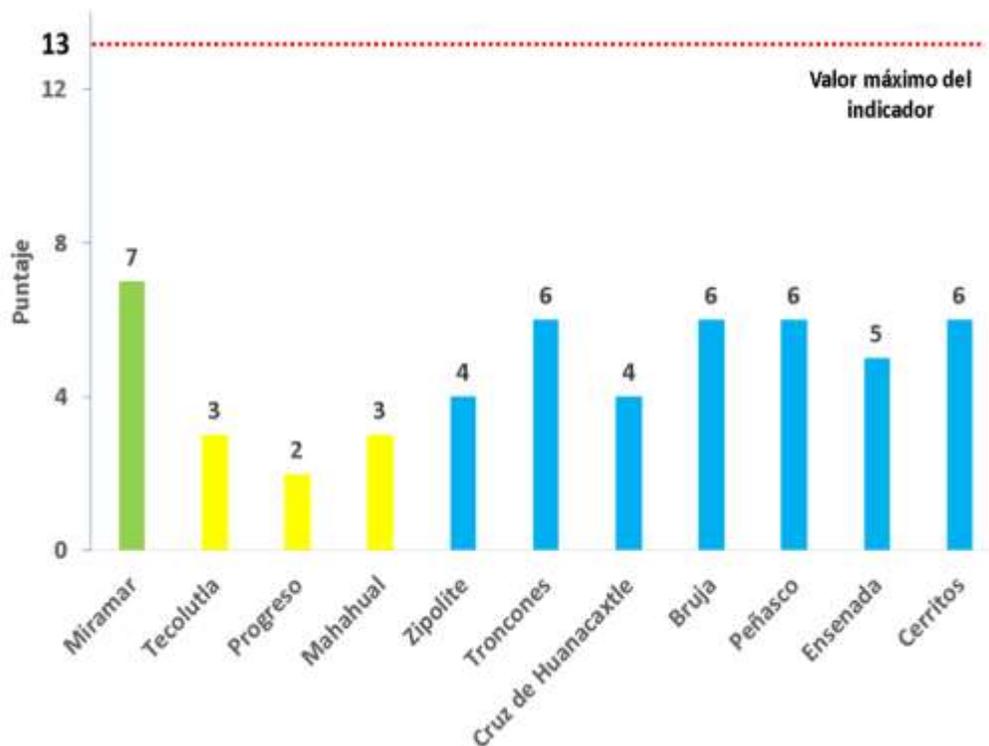


Figura 38. Resultados para el indicador de conservación. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja)

4.3.3 Indicador de potencial recreativo

El indicador de potencial recreativo agrupó a las playas de la siguiente manera, las playas con un potencial recreativo medio representaron el 54.5 % y fueron Miramar, Tecolutla, Progreso, Zipolite, Bruja y Ensenada. El siguiente grupo lo conformaron las playas de Mahahual, Troncones,

Cruz de Huanacastle y Puerto Peñasco, con un indicador bajo y, por último, la playa Cerritos presentó un índice Muy Bajo (Figura 39).

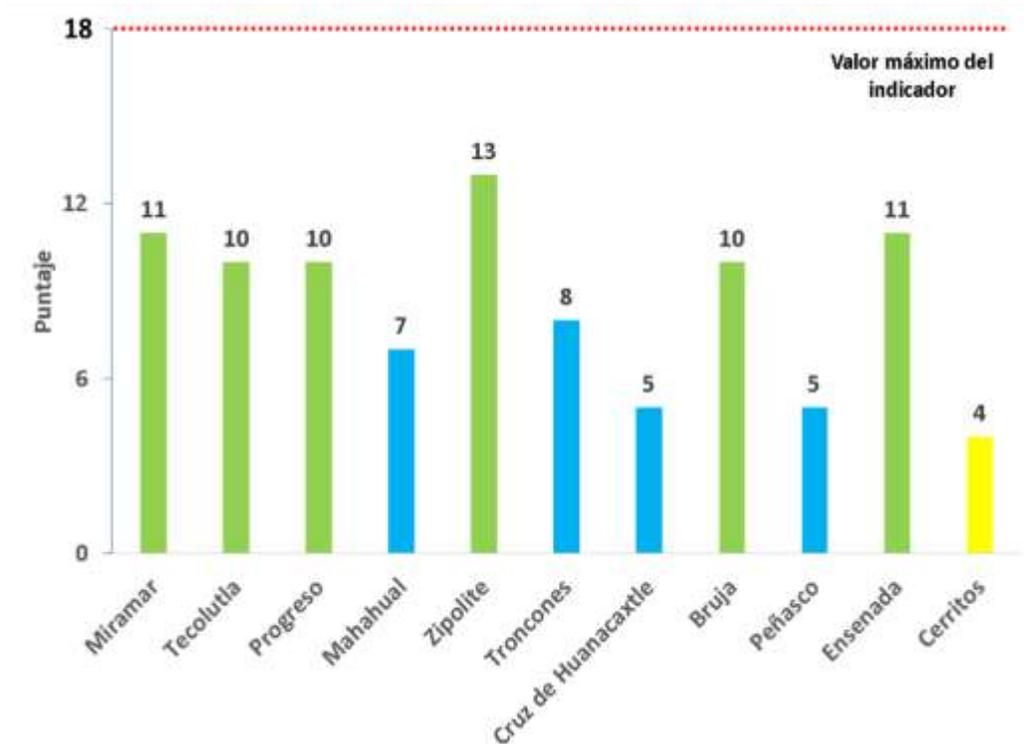


Figura 39. Resultados para el indicador de potencial recreativo. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja)

4.3.4 Indicador de gestión de residuos

En la Figura 40 se presentan los resultados obtenidos para el indicador de gestión de residuos, la playa Miramar presentó un valor alto, mientras que las playas Progreso, Mahahual, Zipolite, Troncones, Bruja y Ensenada (54.5 %) obtuvieron un valor medio. Las playas con un indicador bajo de gestión de residuos fueron Tecolutla, Cruz de Huanacastle y Peñasco. La playa peor evaluada fue Cerritos.

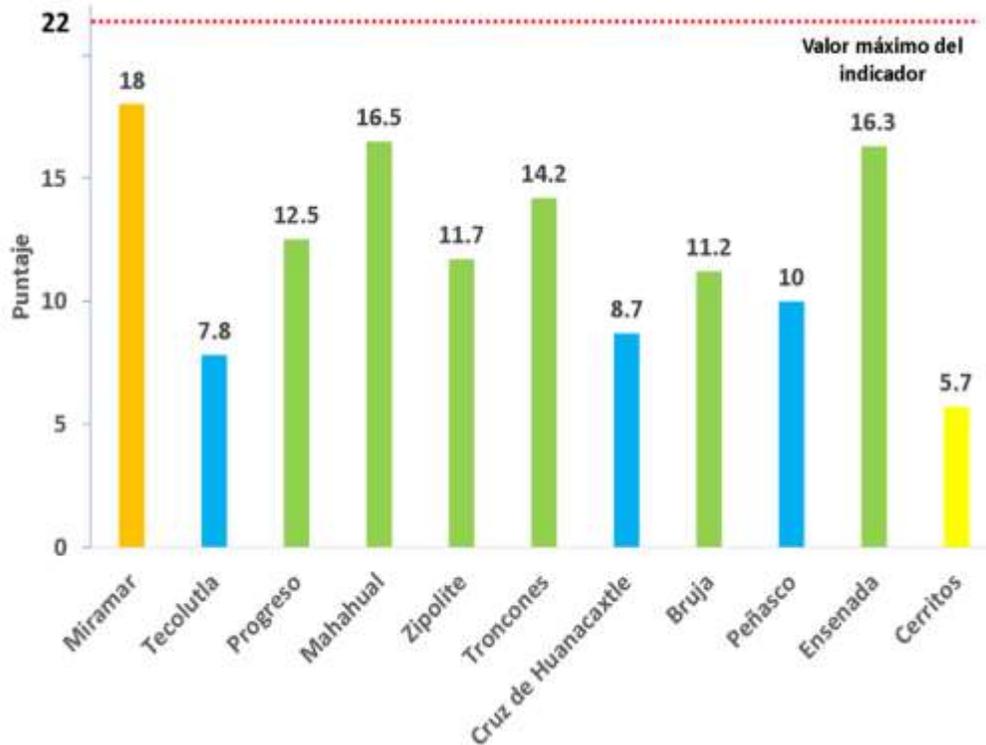


Figura 40. Resultados para el indicador de gestión de residuos. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja)

4.3.5 Indicador de contaminación

En la Figura 41, al evaluar el indicador de contaminación se aprecian dos grupos, el primero está conformado por las playas de Tecolutla y Cerritos y corresponde a un índice bajo, mientras que el 81.8 %, es decir el resto de las playas presentó un valor muy bajo.

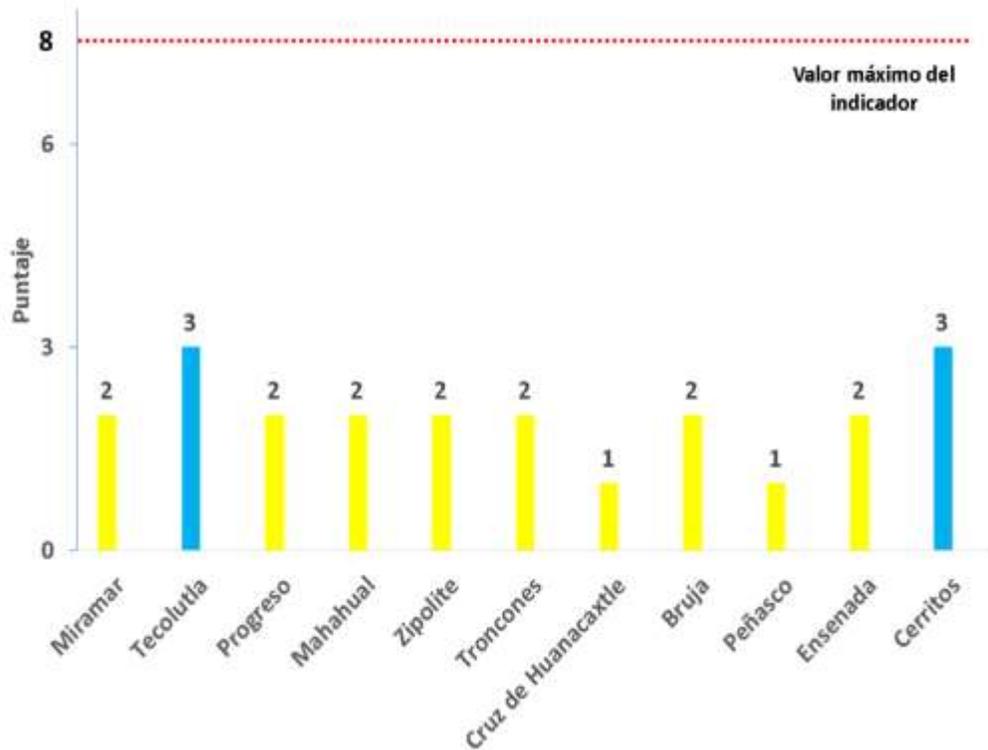


Figura 41. Resultados para el indicador de contaminación. Escala: muy bajo (amarillo); bajo (azul), medio (verde) y alto (naranja)

4.3.6 Percepción del usuario

En la Figura 42 se presentan los valores de los porcentajes de la percepción de los usuarios con respecto a los residuos mal dispuestos en las playas. Los plásticos representaron el 73.9 %, seguidos de los residuos orgánicos con un 19.1 % y en tercer lugar se presentó el vidrio (18.5 %).

Además resulta relevante mencionar que algunos prestadores de servicios de las playas Mahahual, Zipolite y Troncones mencionaron que el turismo internacional es más consciente en cuanto al cuidado del ambiente, comparando con el turismo local.

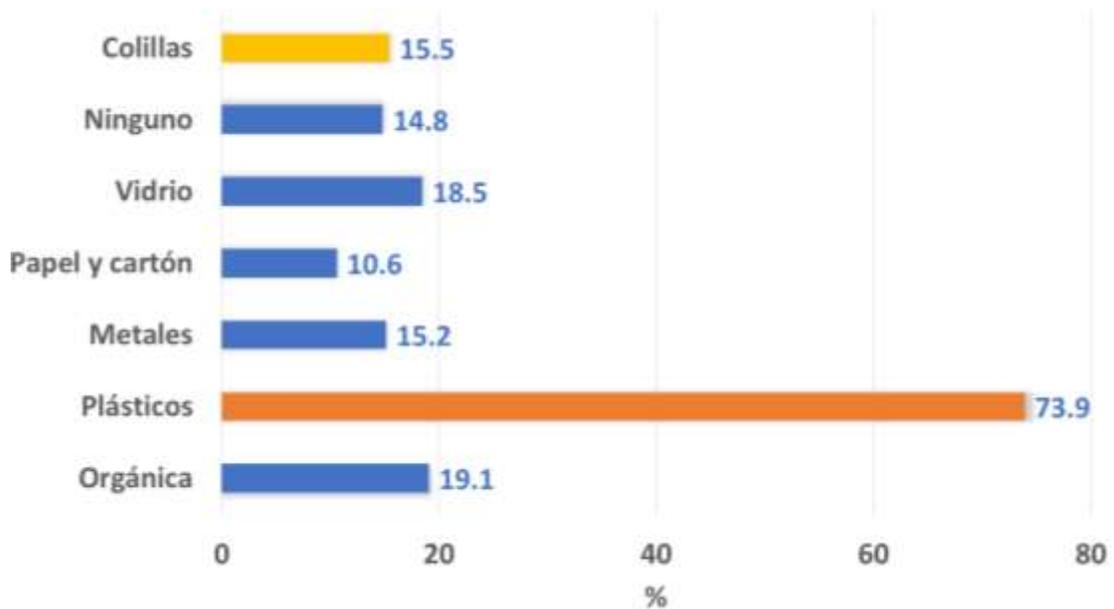


Figura 42. Percepción del usuario en cuanto al tipo de residuos más presentes en las playas. Los valores representan el porcentaje de cada residuo de un total de 330 entrevistas

4.3.7 Análisis multivariado de los indicadores y percepción de usuario

En la Tabla 16 se presenta el análisis multivariado para los cinco indicadores y la percepción del usuario (encuestas). Los resultados permitieron identificar dos correlaciones positivas con una relación estadísticamente significativa, la primera se presentó entre urbanización y potencial recreativo y la segunda entre gestión de residuos y percepción del usuario.

Tabla 16. Análisis multivariado con un 95 % de confianza, método de coeficiente de Pearson. (Valor *p*)

	Potencial recreativo	Urbanización	Conservación	Contaminación	Gestión de residuos	Percepción del usuario
Potencial recreativo		0.0008	0.6501	0.5260	0.1239	0.3486
Urbanización	0.0008		0.3994	0.3028	0.1406	0.2745
Conservación	0.6501	0.3994		0.7750	0.7543	0.3613
Contaminación	0.5260	0.3028	0.7750		0.5347	0.6170
Gestión de residuos	0.1239	0.1406	0.7543	0.5347		0.0019
Percepción del usuario	0.3486	0.2745	0.3613	0.6170	0.0019	

En la Figura 43 se presenta el modelo de regresión simple que describe la relación entre los indicadores urbanización y potencial recreativo, con un valor $P = 0.0001$, y un valor $R^2 = 84.73\%$ lo que significa que existe una relación relativamente fuerte entre éstos.

La correlación se debe a que generalmente, la urbanización (hoteles, transporte, comercios, por mencionar algunos) genera las condiciones propicias para que exista un mayor potencial recreativo, es decir se diversifiquen más las actividades para atraer a más turistas.

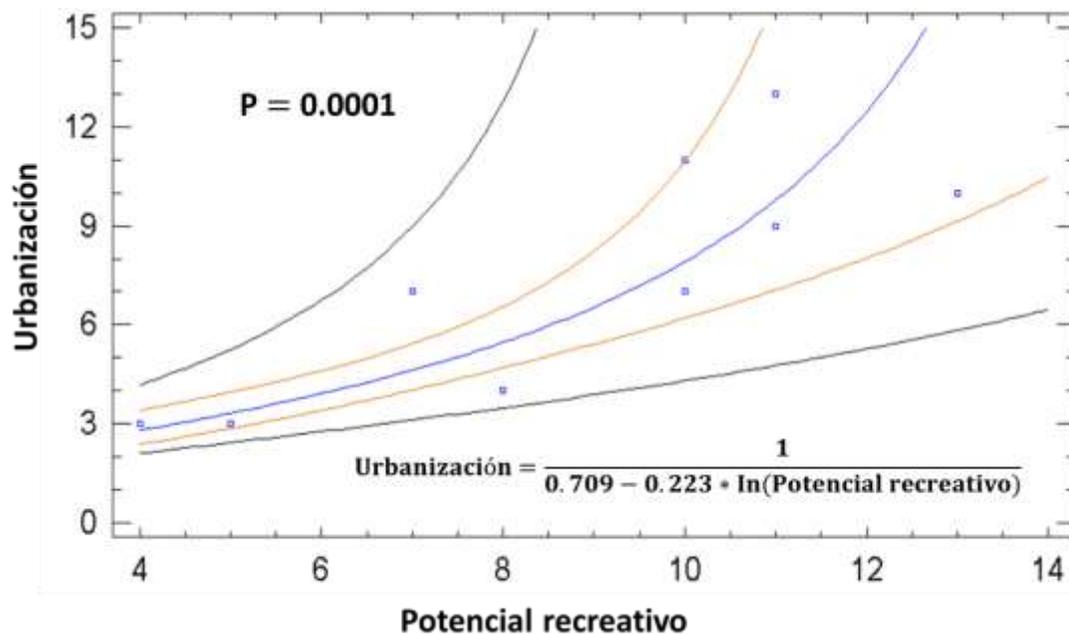


Figura 43. Regresión simple de los indicadores urbanización y potencial recreativo

Por otra parte, la percepción del usuario en cuanto a la presencia de residuos en playas presentó una correlación positiva con respecto a la gestión de residuos. En la Figura 44 se presenta el modelo ajustado con un valor $P = 0.0002$, y un valor R^2 de 79.91 % que indica una relación moderadamente fuerte.

Los resultados sugieren que los usuarios son conscientes en cuanto a la gestión de residuos en las playas, debido a que se observa una tendencia positiva, es decir cuando la gestión de residuos fue deficiente el usuario califico a la playa con problemas de contaminación por residuos.

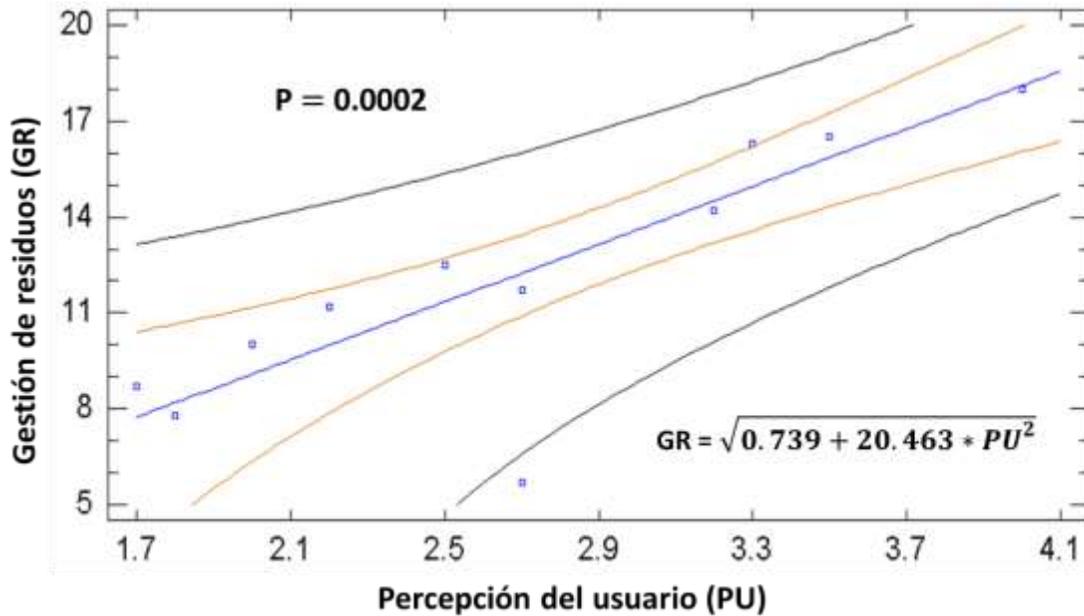


Figura 44. Regresión simple del indicador gestión de residuos y de la percepción del usuario

4.4 Muestreo de residuos

Los resultados se presentan de forma separada para residuos sólidos urbanos (RSU), fragmentos (FRA) y la suma de ambos (residuos). En la Figura 45 se describe la organización de los resultados para cada campaña y de manera global.

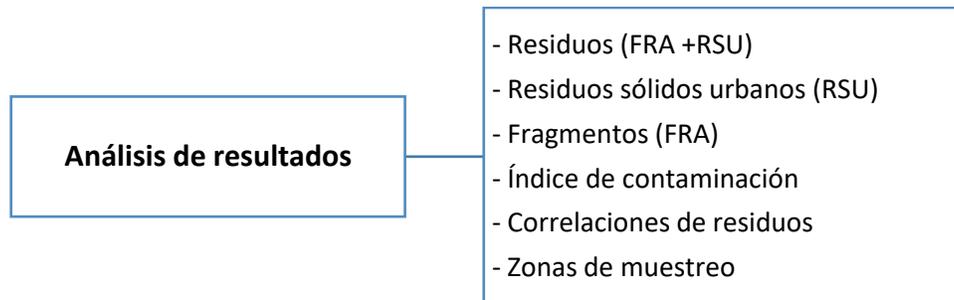


Figura 45. Organización de los resultados para la presencia de residuos

Los resultados se analizaron de la siguiente manera: en el caso de la primera campaña el análisis de los resultados fue descriptivo, para la segunda campaña de igual manera se realizó se forma descriptiva, pero, además, se compararon los resultados con los obtenidos en la primera campaña, en el último caso, se presentó un análisis global de ambas campañas de muestreo.

4.4.1 Análisis de residuos de la primera campaña

En la presente sección se analiza la información obtenida para los residuos (residuos sólidos urbanos + fragmentos), los residuos sólidos urbanos (RSU) y fragmentos (FRA) en la primera campaña.

Residuos

La primera campaña se llevó a cabo entre los meses de marzo a junio del 2018, los resultados de las concentraciones de las once playas se presentan en la Tabla 17. La concentración promedio

de residuos sólidos urbanos (RSU) fue de 0.17 piezas/m² para el sábado, mientras que para el domingo se obtuvo un valor de 0.20 piezas/m², lo anterior, permite calcular un incremento del 17.6 %. En cuanto a los fragmentos, el sábado se encontró un valor de 0.14 mientras que para el domingo fue de 0.18, por lo que el incremento fue mayor (28.6 %) comparado con el de los RSU.

El aumento en cuanto a los residuos (RSU + FRA) fue de 19.4 %, además la concentración más alta de residuos para ambos días se encontró en la playa Cruz de Huanacastle, con valores de 1.04 (sábado) y 1.00 (domingo), mientras que la de menor concentración fue playa Troncones con una concentración de 0.03 para ambos días.

Tabla 17. Concentraciones de residuos sólidos urbanos, fragmentos y la suma de ambos (piezas/m²). Primera campaña

Playas	RSU		FRA		RSU +FRA	
	Sábado	Domingo	Sábado	Domingo	Sábado	Domingo
Miramar	0.03	0.06	0.04	0.05	0.07	0.10
Tecolutla	N.R.	0.23	N.R.	0.10	N.R.	0.33
Progreso	0.18	0.21	0.12	0.12	0.30	0.33
Mahahual	0.29	0.20	0.16	0.19	0.45	0.39
Zipolite	0.14	0.17	0.10	0.11	0.25	0.28
Troncones	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03
Cruz	0.55	0.54	0.49	0.45	1.04	1.00
Brujas	N.R.	0.28	N.R.	0.53	N.R.	0.81
Peñasco	0.08	0.17	0.07	0.07	0.15	0.25
Ensenada	0.21	0.24	0.16	0.17	0.37	0.41
Cerritos	0.06	0.07	0.10	0.12	0.16	0.19

N.R. No se realizaron los muestreos debido a cuestiones no atribuibles al investigador

En la Figura 46 se presenta la composición de residuos (RSU + FRA) de la primera campaña. Los plásticos representaron el 57 % (suma de plásticos y plásticos espumados), mientras que las colillas ocuparon el segundo lugar con un 23 %, posteriormente le siguieron los metales con un valor del 8 %.

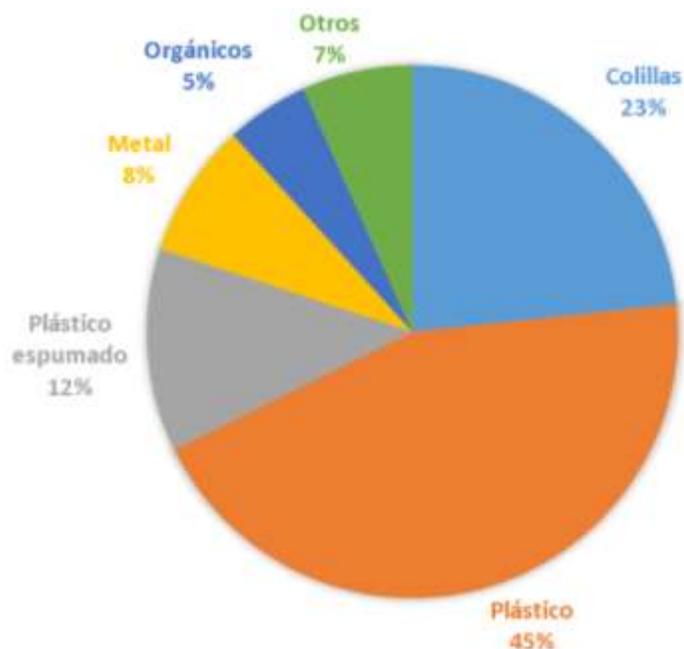


Figura 46 Composición de residuos (RSU + FRA) en la primera campaña en términos de piezas (n = 6,201)

Residuos sólidos urbanos

En la Tabla 18 se presenta el listado de los diez RSU más frecuentes encontrados para los días sábado y domingo. Existe una tendencia en ambos días para los primeros cinco RSU, siendo las colillas de cigarrillos las que ocuparon la primera posición, con valores de 49.3 % el día sábado y 42.0 % para el domingo.

Si se analizan ambos listados (sábado y domingo), se observa que aquellos residuos de un solo uso o bien los generados por actividades recreativas en la playa aumentaron sus porcentajes, por ejemplo, los residuos orgánicos pasaron de un porcentaje del 5.9 % a uno de 7.2 %, los cubiertos de plástico y popotes con un valor en sábado de 4.6 %, mientras que para el domingo se tuvo un 6.6 %. Los RSU que más aumentaron de un día al otro fueron: latas de aluminio 1.6 veces, bolsas y películas plásticas 1.6 y contenedores de plástico 1.5.

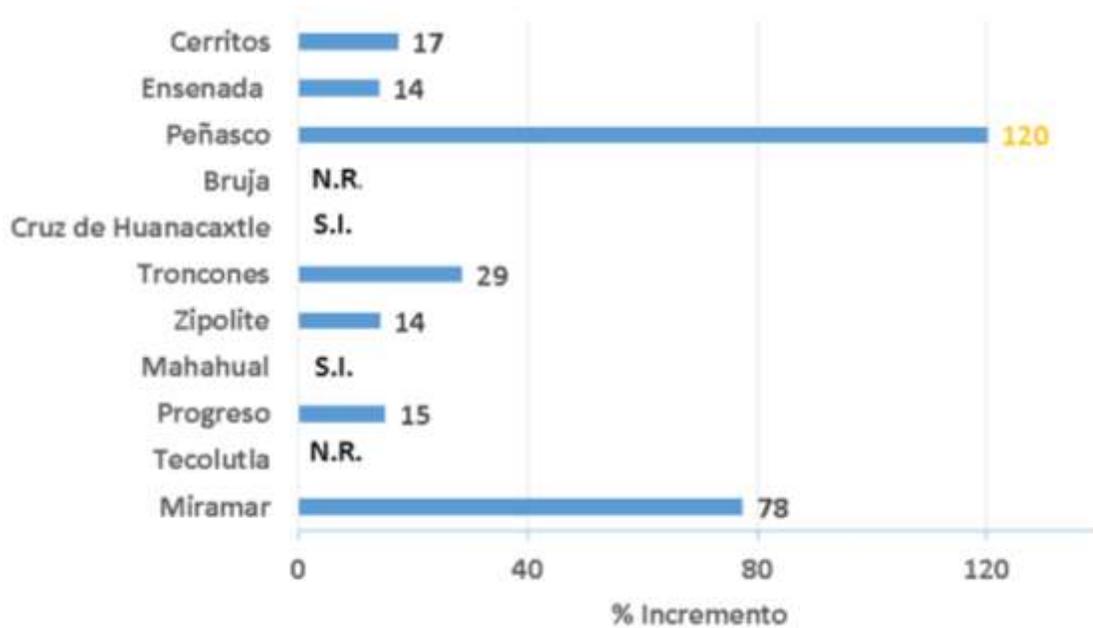
Los residuos plásticos incinerados representaron un valor significativo que los posicionó en el sexto lugar el día sábado (2.5 %). Lo anterior se debe a que en algunas playas no se limpian con regularidad durante la semana (de lunes a viernes), sino que lo hacen los sábados antes del arribo

de los turistas. La afirmación anterior, se comprobó ya que los muestreos del presente estudio se llevaron a cabo antes de la salida del sol. Caso similar se observó en los residuos sanitarios (1.4 %): pañales, cotonetes, toallas, por mencionar algunos, ubicándolos en la décima posición.

Tabla 18. Los diez residuos sólidos urbanos más recurrentes en las playas para la primera campaña en terminos de piezas (n = 3,222)

Sábado	Domingo
Colillas de cigarros 49.3 %	Colillas de cigarros 42.1 %
Tapas y anillas de metal 12.9 %	Tapas y anillas de metal 13.2 %
Residuos orgánicos 5.9 %	Residuos orgánicos 7.2 %
Cubiertos de plástico y popotes 4.6 %	Cubiertos de plástico y popotes 6.6 %
Tapas de plásticos 4.3 %	Tapas de plástico 4.8 %
Plásticos incinerados 2.5 %	Botellas de vidrio 4.7 %
Contenedores de alimentos de plásticos 2.4 %	Contenedores de alimentos de plástico 3.7 %
Bolsas y películas plásticas 2.0 %	Bolsas y películas plásticas 3.2 %
Contenedores de alimentos de unicel 1.4 %	Latas de aluminio 1.9 %
Residuos sanitarios 1.4 %	Cajas de cartón 1.4 %

En la Figura 47 se presenta el porcentaje de incremento de sábado a domingo de RSU para las playas estudiadas, los resultados presentaron un promedio general del 32 %. El mayor incremento se observó en playa Peñasco con un valor del 120 %, mientras que en dos playas no se presentó incremento (Cruz de Huanacaxtle y Mahahual), el rango obtenido en esta campaña fue de 120 % (valor máximo - valor mínimo).



N.R. No se realizó muestreo en sábado; S.I. Sin incremento
 Figura 47 Incremento porcentual de residuos sólidos urbanos de sábado a domingo en la primera campaña

En la Figura 48 se presenta la clasificación de RSU por tipo de material para las once playas. El mayor número de piezas se recolectó en la playa Cruz de Huanacaxtle, seguido de Ensenada, mientras la playa con menor presencia de RSU fue Troncones. Se observa que las colillas de cigarro (azul claro) fueron los RSU con mayor presencia en todas las playas, seguido de los plásticos (naranja) y metales (verde).

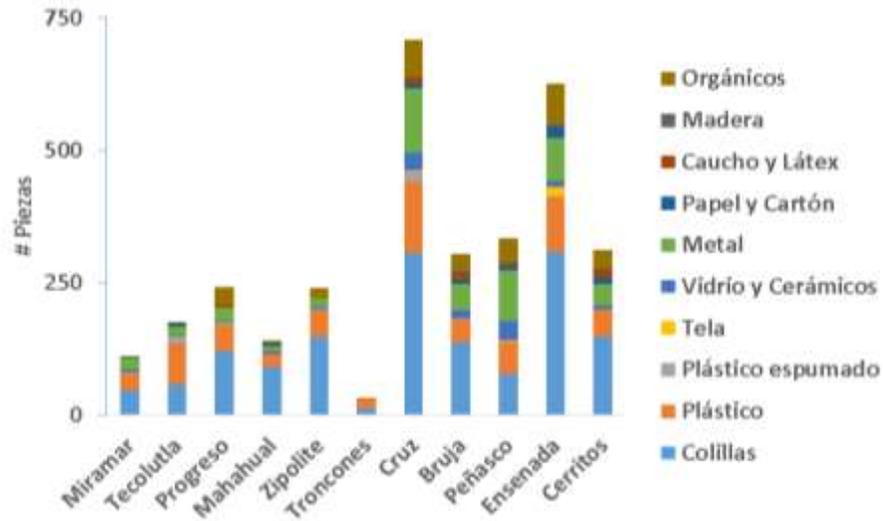


Figura 48 Clasificación de residuos sólidos urbanos por tipo de material, valor promedio de los dos días para la primera campaña de muestreo en términos de piezas (n=3,222)

Analizando los RSU por tipo de material, se encontró que, en promedio para ambos días, las colillas representan aproximadamente 2.3 veces más que los plásticos, los cuales se ubicaron en la segunda posición. Posteriormente se encontraron los residuos metálicos con un 15 % (Figura 49).

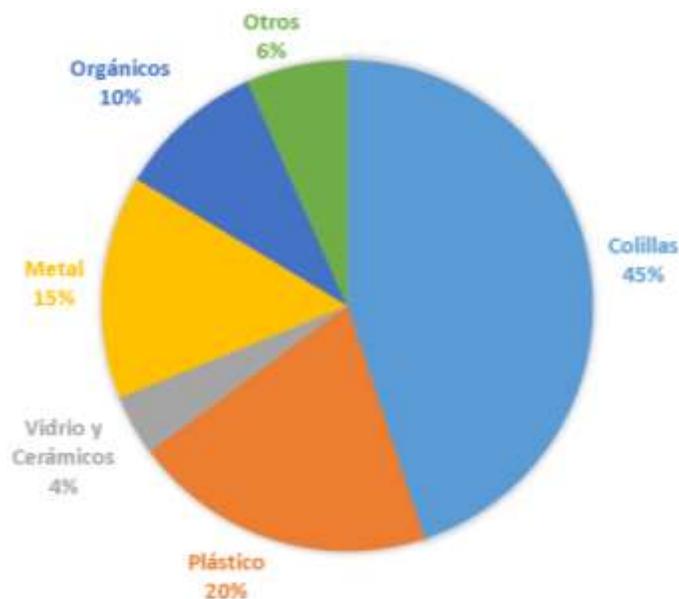


Figura 49. Composición de RSU por tipo de material para la primera campaña (n=3,222 piezas)

Fragmentos

Se recolectaron para ambos días un total de 2,979 piezas de fragmentos. Los plásticos (rígidos, semirígidos, películas y fibras) representaron el 71 % del total de los materiales, mientras que los plásticos espumados presentaron un valor del 24 %. La suma de ambas categorías representa el 95 % del total (Figura 50).

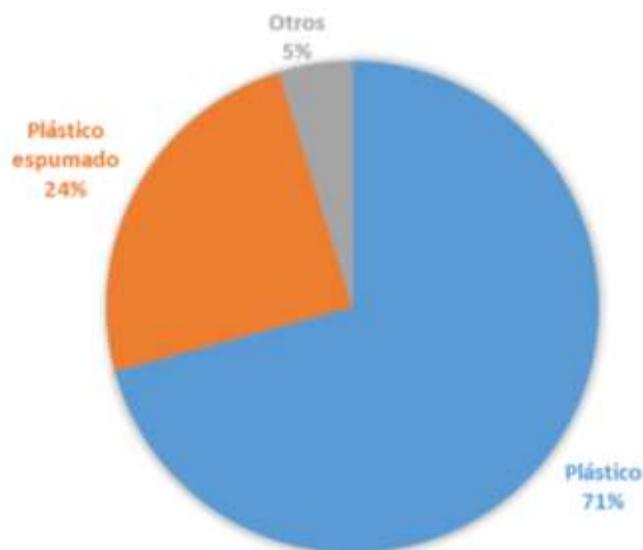


Figura 50 Composición de FRA en la primera campaña en términos de piezas (n=2,979 piezas)

Índice de contaminación

En la Figura 51, se presentan los mapas de índice de contaminación para RSU y residuos (RSU + FRA). En lo referente a RSU, solo dos playas se catalogaron como “muy limpias” (Miramar y Troncones), mientras que las playas con la categoría de “muy sucias” fueron cuatro, Tecolutla, Mahahual, Cruz de Huanacastle y Brujas.

Cuando se incluye a los FRA dentro del análisis de índice de contaminación, se tiene que las playas Miramar, Progreso, Zipolite, Puerto Peñasco y Cerritos cambiaron de categoría, a un nivel de contaminación más alto; para el caso de Troncones siguió considerando la misma categoría (muy limpia). Además, se observa que el 63.6 % de las playas muestreadas presentan la condición de “muy sucia”. Lo anterior resulta relevante, debido a que en un estudio realizado en playas de Brasil (Marin *et al.*, 2019), se llegó a la conclusión de que al no considerar los fragmentos se subestima la contaminación real de las playas. La mayoría de los muestreos y campañas de limpieza que se llevan a cabo en playas, no recolectan residuos menores a 2 cm, posiblemente porque la visibilidad de éstos es menor, o bien por el esfuerzo requerido para su recolección.

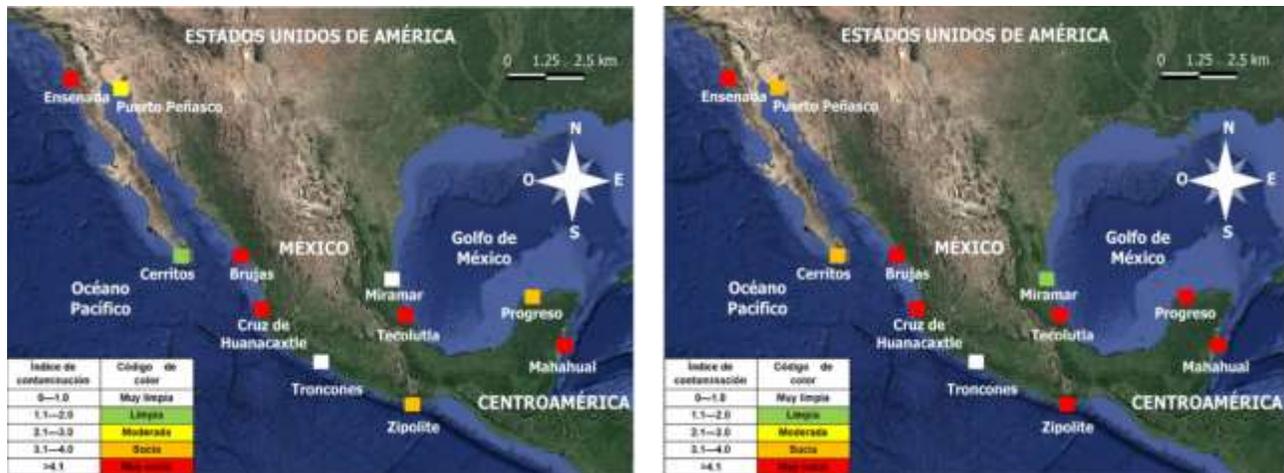


Figura 51 Índice de contaminación para la primera campaña de muestreo (2018). a) Residuos sólidos urbanos (izquierda) y b) Residuos sólidos urbanos + fragmentos (derecha)

Correlación entre residuos sólidos urbanos y fragmentos

En la Figura 52 se presenta el gráfico del análisis de regresión simple aplicando el modelo doble cuadrado y un nivel de confianza del 95 %, así como la ecuación del modelo ajustado. Debido a que el valor-P es menor a 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre RSU y FRA, además, el estadístico R^2 indica que el modelo ajustado explica 95.7 % de la variabilidad en RSU indicando una relación relativamente fuerte entre las variables.

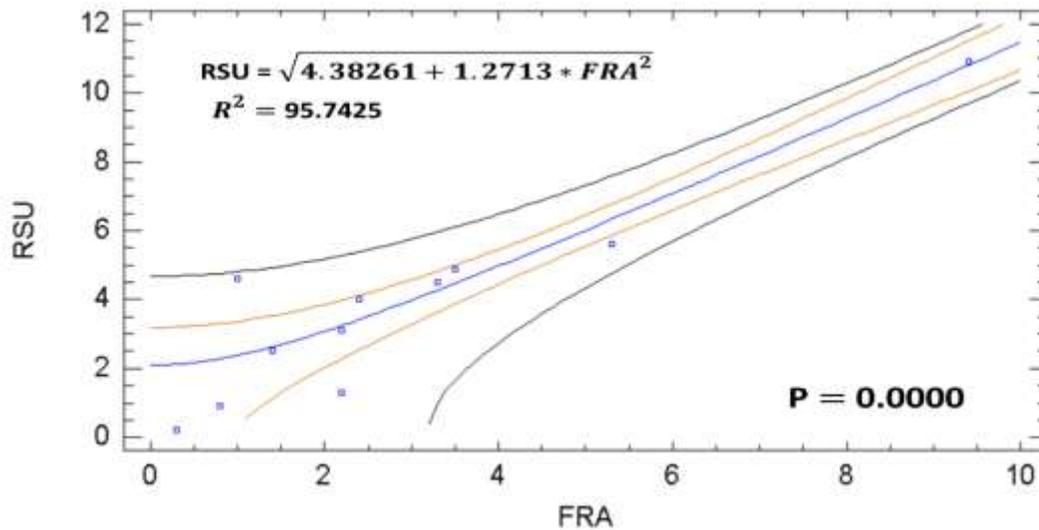


Figura 52. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Primera campaña. Las líneas rojas representan el límite de confianza, mientras que las negras son los límites de predicción

Análisis por zona de muestreo

El análisis por zona se llevó a cabo para los residuos (RSU + FRA) que se encontraron en las playas. En la Figura 53 se presenta el diagrama de caja y bigotes y el valor P ($p = 0.0002$) obtenido de la prueba Kruskal - Wallis, los resultados demuestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones que se encuentran en las zonas, siendo la zona 2 (encima de la pleamar) la que mayor concentración presenta.

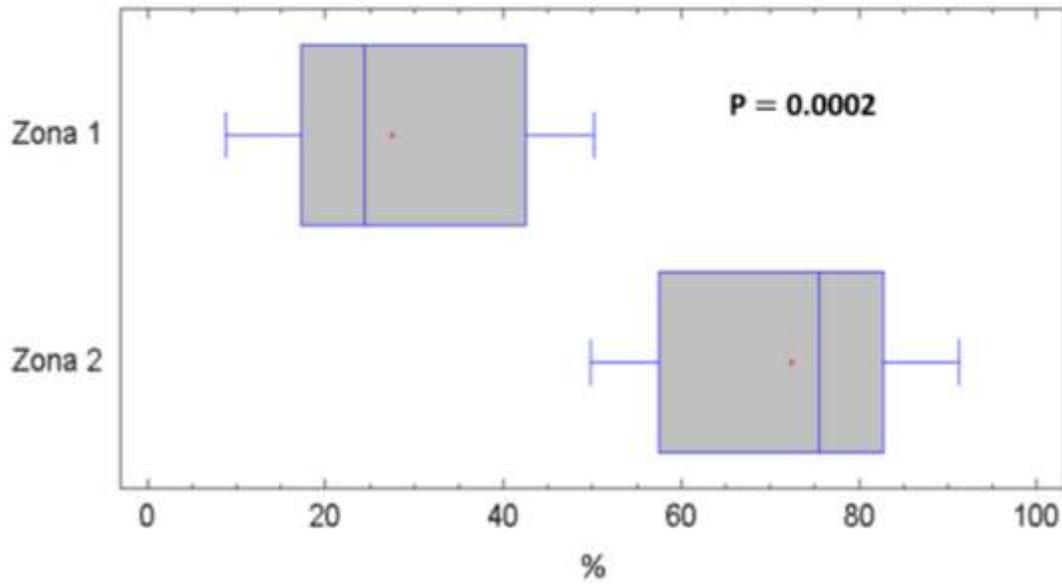


Figura 53. Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar. Primera campaña

Los porcentajes encontrados en la zona 1 se establecieron en el intervalo de 9 a 50 %, con un valor promedio para la zona 1 de 27.5 % mientras que para la zona 2 fue de 72.5 %. Las playas con menor cantidad de residuos depositados por mareas y corrientes marinas fueron Miramar y Tecolutla, en ambos casos el 91 % de los residuos encontrados estaban encima de la pleamar por lo que son atribuibles a las actividades recreativas realizadas en la playa. En algunas playas, los porcentajes de la zona 1 estuvieron por encima del 40 % como fue el caso de playa Zipolite, Troncones, Brujas y Mahahual (Figura 54).

Si se comparan los residuos depositados en la zona 1 por región marina, se observa que las playas ubicadas en la región marina del Golfo de México presentaron los valores más bajos con un promedio del 9%. En el caso de las playas de la región del Mar Caribe presentaron un valor medio de 31.5 %, además se encontró que Mahahual presentó un valor dos veces mayor que Progreso, lo anterior es probablemente debido a que una de las corrientes oceánicas más importantes (Ecuatorial del Atlántico Norte) impacta en primera instancia en el litoral de Mahahual en donde se podrían depositar los residuos traídos de las islas del Caribe, posteriormente al seguir su trayectoria hacia Progreso la concentración disminuiría. Las playas del Pacifico Tropical

presentaron los mayores porcentajes de residuos depositados por las mareas (valor promedio 47 %).

En cuanto al Golfo de California el promedio fue de 28.6 %, siendo Brujas la playa que presentó el valor más alto y, por último, en la región de la Pacifico Noroestes, el valor medio fue de 20.5 % y ambas playas presentaron valores por debajo del promedio obtenido para la zona 1 (27.5 %).

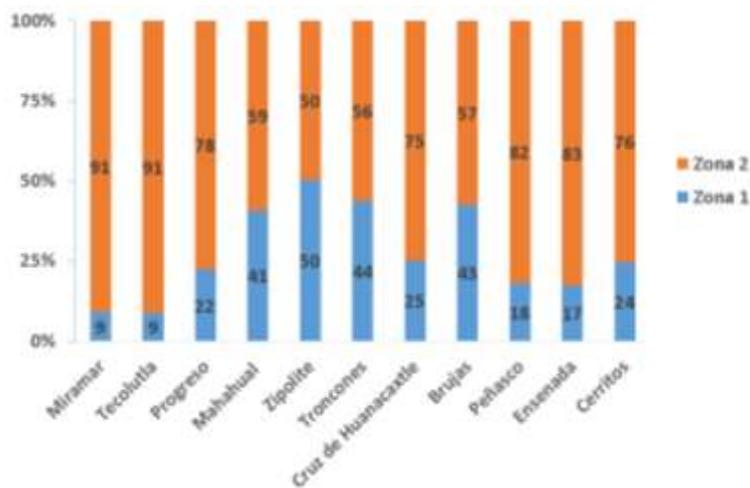


Figura 54. Proporción de residuos por zona, primera campaña. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar

Con la finalidad de analizar cuáles son los residuos que más se depositan por las mareas y corrientes marinas (zona 1), se realizó un análisis con el porcentaje que corresponde a RSU y FRA (Figura 55). En el 81.2 % de todas las playas, los FRA fueron los residuos que representaron la mayor proporción, con un valor promedio de 64.4 %, a excepción de la playa Zipolite, en donde los RSU constituyeron el 66 %. El intervalo de FRA encontrados en la zona 1 va desde el 34 % hasta el valor más alto de 87 % localizado en playa Troncones.

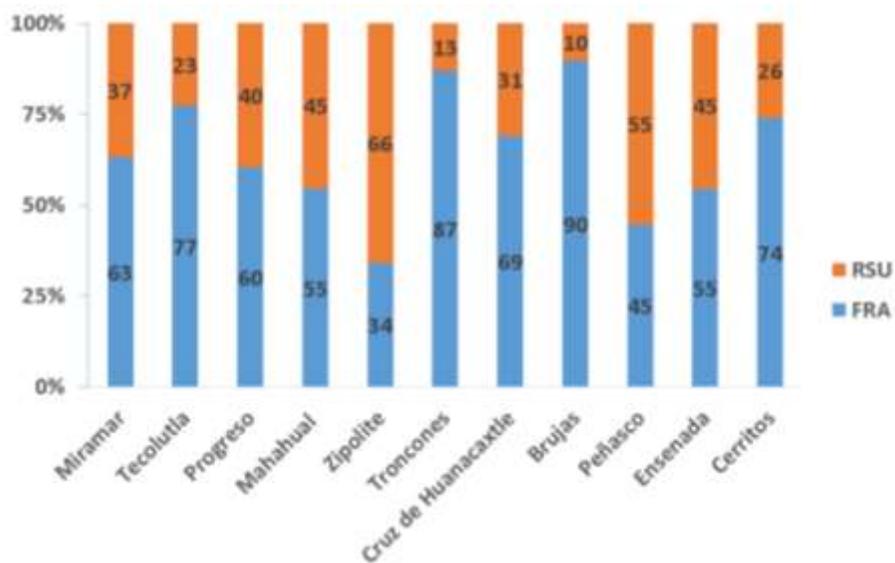


Figura 55. Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Primera campaña

4.4.2 Análisis de residuos de la segunda campaña

Los resultados de la segunda campaña, se presentan en la siguiente sección, en donde se analiza la información obtenida para los residuos (residuos sólidos urbanos + fragmentos), los residuos sólidos urbanos (RSU) y fragmentos (FRA).

Residuos

La segunda campaña de muestreo se realizó entre los meses de abril y junio de 2019. Para el caso de los RSU, el valor promedio de la concentración para el día sábado fue de 0.10 piezas/m² y 0.16 piezas/m² en domingo, por lo que se presentó un aumento del 60 %. En cuanto a los FRA, el sábado se obtuvo un valor de 0.09 y para el domingo uno de 0.11, lo cual indicó un incremento del 19.2 %, valor tres veces menor al obtenido para los RSU (Tabla 19).

En términos generales los residuos (RSU + FRA) aumentaron un 32.1 % de sábado a domingo. Las tendencias en cuanto a los valores más altos y bajos coincidieron con las playas de la campaña 2018, las concentraciones más altas de residuos para ambos días se encontraron en playa Cruz de Huanacastle, con valores de 0.51 (sábado) y 0.70 (domingo), en tanto que la playa con las menores concentraciones fue Troncones, con valores de 0.05 (sábado) y 0.06 (domingo).

Tabla 19. Concentraciones de residuos sólidos urbanos, fragmentos y la suma de ambos (piezas/m²). Segunda campaña

Playas	RSU		FRA		RSU +FRA	
	Sábado	Domingo	Sábado	Domingo	Sábado	Domingo
Miramar	0.05	0.06	0.05	0.04	0.10	0.10
Tecolutla	0.16	0.37	0.09	0.19	0.25	0.56
Progreso	0.08	0.12	0.10	0.11	0.18	0.23
Mahahual	0.09	0.19	0.12	0.20	0.22	0.39
Zipolite	0.06	0.10	0.02	0.03	0.07	0.13
Troncones	0.03	0.04	0.02	0.02	0.05	0.06
Cruz	0.29	0.49	0.21	0.21	0.51	0.70
Brujas	0.10	0.13	0.16	0.19	0.26	0.31
Peñasco	0.08	0.11	0.04	0.05	0.12	0.15
Ensenada	0.10	0.19	0.10	0.15	0.20	0.34
Cerritos	0.01	0.02	0.06	0.06	0.08	0.08

Los residuos plásticos representaron el 47 % del total (plásticos + plásticos espumados), valor 10 % menor al registrado en la primera campaña, en cuanto a las colillas también disminuyó su proporción en un 3 %. En el caso de los residuos metálicos estos aumentaron un 6 %, al igual que los de vidrio, los cuales en 2018 presentaron un porcentaje del 2.3 % mientras que para el 2019 su valor fue de 6 % (Figura 56).

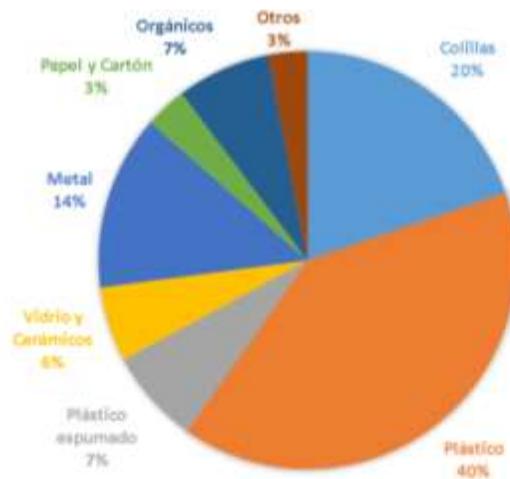


Figura 56 Composición de residuos (RSU + FRA) en la segunda campaña en términos de piezas (n = 4,507)

Residuos sólidos urbanos

En la segunda campaña, las tres primeras posiciones del listado de RSU nuevamente presentaron la misma tendencia, las colillas de cigarro ocuparon la primera posición, con porcentajes de 37.4 para sábado y 35.2 en domingo (Tabla 20). Para el día sábado se encontraron dos residuos diferentes a los presentes en el listado de la campaña anterior, los cuales fueron ligas, pulseras y globos, posicionándose en el décimo lugar (1.4 %). Los RSU de un solo uso y los originados por las actividades propias de la playa (orgánicos), aumentaron sus porcentajes para el día domingo, mostrando un comportamiento similar al de la primera campaña. Los RSU que más aumentaron del día sábado a domingo fueron las botellas de vidrio (3.2 veces), los residuos orgánicos (2 veces), los contenedores de plásticos y contenedores de plásticos espumados en ambos casos 1.3 veces.

Tabla 20. Los diez residuos sólidos urbanos más recurrentes en las playas para la segunda campaña en terminos de piezas (n = 2,463)

Sábado	Domingo
Cigarros, colillas y filtros 37.4 %	Cigarros, colillas y filtros 35.2 %
Tapas y anillas de metal 23.4 %	Tapas y anillas de metal 19.6 %
Residuos orgánicos 7.0 %	Residuos orgánicos 14.1 %
Cubiertos de plástico y popotes 5.8 %	Botellas de vidrio 5.2 %
Tapas de plástico 3.6 %	Cubiertos de plástico y popotes 4.1 %
Contenedores de alimentos de plástico 2.6 %	Contenedores de alimentos de plástico 3.5 %
Bolsas y películas plásticas 1.9 %	Latas de aluminio 2.7 %
Contenedores de alimentos de unicel 1.8 %	Contenedores de alimentos de unicel 2.4 %
Botellas de vidrio 1.6 %	Tapas de plástico 1.8 %
Ligas y pulseras de plástico 1.4 %	Bolsas y películas plásticas 1.8 %
Globos 1.4 %	

La mayoría de los residuos encontrados en las playas Europeas de los mares Adriático y Jónico fueron plásticos de un solo uso, lo anterior es significativo ya que los residuos no son únicamente un problema de gestión de residuos sino de consumismo (Vlachogianni *et al.*, 2018).

Los porcentajes de incremento por playa se presentan en la Figura 57, el promedio global fue de 60 %, valor dos veces más alto al obtenido en la primera campaña (32 %). Los valores se encuentran en el intervalo de 25 – 130 % con un rango de 105 %, valor menor comparado con la primera campaña (132 %). El valor más alto se encontró en playa Tecolutla con un valor de 130 %, mientras que el más bajo se localizó en playa Troncones (25 %).

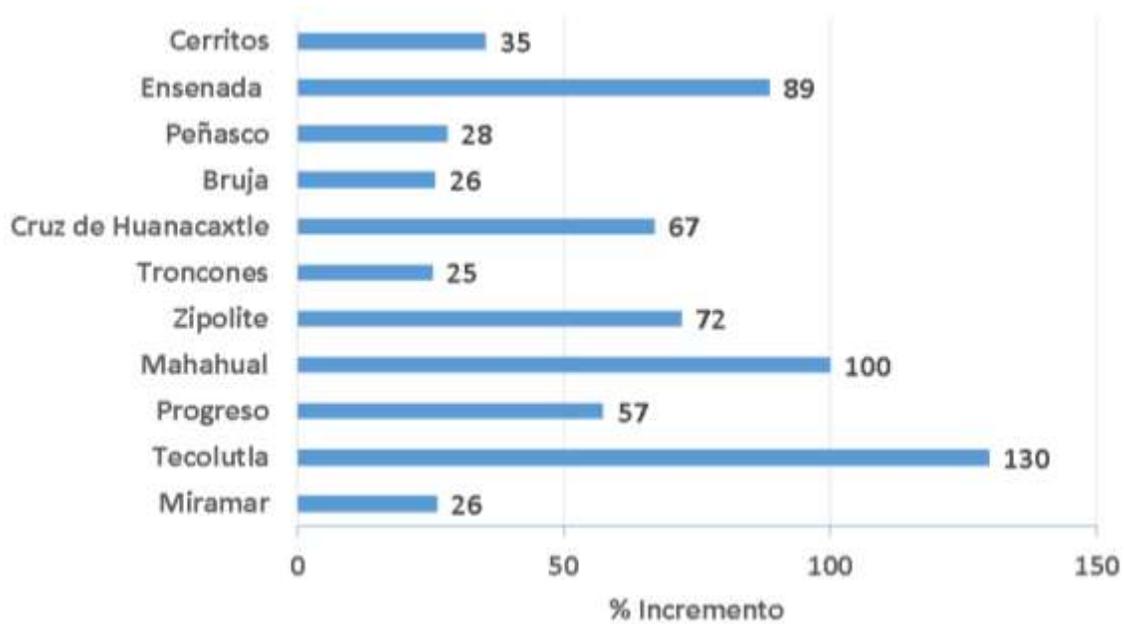


Figura 57. Incremento porcentual de residuos sólidos urbanos de sábado a domingo en la segunda campaña

La clasificación por tipo de material para las once playas se presenta en la Figura 58. Las playas que presentaron el mayor número de piezas fueron Tecolutla, Ensenada y Cruz de Huanacastle. En el caso de esta última playa, nuevamente fue la que presentó la mayor cantidad de residuos. En el gráfico se observa que las colillas de cigarrillos (azul claro) y los residuos metálicos (verde) fueron los más representativos en la mayoría de las playas. Comparando los resultados con los de la primera campaña, los residuos plásticos no resultaron tan preponderantes, mientras que los residuos metálicos cobraron relevancia.

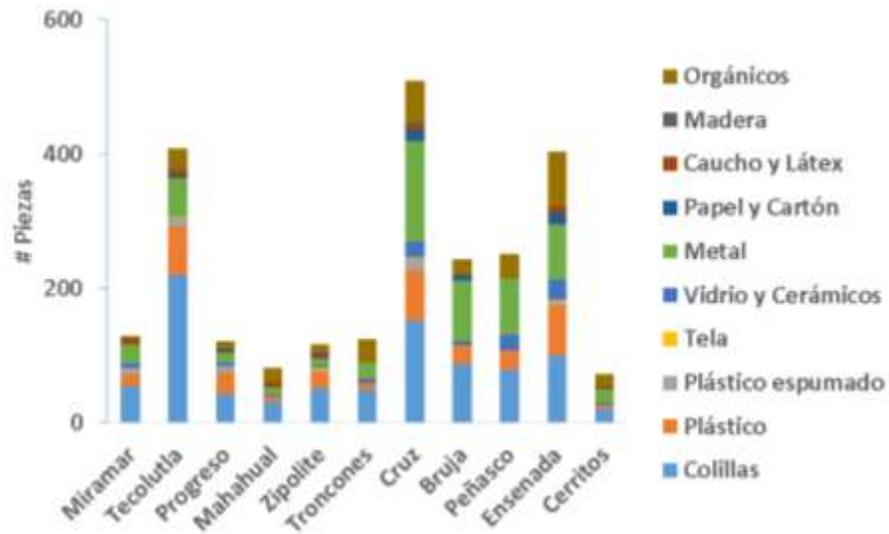


Figura 58. Clasificación de residuos sólidos urbanos por tipo de material, valor promedio de los dos días para la segunda campaña de muestreo en términos de piezas (n=2,463)

En la Figura 59 se presenta la composición de RSU por tipo de material para la segunda campaña, se observa que las colillas de cigarrillos presentaron el porcentaje más alto (36 %), sin embargo, este valor fue menor al obtenido en el 2018 de 45 %. En el caso de los plásticos hubo una disminución del 5 % con respecto a la primera campaña, mientras que los metales aumentaron un 9 % al igual que los residuos orgánicos en un 3 %.

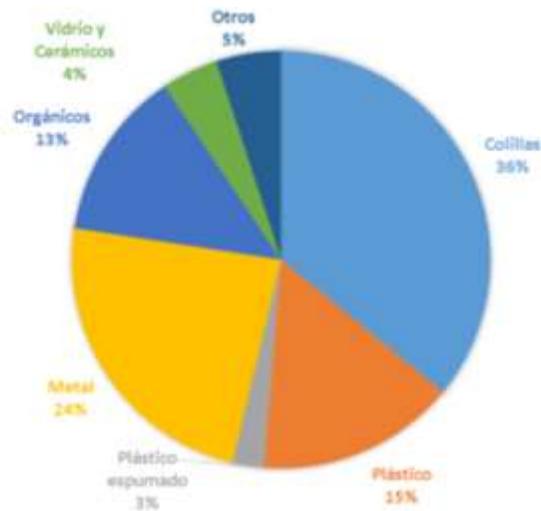


Figura 59. Composición de RSU por tipo de material para la segunda campaña (n=2,463 piezas)

Fragmentos

En la segunda campaña se recolectaron 2,044 piezas. La proporción de fragmentos plásticos fue similar a la obtenida en la campaña de 2018 (71 %), sin embargo, hubo una disminución del 11 % para el caso de los plásticos espumados, los fragmentos de papel y cartón, así como los de vidrio y cerámicos aumentaron su proporción, con porcentajes de 5 y 8 %, respectivamente (Figura 60).

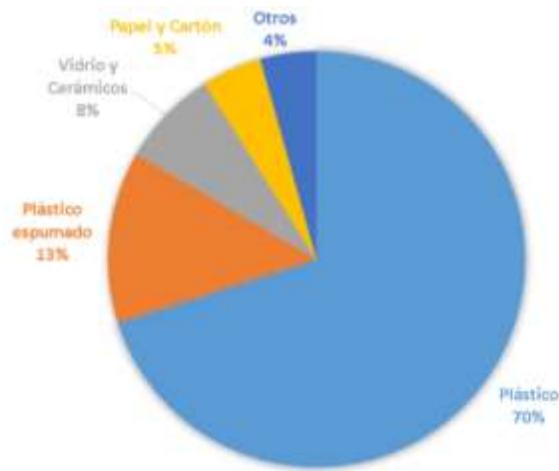


Figura 60 Composición de FRA en la segunda campaña (n=2,044 piezas)

Índice de contaminación

Los índices de contaminación para los residuos (RSU + FRA) y RSU se presentan en la Figura 61, en cuanto a los RSU se observa que las playas de Troncones y Cerritos se consideraron como “muy limpias”, posteriormente, en la categoría de “limpias” se encontraron tres playas: Miramar, Progreso, Zipolite y Peñasco. En cuanto a las playas “moderadas” se presentaron tres: Mahahual, Brujas y Ensenada, y por último Tecolutla y Cruz de Huanacastle se catalogaron como playas “muy sucias”. Comparando los resultados con los de la campaña anterior, las playas que presentaron las mismas categorías fueron Tecolutla, Troncones y Cruz de Huanacastle.

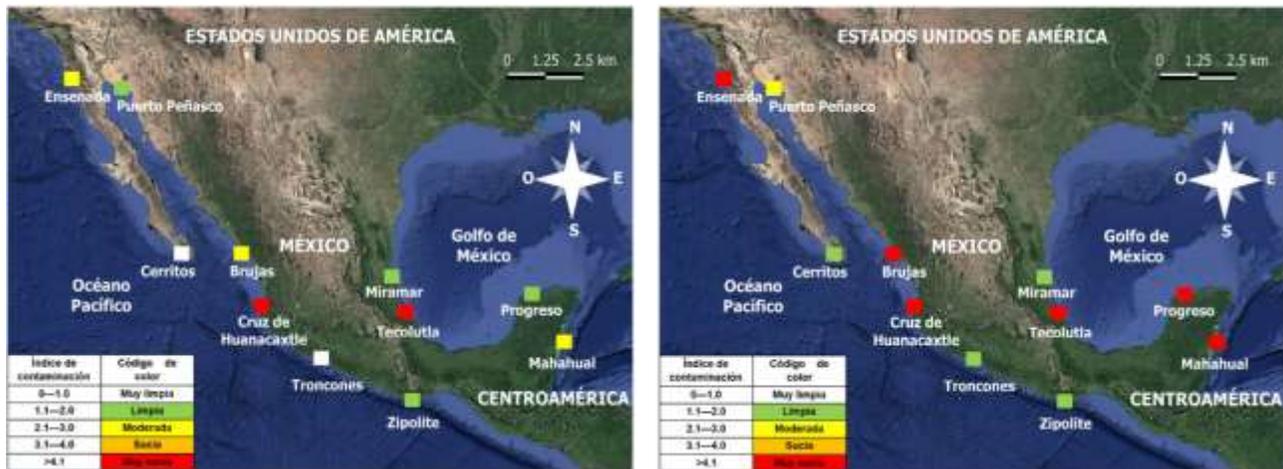


Figura 61. Índice de contaminación para la segunda campaña de muestreo (2019). a) Residuos sólidos urbanos (izquierda) y b) Residuos sólidos urbanos + fragmentos (derecha)

Analizando los resultados para los IC de los residuos, se observa que el 54.5 % de las playas son consideradas como “muy sucias”, el 36.3 % se encontraron en la categoría de “limpias” y solo la playa de Puerto Peñasco se catalogó como “sucia”. En la campaña del 2018, se presentó un porcentaje más alto de playas catalogadas como muy sucias (63.6 %), es decir una playa más. Las playas que en ambas campañas fueron catalogadas como muy sucias fueron: Tecolutla, Progreso, Mahahual, Cruz de Huanacastle, Brujas y Ensenada.

En el caso de la playa de Miramar conservó su estatus como “limpia”, Zipolite en el 2018 fue considerada como “muy sucia”, sin embargo, para 2019 cambió a “limpia”, caso contrario al presentado en playa Troncones, que en la primera campaña se consideró como “muy limpia” y en el 2019 “limpia”, lo cual significa que presentó mayor presencia de residuos. En el 2018, playa Puerto Peñasco se consideró como “sucia” mientras que para 2019 cambió su estatus a “moderada”, y por último playa Cerritos que en 2018 fue considerada como “sucia” para 2019 fue limpia.

Correlación entre residuos sólidos urbanos y fragmentos

El análisis de regresión simple lineal para la segunda campaña se presenta en la Figura 62, en este caso los valores se ajustaron a un modelo cuadrático. Debido a que el que el valor-P es menor a

0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre RSU y FRA, la cual presentó un valor R^2 más bajo con respecto al obtenido en la primera campaña ($R^2=64.2\%$), por lo que se considera que existe una relación moderadamente fuerte. En otras palabras, la variabilidad entre RSU y FRA aumentó con respecto a 2018.

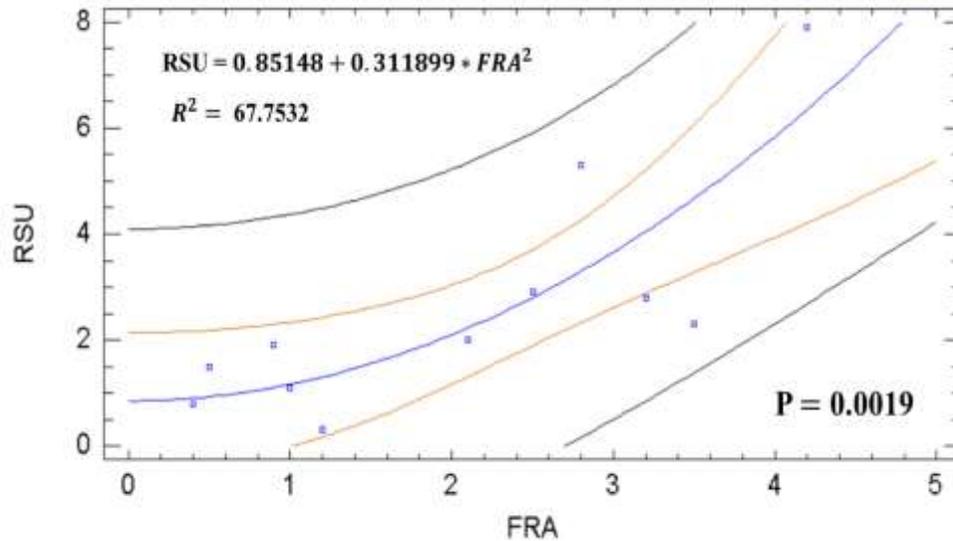


Figura 62. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Segunda campaña. Las líneas rojas representan el límite de confianza, mientras que las negras son los límites de predicción

Análisis por zona de muestreo

En la Figura 63 se presenta el gráfico de caja y bigotes y el valor $p = 0.0000$ asociado al análisis estadístico, debido a que el valor p fue menor a 0.05 se demostró que existen diferencias significativas entre las zonas, siguiendo la misma tendencia que en la primera campaña, es decir los valores más altos se encontraron encima de la pleamar (Zona 2).

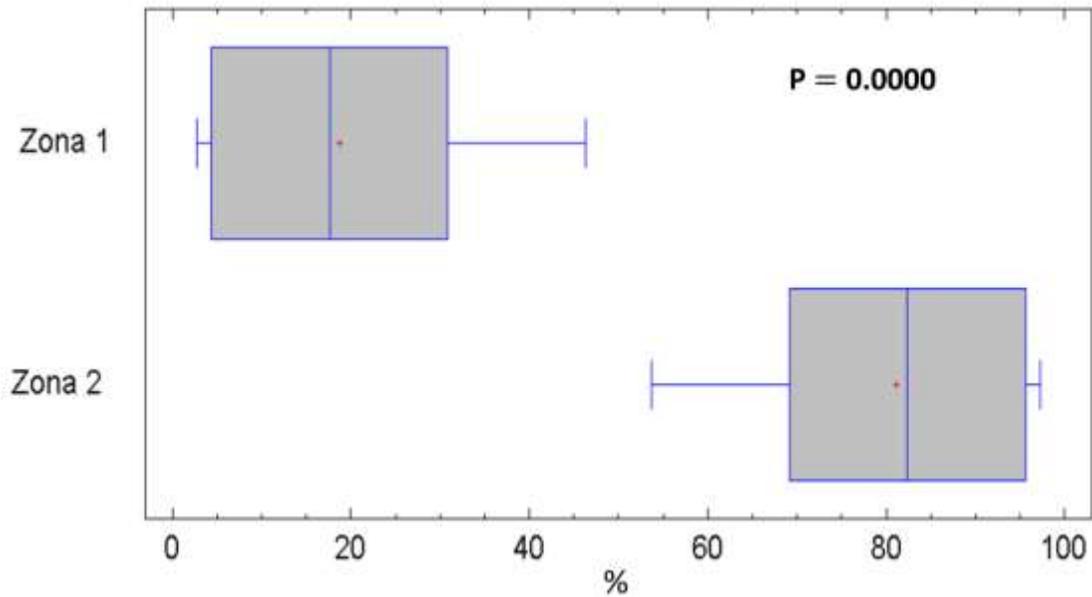


Figura 63 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal-Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar. Segunda campaña

En la Figura 64 se presentan los porcentajes de residuos localizados en las zonas 1 y 2. Los residuos localizados en la zona 1 se encontraron en el intervalo de 3 – 46 %, siendo el valor más bajo reportado en la playa de Puerto Peñasco, mientras que el más alto se encontró en Mahahual. El valor promedio para la zona 1 fue de 18.1 % y 81.9 % en la zona 2, comparando el valor de la zona 1 con el de la campaña del 2018 (27.5 %), se tiene una disminución del 9.4 %.

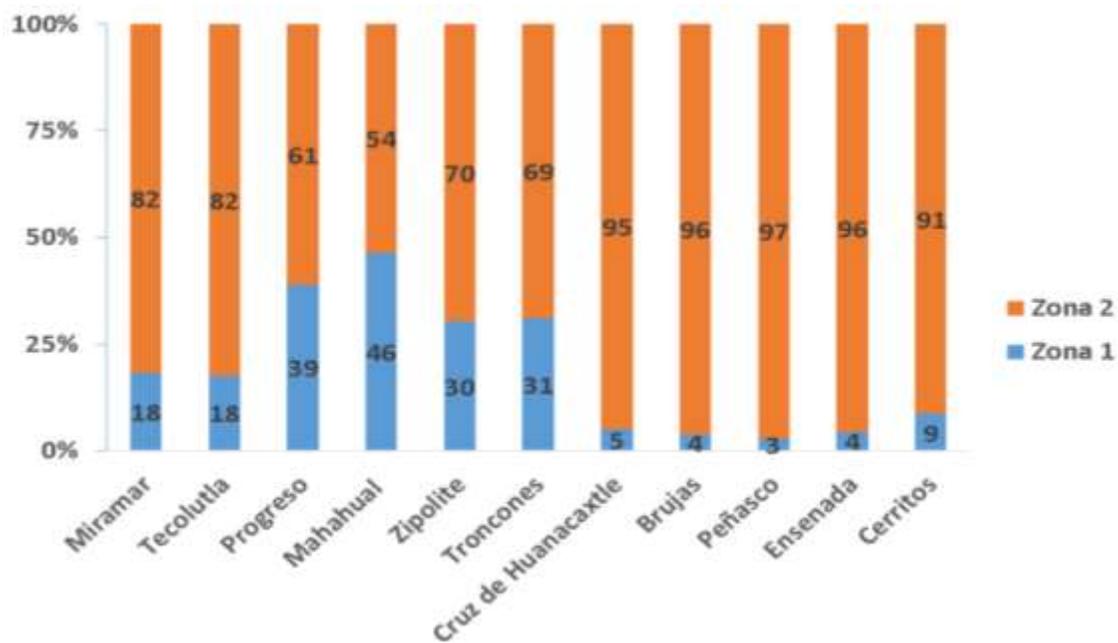


Figura 64 Proporción de residuos por zona, segunda campaña. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar

Las playas ubicadas en la región marina del Golfo de California (GC) y Pacífico Noroeste (PN) presentaron los valores más bajos para la zona 1, con valores promedio de 4 % y 6.5 % respectivamente. En el caso de la región marina del Golfo de México (GM) presentó un promedio del 18 %.

En las regiones marinas del Mar Caribe (MC) y la del Pacífico Tropical (PT), se presentaron las mayores aportaciones de residuos por las mareas y corrientes marinas comparándolas con las otras regiones, con valores medio de 42.5 y 30.5 % respectivamente. En el caso de la región MC, el intervalo de deposición es 39 – 46 %, siendo la playa de Mahahual la de los valores más altos. Para el caso de las playas del PT, los resultados se ubican en el intervalo de 30 al 31 %, ambas playas son conocidas por su fuerte oleaje, por lo que es común la práctica de surf.

Comparando los resultados con los obtenidos en la campaña anterior, la región de GM en 2018 presentó un valor del 9 % y para 2019 duplicó su porcentaje, en MC su valor aumentó un 9 %, para la región de PT disminuyó un 16.5, tendencia similar se observó en la región marina de PN, donde existió una disminución del 21 %.

El Golfo de California GC disminuyó radicalmente su porcentaje, de 28.6 % en 2018 a 4% en 2019 lo anterior puede ser explicado por el evento de alta energía “huracán Bud” el cual se presentó en las fechas de muestreo de las playas Brujas y Cruz de Huanacastle (CONAGUA - Comisión Nacional del Agua, 2018).

En cuanto a que tipo de residuos llega más a las playas (Figura 65), el valor promedio para los fragmentos fue de 64.5 %, similar al obtenido en la primera campaña (64.4 %). El intervalo de FRA fue de 36 – 98 %, en donde el valor mínimo se presentó en playa Troncones mientras que el máximo fue en playa Peñasco. En las playas de Tecolutla, Zipolite, Troncones y Brujas la aportación de RSU fue mayor a la de FRA.

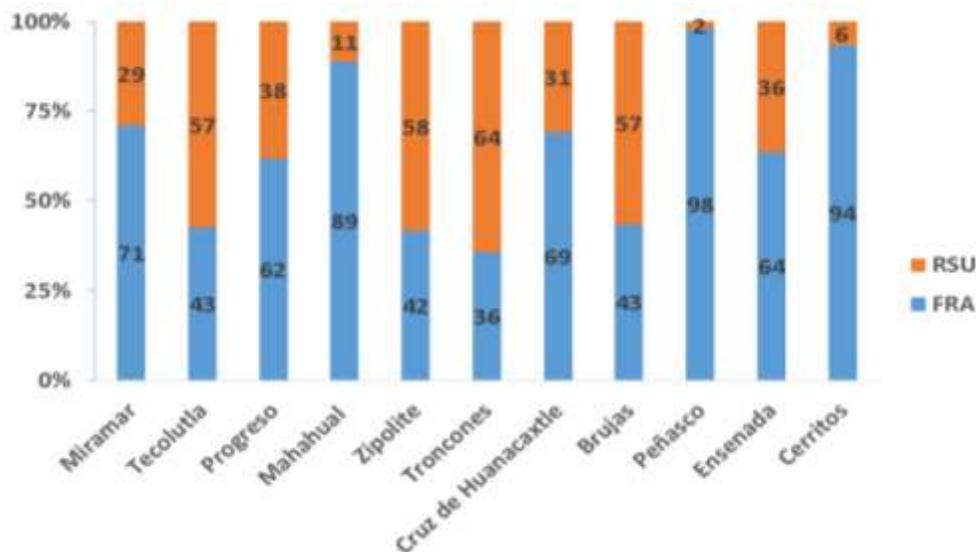


Figura 65 Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Segunda campaña

4.4.3 Análisis global de residuos

En esta sección se reporta el análisis global de residuos sólidos urbanos (RSU), fragmentos (FRA) y residuos (RSU + FRA), que incluye las dos campañas de muestreo.

Residuos

Durante las dos campañas se recolectaron en total 10,708 piezas, 6,201 en la primera y 4,507 en la segunda. En la Figura 66, se presenta la clasificación de residuos por material, se observa que los plásticos ocuparon la primera posición en ambos casos, con el 44.4 y 40.7 % respectivamente, aunque, si se suman a los plásticos espumados y el caucho y látex, los porcentajes subirían a 57.5 y 49.0 %. Las colillas de cigarrillos se encuentran en el segundo lugar con valores de 23.3 % en 2018 y 19.7 % para 2019.

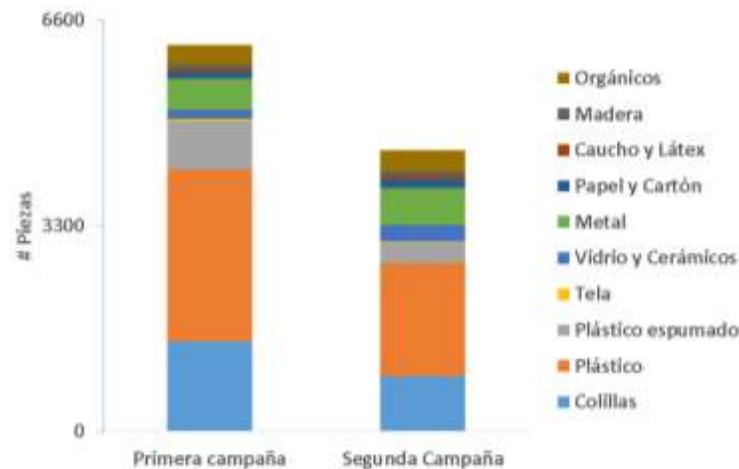


Figura 66. Clasificación global de residuos (RSU + FRA) en términos de piezas

La composición total, que incluye los dos días de muestreo en cada una de las campañas se presenta en la Figura 67.

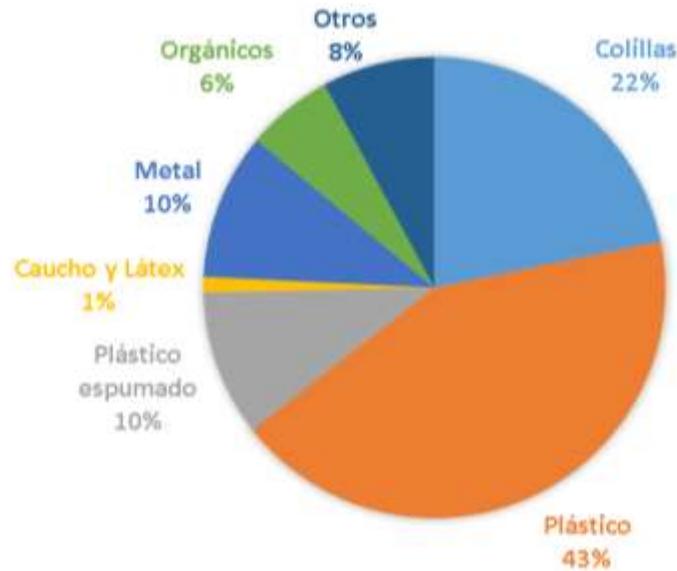


Figura 67. Clasificación de residuos sólidos urbanos + fragmentos. En terminos de piezas (n= 10,708)

Residuos sólidos urbanos

Durante las dos campañas de muestreo se recolectaron 5,685 piezas de residuos sólidos urbanos, con una masa de 102 kg. Un análisis global sobre los diez RSU presentes en mayor proporción en las playas mexicanas, incluyendo las dos campañas, es el que se muestra en la Figura 68. Las colillas de cigarros son los residuos más recurrentes y presentaron un valor del 41.1 %, posteriormente le siguieron las tapas y arillas de metal con un 16.5 %, y los residuos orgánicos ocuparon la tercera posición con 8.8 %. En cuanto a los residuos plásticos, si se suman los RSU de las 10 primeras posiciones, se tendría un valor de 16.2 %, valor 2.5 veces menor al obtenido por las colillas.

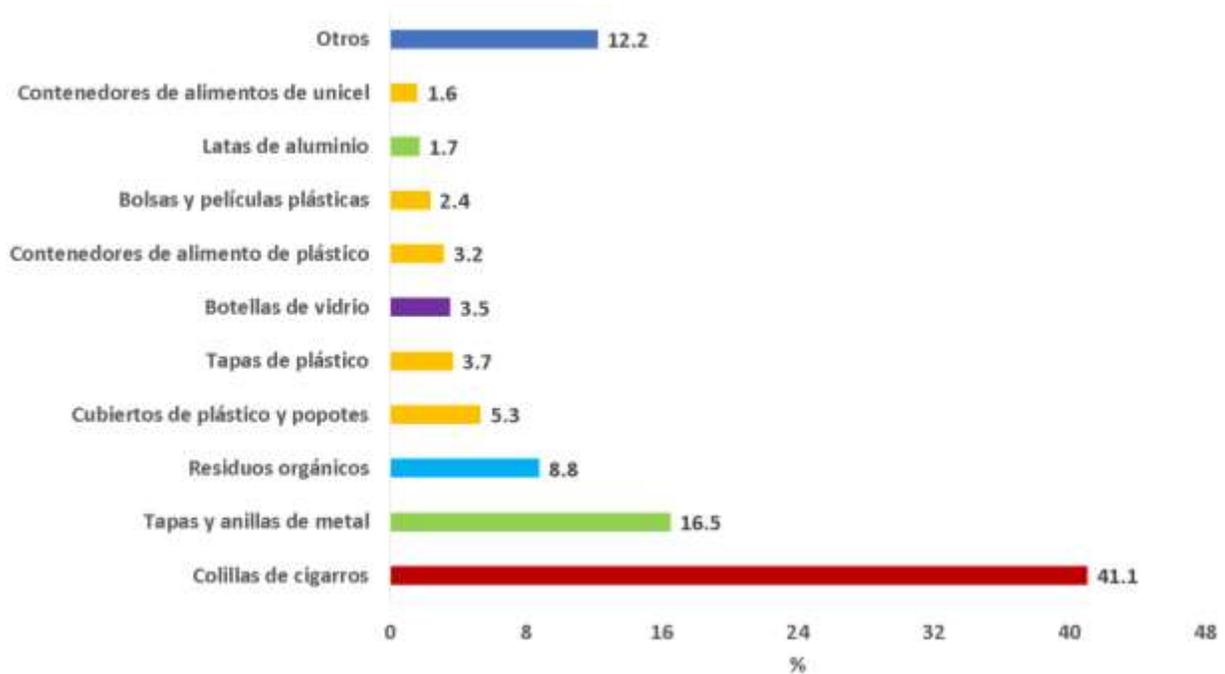


Figura 68 Los RSU más comunes en playas mexicanas en términos de piezas

En la Figura 69, se presenta los resultados de las composiciones de las dos campañas de muestreo, se observa que mientras las colillas de cigarro mostraron una tendencia similar, los plásticos disminuyeron y los residuos metálicos aumentaron.

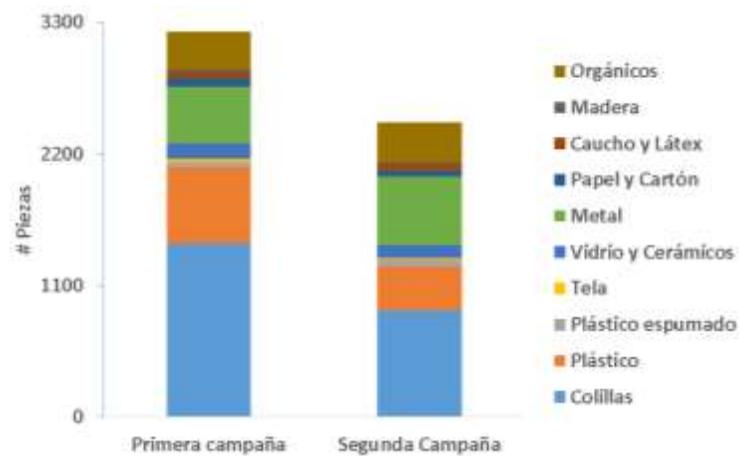


Figura 69. Clasificación de residuos sólidos urbanos en términos de piezas

Las colillas de cigarro representaron el RSU con mayor proporción, con un porcentaje del 41 %. Posteriormente le siguieron los residuos metálicos y plásticos, ambos con un 18 % y en tercera posición los residuos orgánicos con un 11 % (Figura 70).



Figura 70 Clasificación de residuos sólidos urbanos en términos de piezas

Fragmentos

En cuanto a los fragmentos, se observa que en ambas campañas los tipos de materiales siguieron una tendencia similar, pues los plásticos, plásticos espumados y vidrios ocuparon las primeras posiciones, aunque en el caso del vidrio la proporción aumentó (Figura 71).

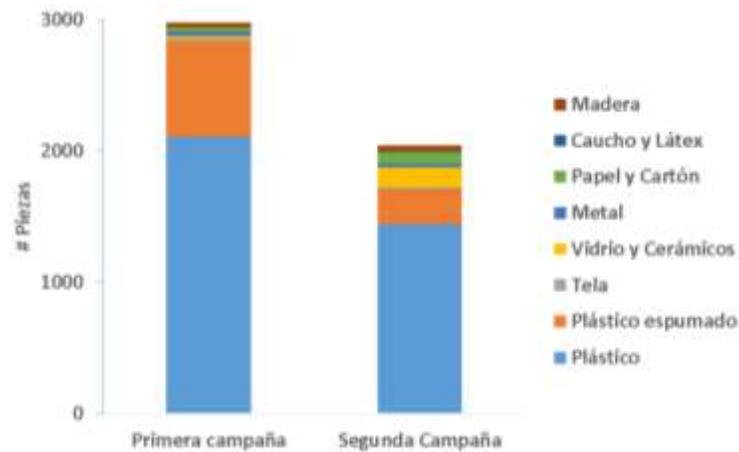


Figura 71 Clasificación de fragmentos en términos de piezas

En cuanto, a la composición de fragmentos por tipo de material, se observó que los plásticos representaron el 71 %, mientras que los plásticos espumados representaron el 20 % (Figura 72).

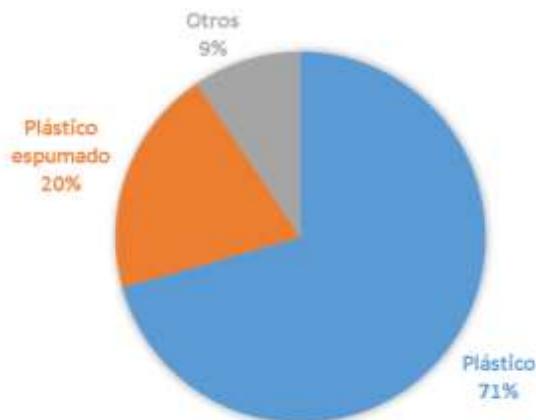


Figura 72 Clasificación de fragmentos en terminos de piezas

Índice de contaminación

En la Figura 73, se presenta los índices de contaminación globales de RSU y residuos, obtenidos a partir de los cuatro muestreos realizados. En cuanto a los RSU, las playas que se consideran “muy

limpias” fueron Miramar, Troncones y Cerritos, mientras que las playas “muy sucias” fueron Tecolutla y Cruz de Huanacastle.

En cuanto al índice de contaminación de residuos, se observa que seis playas se encuentran en la categoría de “muy sucia”, Tecolutla, Progreso, Mahahual, Cruz de Huanacastle y Ensenada.

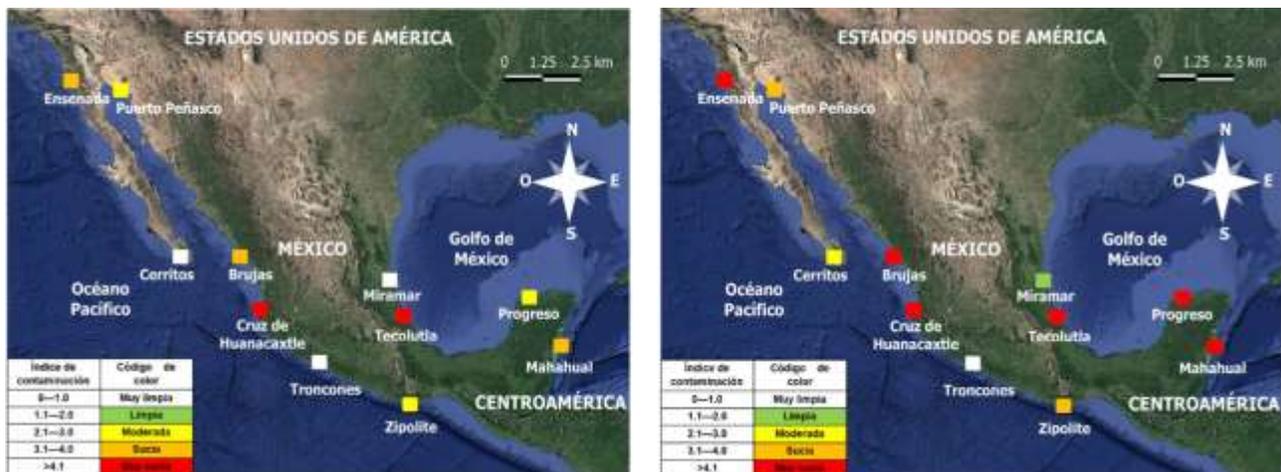


Figura 73 Índice de contaminación global de las dos campañas. Derecho) Residuos sólidos urbanos, izquierdo) residuos sólidos urbanos + fragmentos

Correlación entre residuos sólidos urbanos y fragmentos

En cuanto a la correlación entre RSU y FRA, de manera global, es decir considerando ambas campañas de muestreo, se observó que existe una relación estadísticamente significativa entre ellos con un 95 % de confianza. El modelo ajustado presentó un valor de $R^2=87.6\%$, lo que significa que la relación entre RSU y FRA es relativamente fuerte (Figura 74).

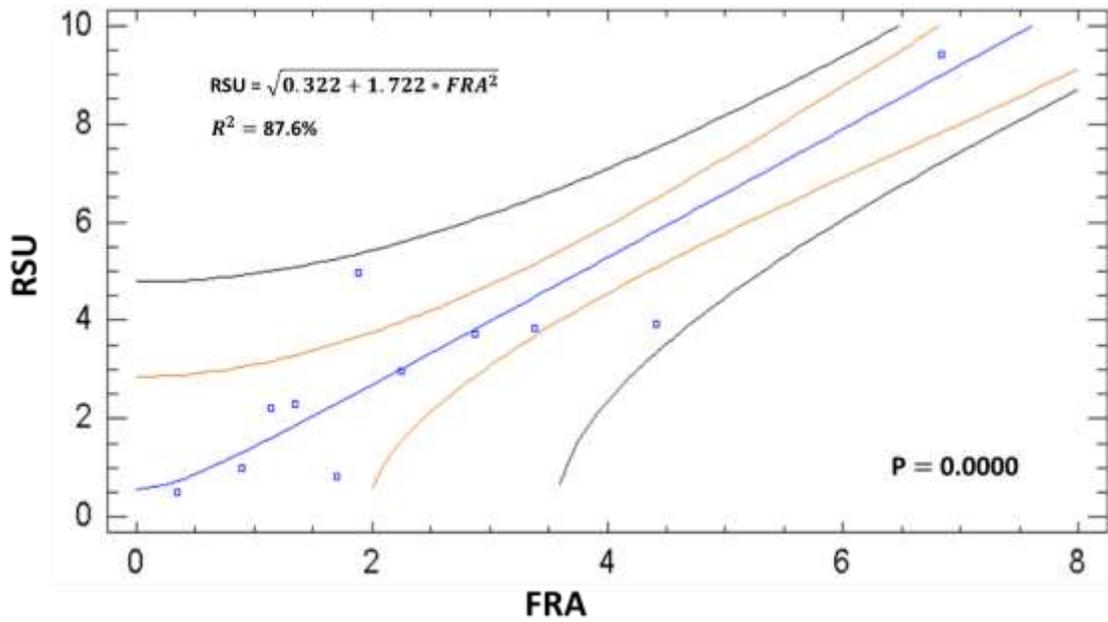


Figura 74. Correlación entre índices de contaminación de fragmentos (FRA) y residuos sólidos urbanos (RSU). Global. Las líneas rojas representan el límite de confianza, mientras que las negras son los límites de predicción Global

Análisis por zonas

El análisis estadístico y el gráfico de bigotes se presentan en la Figura 75, se observa que el valor P para la prueba Kruskal – Wallis es estadísticamente significativo, de acuerdo a lo anterior, por lo que en la zona 2 (encima de la pleamar) se encuentra la mayoría de los residuos en las playas estudiadas, siendo las actividades que se desarrollen en éstas las responsables de su presencia.

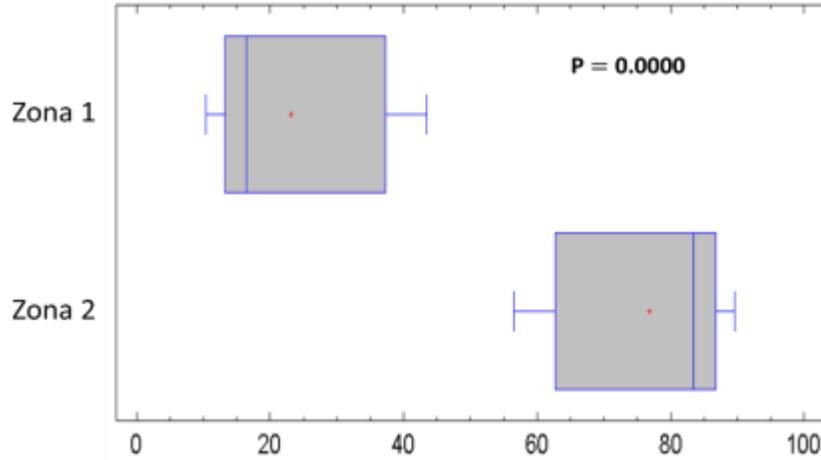


Figura 75 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar.Global

En la Figura 76, se presentan los resultados promedio globales para las zonas. La proporción de residuos en la zona 1 fluctuó del 10 al 44 %, siendo el valor más bajo en playa Puerto Peñasco, mientras que el más alto se presentó en playa Mahahual. El valor medio global fue de 23.2 ± 12.5 % para la zona 1, mientras que para la 2 se obtuvo un valor de 76.8 % con la misma desviación estándar.

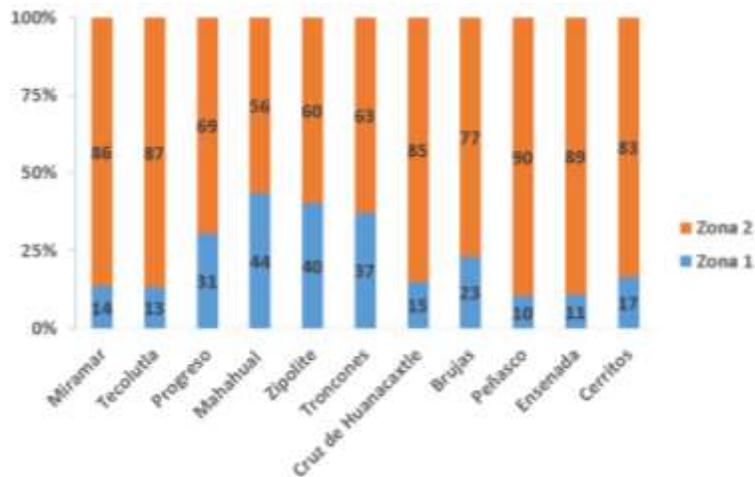


Figura 76. Proporción de residuos por zona, global. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella, Zona 2 encima de la pleamar

Con respecto al tipo de residuos que llega a la zona 1, se observa que en la mayoría de las playas los residuos más comunes fueron fragmentos, salvo una excepción encontrada en Zipolite, donde los RSU fueron los que más se encontraron. Los valores medio globales para ambos residuos fueron 64.5 % para los fragmentos (FRA) y 35.5 % para residuos sólidos urbanos (RSU) con una desviación estándar para ambos casos de 11.3 % (Figura 77).

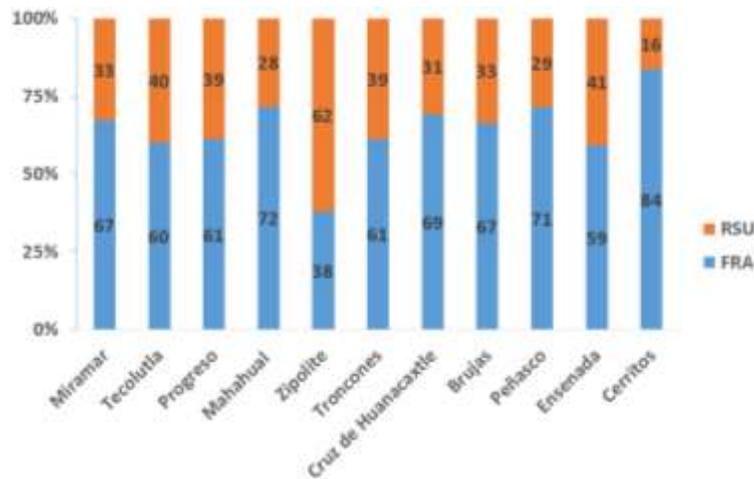


Figura 77. Composición de los residuos que arriban a la zona 1. RSU: residuos sólidos urbanos, FRA: fragmentos. Global

Los residuos recolectados en la zona 1 son depositados por dos fenómenos que suceden en las playas, las corrientes marinas y mareas, por lo que el origen de éstos puede ser más complicado de precisar, ya que podrían provenir de residuos depositados por desembocaduras de ríos o aguas residuales, de embarcaciones, o bien de embarcaciones.

Se evaluó de manera global la incidencia de residuos (RSU +FRA) en la zona 1 (debajo de la pleamar) por región marina para establecer si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Los resultados presentaron diferencias significativas, siendo las regiones marinas del Mar Caribe y Pacífico Tropical las que reciben el mayor aporte de residuos por mareas y corrientes marinas (Figura 78).

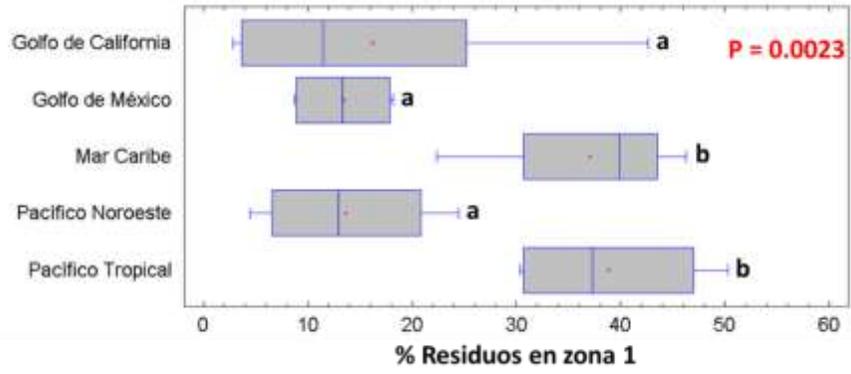


Figura 78 Diagrama de caja y bigotes y valor P prueba Kruskal - Wallis. Zona 1: en la pleamar y debajo de ella. Global

4.5 Presencia de microplásticos

En los siguientes apartados se presenta el análisis de la presencia de microplásticos en las 11 playas estudiadas y las dos campañas de muestreo, se dividió en tres partes: análisis de la presencia de microplásticos en la primera y segunda campaña y un análisis global. Los valores de los MP fueron heterogéneos debido a diversos factores (eventos de alta energía, dinámica de la playa, entre otros), por lo que se optó en utilizar a la mediana como medida de tendencia central principal para reportar y comparar las concentraciones de MP, ya que los valores extremos no tienen efectos importantes sobre ella, lo que sí ocurre con la media (Daniel, 2014).

Los resultados se analizaron de la siguiente manera: en el caso de la primera campaña el análisis de los resultados fue descriptivo, para la segunda campaña de igual manera se realizó de forma descriptiva, aunque también se compararon los resultados con los obtenidos en la primera campaña. Finalmente se realizó un análisis global de ambas campañas de muestreo, y los resultados se compararon con otros estudios.

4.5.1 Análisis de la presencia de microplásticos en la primera campaña

En la Figura 79, se presenta las concentraciones de microplásticos en términos de unidad de área para la primera campaña, los valores de las concentraciones corresponden al valor de la mediana de los 20 puntos muestreados (10 sábado y 10 domingo). Es importante aclarar que la playa de Mahahual no se muestreó debido a la presencia de sargazo en ambos días y para la playa Progreso solo se muestreó el sábado, debido al recale de sargazo el domingo.

Las playas que presentaron bajas concentraciones de MP fueron Troncones y Zipolite, ambas localizadas en la región marina del Pacífico Tropical. Cinco playas presentaron una concentración media: Miramar, Puerto Peñasco, Ensenada, Cerritos y Progreso (en esta última, considerando sólo datos del sábado). Sólo se encontró una playa con concentraciones altas (Tecolutla). Las playas de Cruz de Huanacastle y Brujas, presentaron concentraciones muy altas de MP.

El valor medio de la presencia de MP para la primera campaña fue de 151.7 ± 205.6 MP/m², con un porcentaje de variación de 135.4 %, lo cual indica una alta heterogeneidad de los datos.

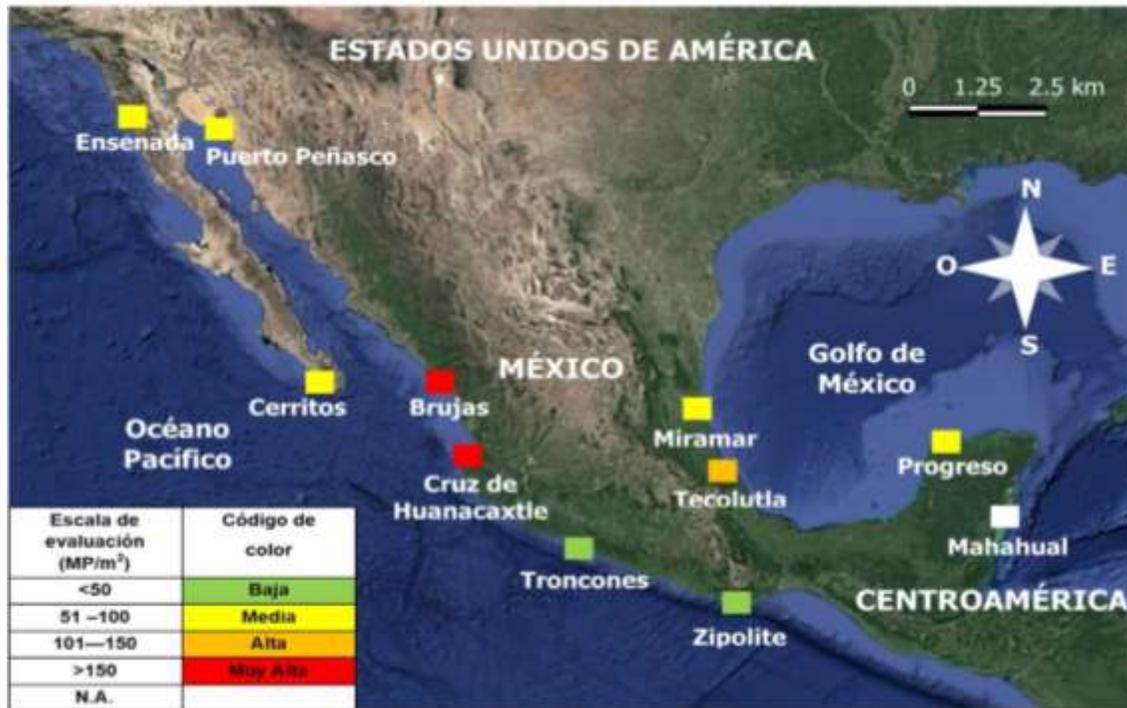


Figura 79. Concentraciones de microplásticos de la primera campaña

En la Figura 80 se presenta el análisis estadístico para la concentración de microplásticos por día ($p=0.079$), el análisis Kruskal-Wallis, demostró que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los días de muestreo, aunque si se observó una alta variabilidad para el domingo, con un rango de 1056.3 MP/m² (rango = valor máximo – valor mínimo), 20 % mayor al obtenido en sábado (880.3. MP/m²).

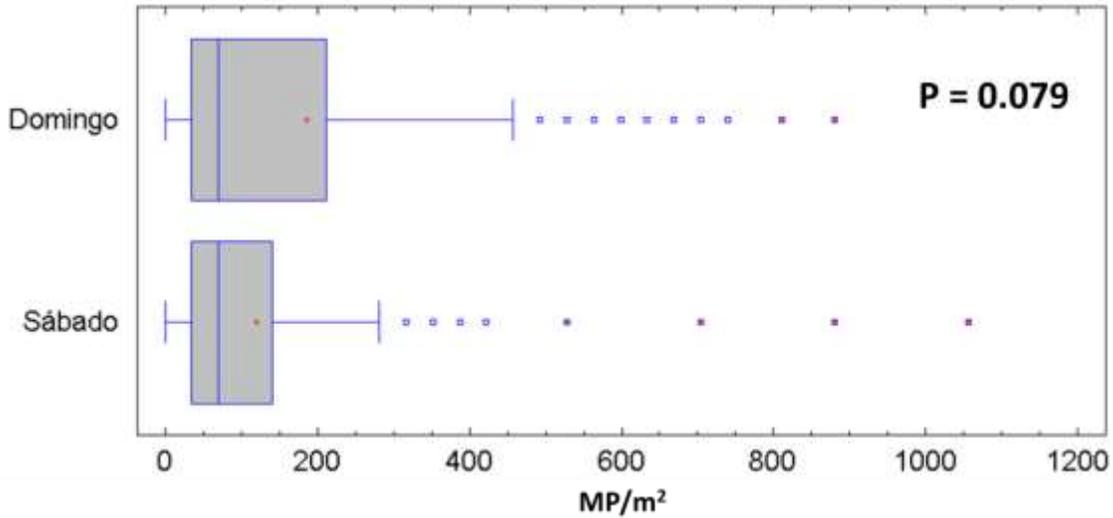


Figura 80. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para el día de muestreo. Primera campaña

Con respecto al análisis por región marina los resultados demostraron que sí existieron diferencias estadísticamente significativas entre las regiones marinas ($p=0.000$), se formaron dos grupos, el primero estuvo constituido únicamente por la región marina de Golfo de California, en la cual se presentaron las concentraciones más altas con una mediana de 299.3 MP/m², mientras que en el segundo se agruparon las regiones marinas restantes y los valores de las medianas se encontraron en el intervalo de 11.4 – 35.2 MP/m² (Figura 81).

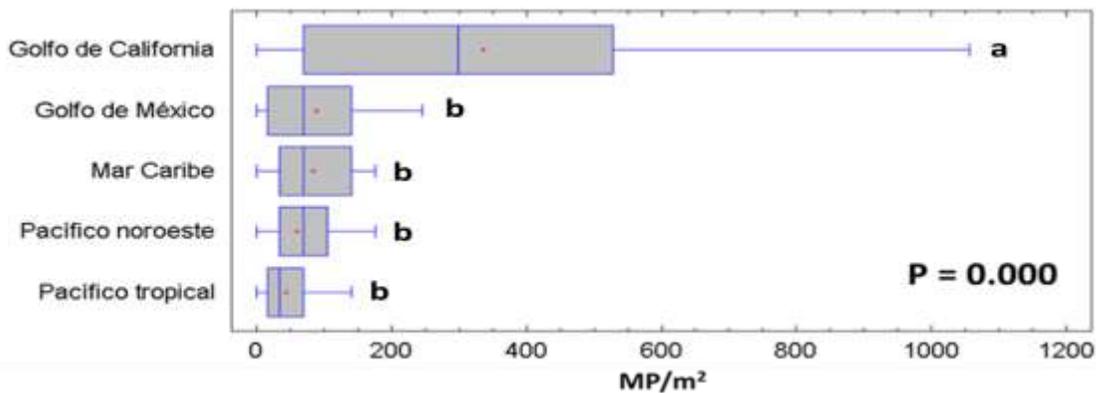


Figura 81. Prueba Kruskal-Wallis al 95% de confianza para la región marina. Primera campaña

La clasificación por tipo de microplástico se presenta en la Figura 82a, el 91 % de los MP encontrados fueron del tipo secundario, mientras que 9 % restante fueron primarios (pellets y balines). En la Figura 82b se presenta la distribución de MP clasificándolos por playa, de las once playas estudiadas en el 72.7 % de ellas (8 playas) se localizaron MP primarios, sólo en las playas de Progreso y Troncones no se encontró la presencia de MP primarios.

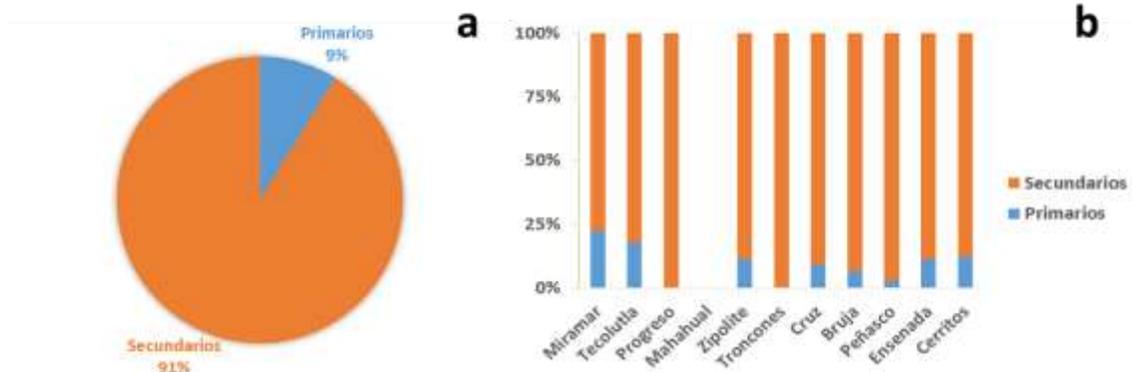


Figura 82 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa

En la Figura 83a se presenta la clasificación de MP por forma, los fragmentos representaron el 50 %, posteriormente le siguieron los espumados con un 21 % y en la tercera posición las películas con un 13 %. La distribución de MP según su forma por playa se

presenta en la Figura 83b, los fragmentos sobresalen en todas las playas (color naranja), en la playa Progreso se presentó la menor variedad de formas (película, fragmento y espumado) en comparación con las playas restantes.

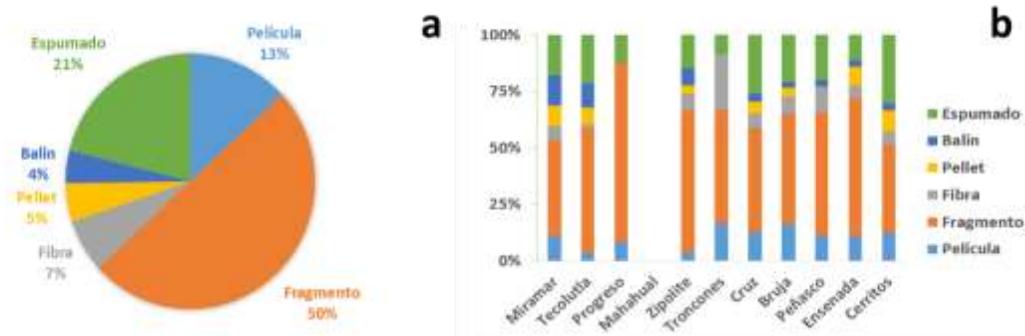


Figura 83 Clasificación de microplásticos por forma en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa

Los balines, que debido a su tamaño (≈ 5 mm) son considerados como primarios, no se habían registrado en otros estudios de microplásticos en playas, sin embargo, su presencia fue significativa para esta primera campaña, en la cual se encontraron en una proporción de cuatro pellets por tres balines. El origen de los balines se encuentra en juguetes ofertados en algunas playas.

Las playas en donde se encontraron las mayores concentraciones de pellets fueron: Miramar, Ensenada, Tecolutla, y Cerritos. En las dos primeras playas la presencia se asocia a la cercanía con los puertos comerciales de la zona, mientras que para las restantes las corrientes marinas podrían jugar un papel preponderante. La presencia de pellets en playa Brujas puede atribuirse a la cercanía del puerto comercial de Mazatlán, mientras que para la playa de Cruz de Huanacastle es probable que su presencia se deba al arrastre por corrientes marinas del puerto comercial de Vallarta.

La clasificación por color se presenta en la Figura 84, el color más abundante fue el blanco con un 23 %, posteriormente le siguieron; azul 18 %, verde 15 % y amarillo 14 %. La suma de los cuatro colores anteriores representa el 70 %. La distribución de colores respecto a las playas es heterogénea, sin embargo, las playas que presentaron menor variedad de colores fueron Zipolite, Troncones y Cerritos.

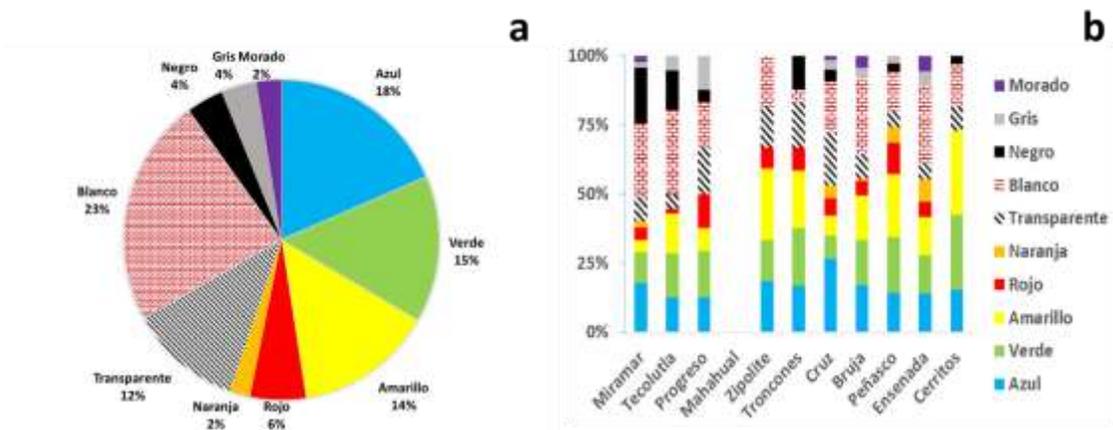


Figura 84 Clasificación de microplásticos por color, en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa

En cuanto al tamaño, en la Figura 85 se presenta la distribución. El intervalo más presente fue el de 4.1 -5.0 mm con un 30 %, posteriormente tres intervalos (1.1-2.0, 2.1-3.0 y 3.1-4.0) presentaron valores cercanos al 20 %. En cuanto al intervalo de 0.5-1.0 mm, presentó el valor más bajo. La distribución de los tamaños fue heterogénea en las playas estudiadas, aunque, en playa Tecolutla no se encontraron MP en el intervalo de 4.1 – 5.0 mm.

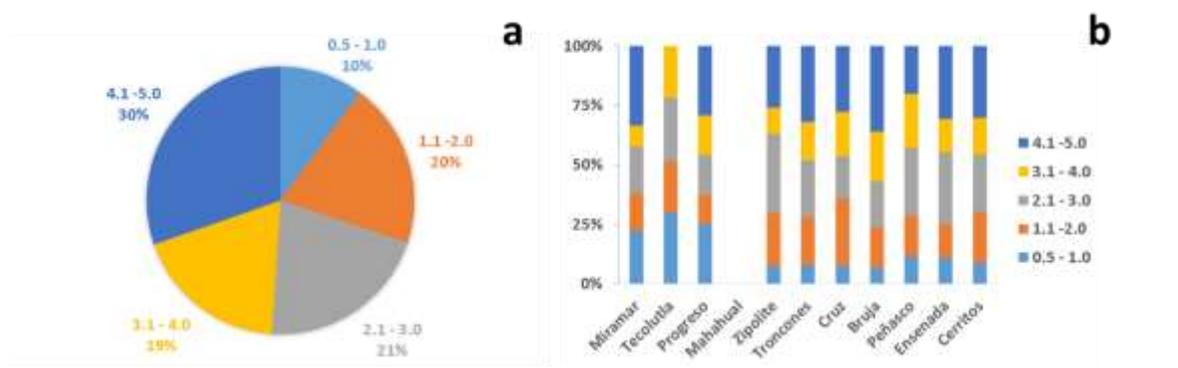


Figura 85 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 813). Primera campaña a) valores globales; b) distribución por playa

El polietileno (PE) presentó el valor más alto con un porcentaje de 54 %, posteriormente le siguió el poliestireno (PS) con un valor de 19 %, mientras que en la tercera posición se encontró al polipropileno (PP) con un 15 %. En conjunto las poliolefinas (PE y PP) representaron el 69 % de

los microplásticos (Figura 86). La distribución del PE en las playas fue homogénea, sin embargo, para los plásticos restantes su presencia fue heterogénea. Las playas que presentaron menores variedades de plásticos fueron Ensenada y Cerritos, mientras que Cruz de Huanacastle y Bruja presentaron las mayores.

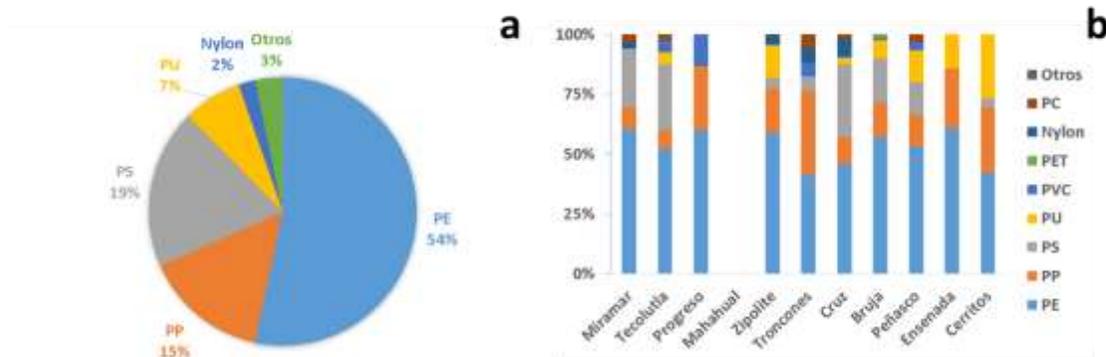


Figura 86. Clasificación de microplásticos por composición química en términos de piezas (n = 635). Primera campaña. a) valores globales; b) distribución por playa

4.5.2 Análisis de la presencia de microplásticos en la segunda campaña

En la Figura 87, se presenta el mapa con las concentraciones de microplásticos obtenidas en la segunda campaña. Cuatro playas presentaron “baja” concentración de MP (Progreso, Mahahual, Zipolite y Peñasco). Mientras que las playas de Miramar, Troncones y Cerritos presentaron un valor “medio”, Tecolutla se catalogó como una playa con “alta” incidencia, mientras que las playas de Cruz de Huanacastle, Brujas y Ensenada se posicionaron con concentración “muy alta”. En esta campaña nuevamente se encontró la presencia de sargazo en la región marina de Mar Caribe, sin embargo, éste se retiró de la superficie y se muestreó la arena de la manera descrita en la metodología.

En la segunda campaña se encontró un valor medio de 95.5 ± 97.3 MP/m², valor 58.8 % menor al obtenido en la primera campaña (151.7 ± 205.6 MP/m²), en cuanto a la variabilidad de los valores también disminuyó a 101.8 %.



Figura 87 Concentraciones de microplásticos de la segunda campaña

Comparando los resultados de la segunda campaña con los de la primera, se observa el 55 % de las playas permanecieron en la misma categoría (Miramar, Tecolutla, Zipolite, Cruz de Huanacastle, Brujas y Cerritos).

El gráfico de caja y bigotes, así como el valor p del análisis de Kruskal-Wallis se ilustran en la Figura 88. Debido a que el valor p fue menor a 0.05, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los días de muestreo. El domingo se encontró un valor de 112.9 MP/m² y un rango de 422.5, mientras que para el sábado disminuyó a 78.1 MP/m² al igual que el rango 316.9.

Los resultados del análisis estadístico por día difieren de lo obtenido en la primera campaña (no existió diferencia estadística), sin embargo, se tiene que tener en cuenta que la presencia de

sargazo en la primera campaña en playas de Mahahual y Progreso podría haber influido en los resultados.

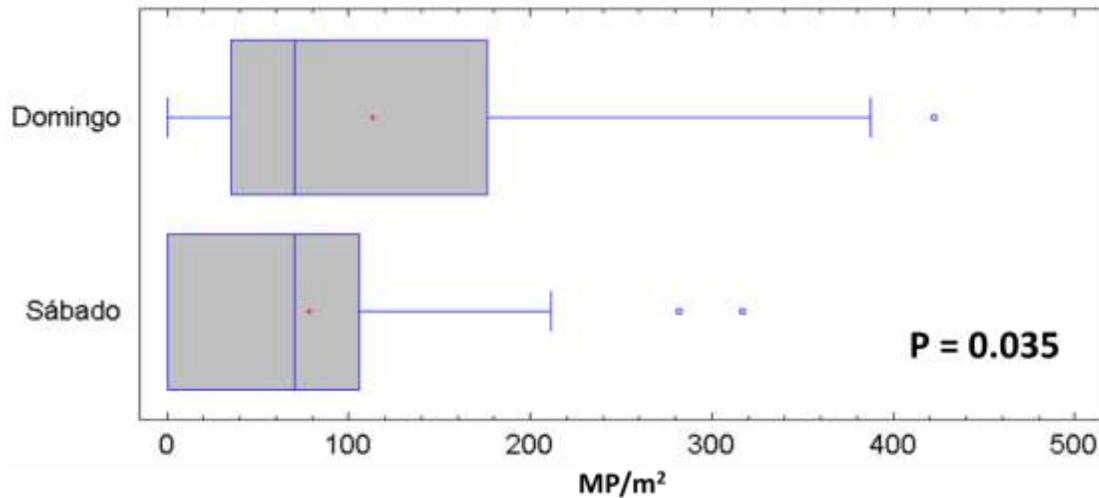


Figura 88. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para el día de muestreo. Segunda campaña

En cuanto al análisis por región marina, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0.000$) entre ellas, se observan tres grupos, el primero fue el del Golfo de California en cual presentó la mayor concentración de MP, resultado que coincide con el obtenido en la primera campaña, aunque con una disminución del 70 % (176.1 MP/m^2) (Figura 89).

El segundo grupo lo conformaron las regiones marinas del Golfo de México y Pacífico Noroeste ambos con una mediana de 70.4 MP/m^2 . El último grupo lo integraron las regiones marinas de Pacífico Tropical (35.2 MP/m^2) y Mar Caribe (10.5 MP/m^2), siendo esta última la que presentó la menor concentración, sin embargo, se debe considerar el tema de sargazo que podría llevar a subestimar la presencia de microplásticos, debido a que éstos podrían estar enredados en el alga.

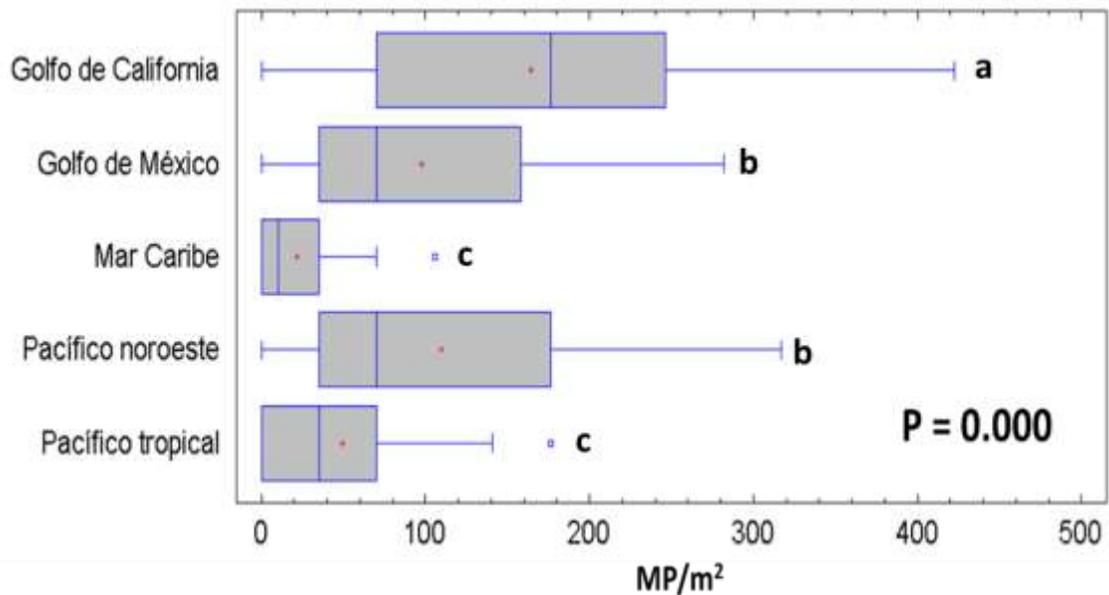


Figura 89. Prueba Kruskal-Wallis al 95 % de confianza para la región marina. Segunda campaña

En la Figura 90 se presenta la clasificación de MP por tipo. Se encontró una distribución de 94 % de MP secundarios y 6 % de primarios. Sólo en cinco playas se encontraron MP primarios, disminuyendo en número si se compara con la primera campaña, que presentó ocho playas con esta condición. Las playas que presentaron MP primarios fueron Miramar, Cruz de Huanacastle, Brujas, Ensenada y Cerritos, todas ellas coincidieron con lo reportado en 2018.

Las playas en las cuales disminuyeron los porcentajes de MP primarios fueron Miramar de 22.2 % en 2018 a 11.8 % en 2019, Cruz de Huanacastle redujo su porcentaje en 7.4 %, Cerritos en 10 % y Brujas sólo disminuyó en 0.8 %. La playa de Ensenada en 2018 se tenía un 11.1 % mientras que para 2019 se obtuvo un valor del 24.5 %.

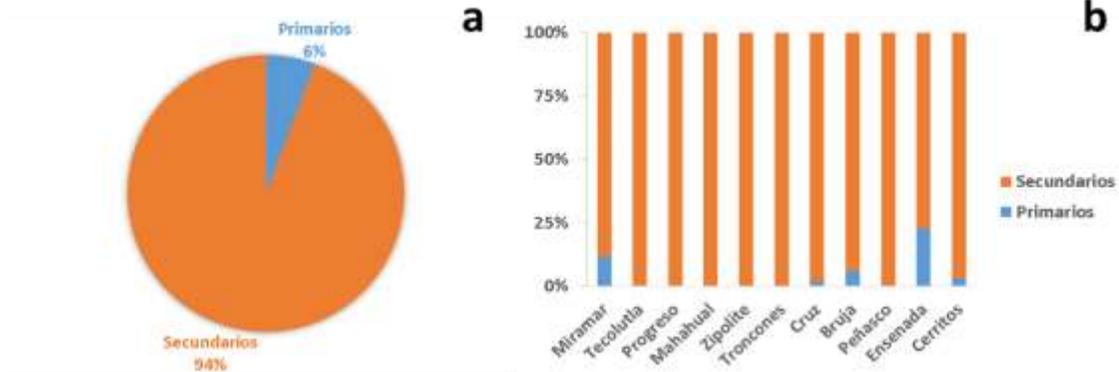


Figura 90 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa

En cuanto a la clasificación de MP por forma, los fragmentos ocuparon la primera posición con un 46 %, valor más bajo comparado con el obtenido en la primera campaña que fue de 50 %. Posteriormente le siguieron los plásticos espumados, los cuales aumentaron un 3 % con relación al 2018. Las fibras ocuparon la tercera posición con un valor de 17 %, en este caso aumentaron un 10 %. La película disminuyó de 13 % en 2018 a 7 %, tendencia similar a la presentada en la forma de balines, los cuales disminuyeron un 3 %. En el caso de los pellets conservaron el porcentaje del 5 % (Figura 91).

La tendencia fue la misma en cuanto a una mayor cantidad de pellets comparado con los balines, aunque la proporción varió significativamente, a seis pellets por cada balín (en 2018 cuatro pellets por tres balines).

Las playas en donde se encontraron pellets fueron Miramar, Cruz de Huanacastle, Brujas, Ensenada y Cerritos las cuales representan el 45.5 %, en las playas mencionadas a excepción de Cerritos, se considera que la presencia de éstos se debe a los puertos comerciales que se encuentran en sus cercanías, en el caso de playa Cerritos, es probable que la presencia de pellets se deba al traslado por las corrientes marinas.

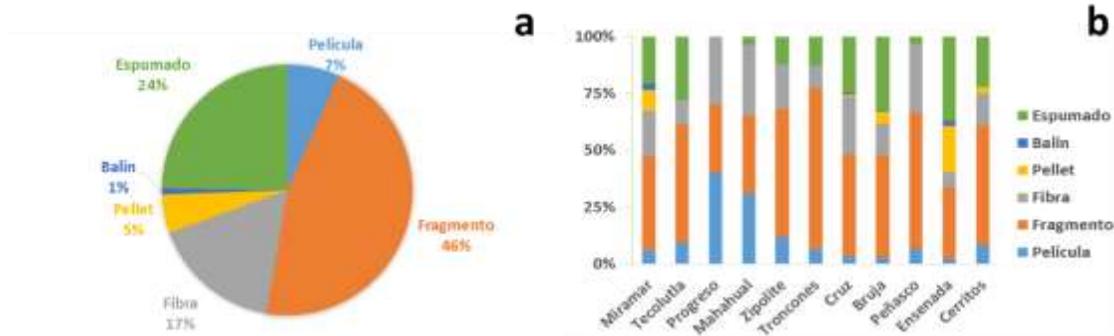


Figura 91 Clasificación de microplásticos por forma en terminos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa

La playa que presentó la menor variedad de formas coincidió con la primera campaña y fue Progreso, en donde sólo se encontraron fibras, fragmentos y películas, mientras que las playas que presentaron mayor diversidad de formas fueron: Miramar, Cruz de Huanacastle, Bruja y Ensenada.

En cuanto a la clasificación por color, el blanco fue el más ocurrente con un valor del 29 %, tendencia similar a la del 2018 con un 23 %. El azul y amarillo ocuparon el segundo lugar, en el primer caso se presentó una disminución del 2 %, mientras que el amarillo aumentó 2 %, en el caso del color verde disminuyó 3 %. La suma de los cuatro colores es de 73 %, valor 3 % mayor que el obtenido para la primera campaña (Figura 92). La distribución de colores fue heterogénea, sin embargo, la menor variedad de colores se localizó en playa Progreso.

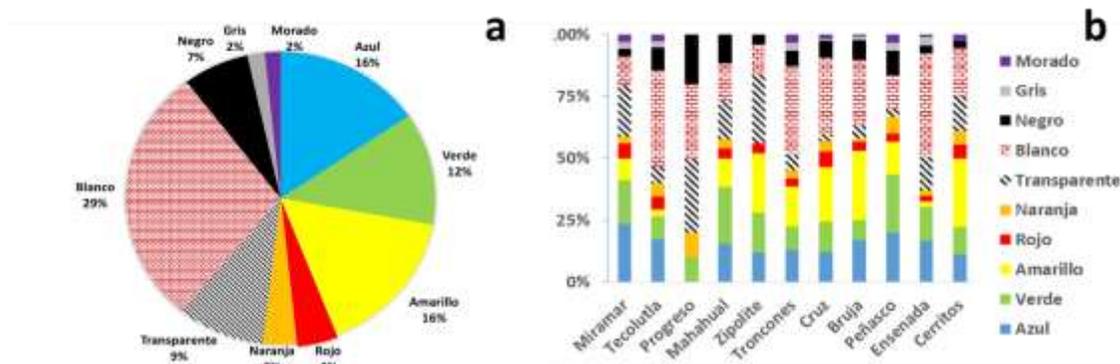


Figura 92 Clasificación de microplásticos por color, en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña.a) valores globales; b) distribución por playa

En la Figura 93, se presenta la clasificación por intervalo de tamaño, los intervalos 4.1 – 5.0 y 0.5 – 1.0 mm presentaron los valores más altos con un valor del 31 % en ambos casos. Resulta relevante mencionar que en la primera campaña el intervalo de 4.1 – 5.0 presentó una tendencia similar, sin embargo, para el intervalo de 0.5 – 1.0 mm el porcentaje cambió radicalmente, de un valor de 10 % paso a 31 %, debido a lo anterior los demás intervalos se vieron afectados disminuyendo sus porcentajes, en el intervalo de 3.1 - 4.0 mm se redujo un 5 %, el de 1.1 - 2.0 un 6 %, mientras que el intervalo que mayor reducción tuvo fue de 2.1 - 3.0 el cual de un 21 % en 2018, pasó a un 10 %. La playa que presentó una menor diversidad de tamaños fue playa Progreso, encontrándose solo MP >2.1 mm.

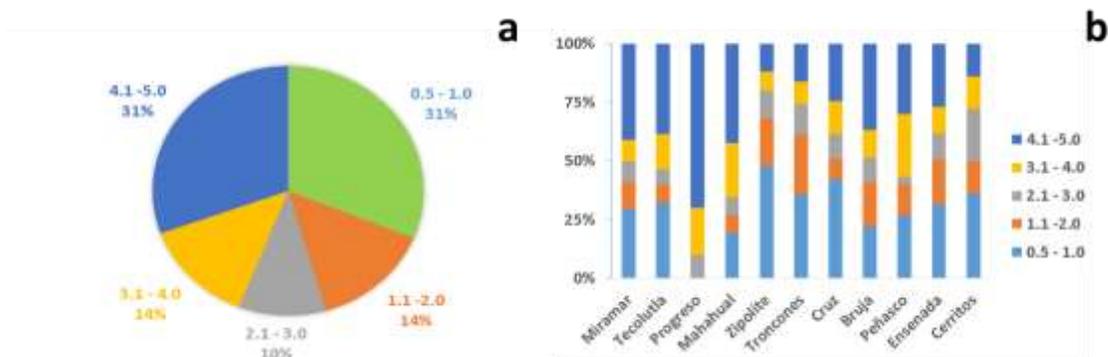


Figura 93 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 606). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa

En cuanto a la clasificación por composición química, nuevamente el polietileno presentó el valor más alto, con un porcentaje del 51 %, el cual disminuyó en 3 % con respecto a la primera campaña, en el caso del PP también redujo su valor en 1 %, por lo que la suma de poliolefinas fue del 65 %. En el caso del poliestireno, aumentó su porcentaje en un 3 %, mientras que poliuretano disminuyó 1 % (Figura 94). Las playas que presentaron menor diversidad de polímeros fueron Progreso y Cruz de Huanacastle, mientras que las de mayor variedad fueron Bruja y Ensenada.

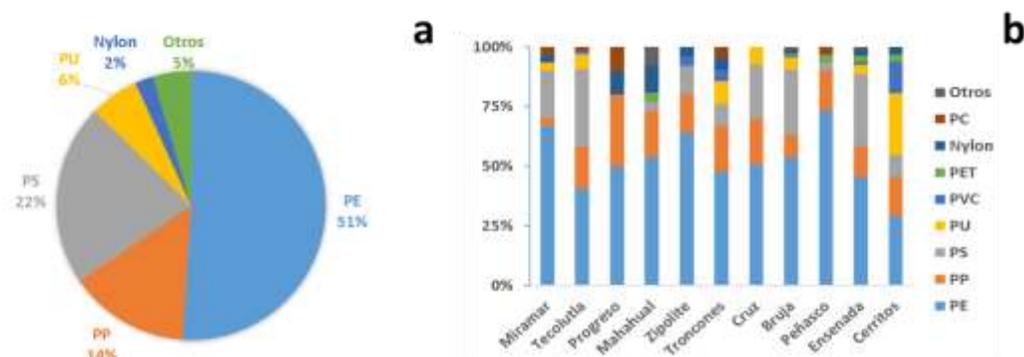


Figura 94 Clasificación de microplásticos por composición química e término de piezas (n = 545). Segunda campaña. a) valores globales; b) distribución por playa

4.5.3 Análisis global de microplásticos

En esta sección se realizó un análisis de los valores medios ($n = 40$ muestras) obtenidos en las once playas estudiadas, correspondientes a dos días de muestro (sábado y domingo) y a las dos campañas (primera y segunda). La información se ordenó de la siguiente manera: un mapa nacional con la clasificación de las playas de acuerdo a las concentraciones globales, posteriormente las clasificaciones de los microplásticos en términos de tipo, forma, color, tamaño y polímero.

Por otro lado, se presentan los resultados de las pruebas no-paramétricas (Kruskal-Wallis) de los siguientes factores: océanos (dos niveles), regiones marinas (cinco niveles), campañas de muestreo (dos niveles), playas estudiadas (once niveles) y días de muestreo (dos niveles).

Finalmente se realizó un análisis multivariado con respecto a los microplásticos, fragmentos y residuos sólidos urbanos, posteriormente cuando existieron correlaciones significativas se procedió a realizar las respectivas regresiones simples.

En la Figura 95 se presenta el mapa de las concentraciones de microplásticos globales en términos de área (MP/m^2). Las playas que presentaron bajas concentraciones de MP fueron Zipolite, Progreso y Mahahual, sin embargo, en los dos últimos casos se debe considerar que la presencia de sargazo en las playas podría provocar que se subestimen los valores. Posteriormente las playas con contaminación media fueron 5 las cuales representan el 45.5 % de las estudiadas (Miramar, Troncones, Puerto Peñasco, Ensenada y Cerritos). La playa de Tecolutla presentó un valor alto y por último las playas con concentraciones muy altas fueron Brujas y Cruz de Huanacastle.

El valor de la mediana global fue de $70.4 \text{ MP}/\text{m}^2$, con un valor medio de $121.6 \pm 159.3 \text{ MP}/\text{m}^2$, un coeficiente de variación de 131.0 % y un intervalo de $0.0 - 1056.3 \text{ MP}/\text{m}^2$.

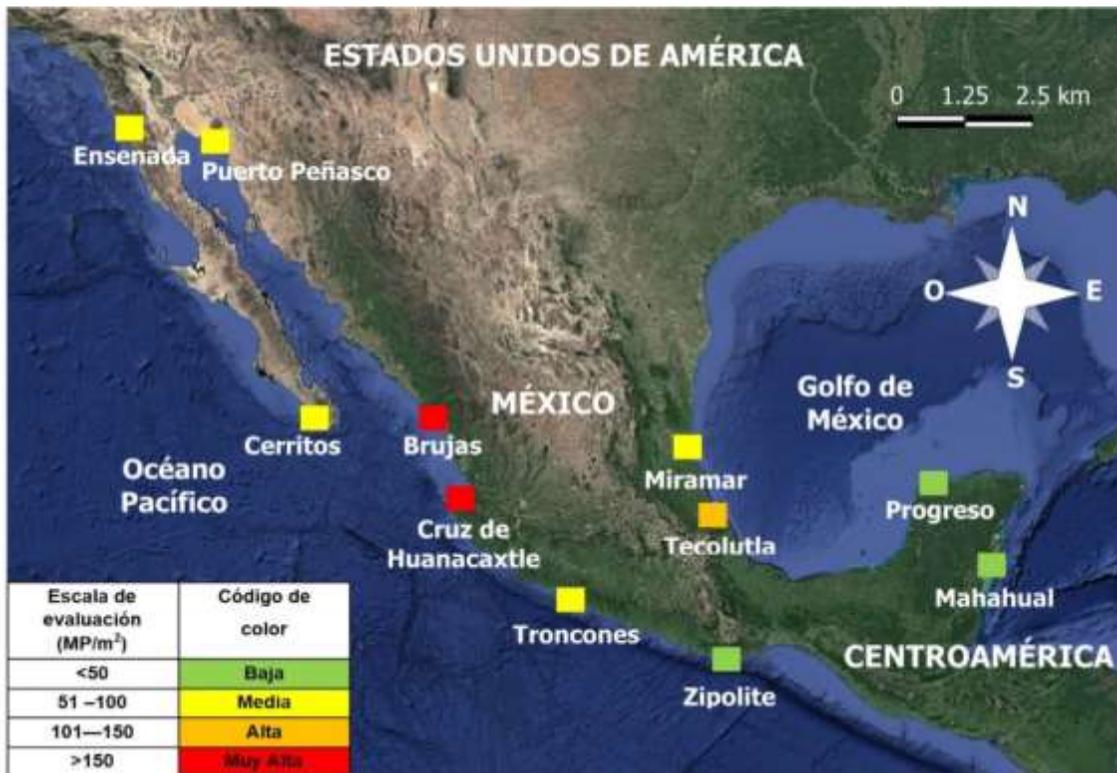


Figura 95 Concentraciones de microplásticos global

En cuanto a la clasificación de microplásticos por tipo, el 8 % fueron primarios, los cuales se encontraron en mayor proporción en la primera campaña y correspondieron a pellets y balines (usados como juguetes), mientras que los plásticos secundarios representaron el 92 % (Figura 96).

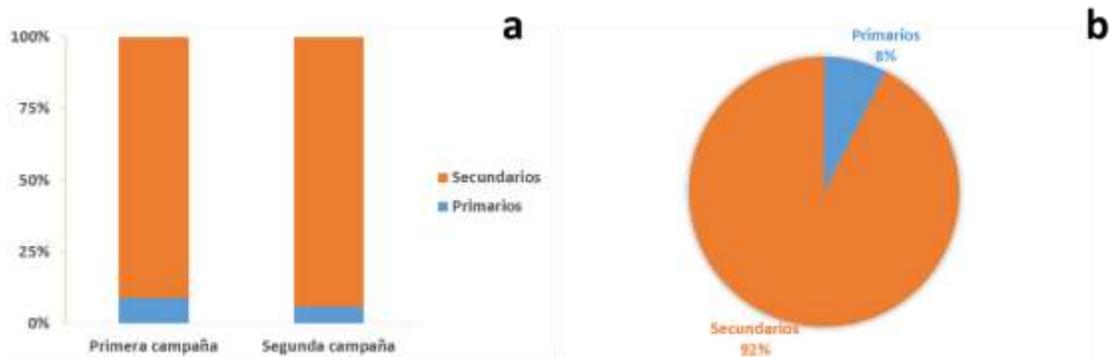


Figura 96 Clasificación de microplásticos por tipo en términos de piezas (n = 1419). Global a) por campaña; b) proporción

Por otro lado, en la clasificación por forma, los fragmentos representaron el 48 %, seguido de los espumados con un 23 %, y las fibras un valor de 11 % (Figura 97). En la primera campaña se encontró mayor proporción de fragmentos (50 %) y película (13 %) mientras que para la segunda campaña las fibras aumentaron un 10 % y el espumado 4 %.



Figura 97 Clasificación de microplásticos por forma en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción

En la Figura 98 se presenta la clasificación por color, el blanco presentó el valor más alto con un 25 %, seguido del azul con un 17 %, amarillo con 15 % y verde 14 %.

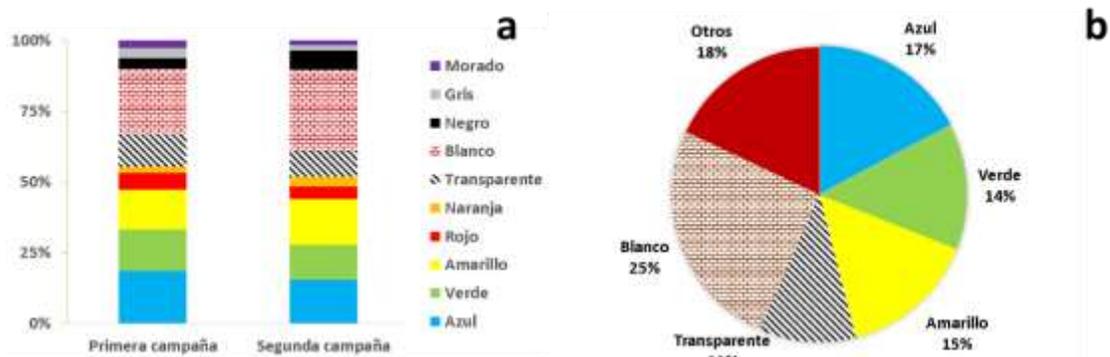


Figura 98 Clasificación de microplásticos por color en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción

En cuanto al tamaño, el intervalo más alto fue el de 4.1 – 5.0 mm el cual representó el 31 %, posteriormente le siguieron los intervalos de 0.5 -1.0 y 1.1 y 2.0 mm con un 19 y 18 %, respectivamente (Figura 99). Los resultados anteriores son relevantes ya que existe la posibilidad de que al haber MP en el intervalo de 0.5 – 5.0 mm, también los haya en menores tamaños.

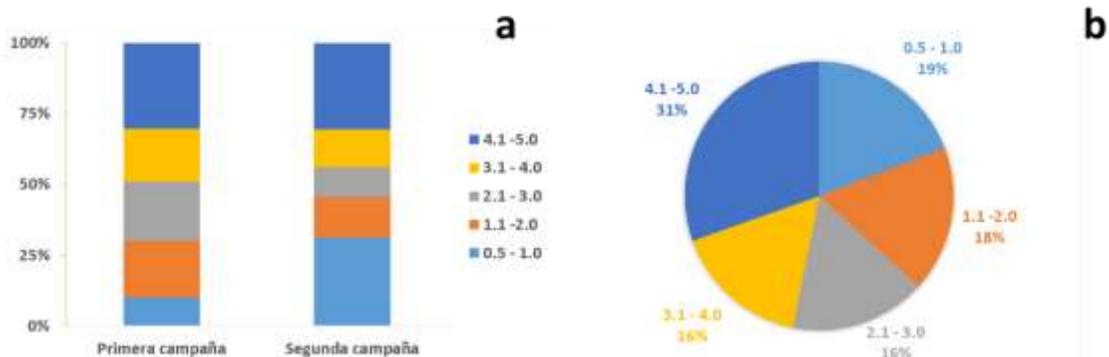


Figura 99 Clasificación de microplásticos por tamaño en términos de piezas (n = 1,419). Global a) por campaña; b) proporción

En la Figura 100 se presentan los resultados para la composición química, el polietileno presentó el valor más alto (52 %), en segundo lugar, se encontró el poliestireno con un valor de 20 % y en la tercera posición se ubicó el propileno con un 15 %. La suma de las poliolefinas (PE y PP) fue de 67 %, mientras que la de los plásticos espumados (PS y PU) representó un 27 %.

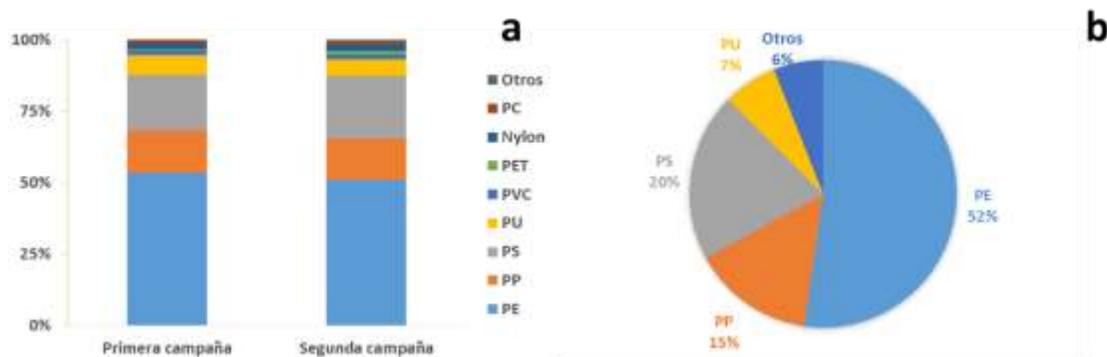


Figura 100 Clasificación de microplásticos por composición química en términos de piezas (n = 1,180). Global a) por campaña; b) proporción

4.5.4 Análisis estadístico de los factores que inciden en la presencia de microplásticos

La presencia de microplásticos en playas varía ampliamente debido a diversos factores, como la proximidad de los asentamientos urbanos, las actividades recreativas que se llevan a cabo, las corrientes locales, regionales y oceánicas (Barnes *et al.*, 2009).

Análisis por localización en los océanos

En la Figura 101 se presenta el análisis estadístico por Océano, los resultados demuestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellos ($p = 0.000$), siendo el Océano Pacífico el que presentó la mayor concentración con una mediana de 70.4 MP/m^2 , un valor medio de $145.2 \pm 181.5 \text{ MP/m}^2$, un intervalo de $0.0 - 1056.3 \text{ MP/m}^2$ y una mayor variabilidad 125.0% , mientras que para el caso del Atlántico se obtuvo una mediana de 35.2 y un valor medio de $70.7 \pm 73.2 \text{ MP/m}^2$ ($0.0 - 281.7 \text{ MP/m}^2$).

En el caso del océano Atlántico, las costas mexicanas se ven influenciada por la corriente marina Ecuatorial del Atlántico Norte, la cual afecta en gran medida la región marina del Mar Caribe (NOAA, 2017b), afecta en primera instancia la parte baja de Quintana Roo (Mahahual) y a medida que asciende al Golfo de México, pierde fuerza. Mientras que para el Océano Pacífico se consideran dos corrientes globales, la de California que se distribuye a lo largo de los estados de

Baja California y Baja California Sur, y la corriente Ecuatorial del Pacífico que afecta principalmente a los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero (NOAA, 2017b).

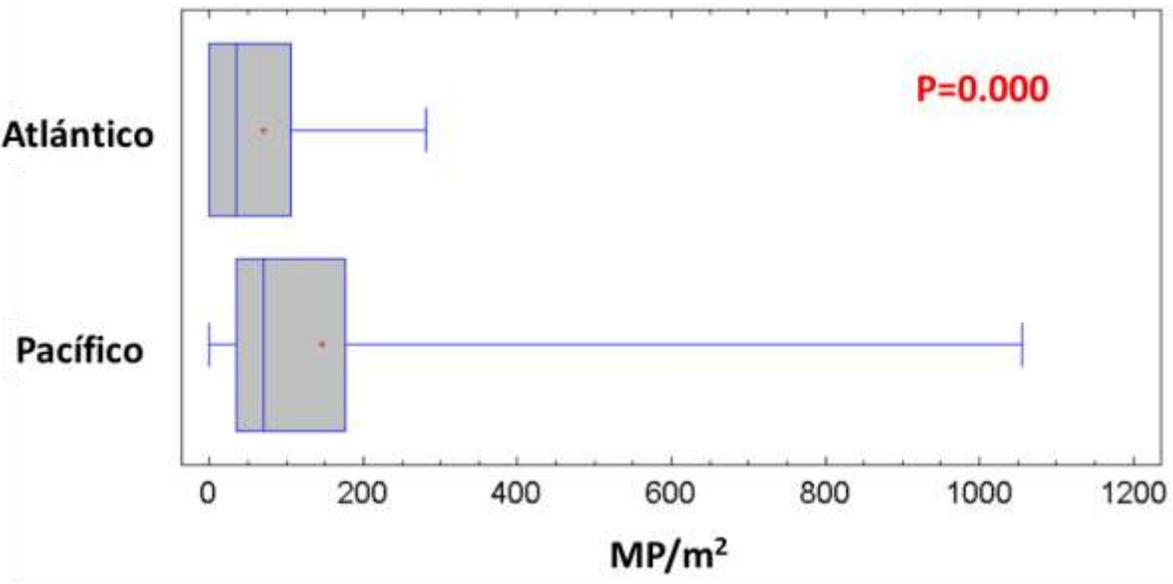


Figura 101. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: Océano Atlántico y Pacífico

Análisis por región marina

El análisis estadístico para las regiones marinas se presenta en la Figura 102, se observa que debido a que el valor p fue menor a 0.05 existen diferencias estadísticamente significativas entre las regiones marinas, formándose tres grupos. El primero lo conforma la región marina de Golfo de California y presentó la mediana más alta 176.1 MP/m^2 , un valor medio de $250.6 \pm 229.0 \text{ MP/m}^2$, un intervalo de $0.0 - 1056.3$ y un coeficiente de variación del 91.4 %. El segundo grupo está integrado por las regiones marinas del Golfo de México ($93.3 \pm 79.3 \text{ MP/m}^2$) y Pacífico Noreste ($85.4 \pm 75.5 \text{ MP/m}^2$) ambas regiones con una mediana de 70.4 MP/m^2 y el último grupo se integró por las regiones marinas de Mar Caribe ($34.5 \pm 42.6 \text{ MP/m}^2$) y Pacífico Tropical ($47.1 \pm 39.9 \text{ MP/m}^2$) con una mediana de 35.2 MP/m^2 .

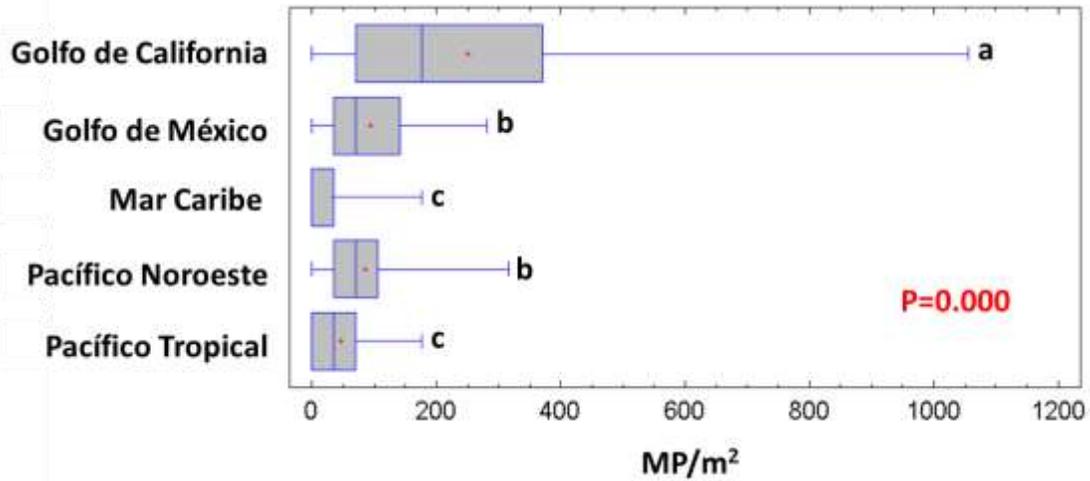


Figura 102. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: regiones marinas

El Golfo de California es un mar largo y estrecho (1,000 km de longitud y 150 de ancho) parcialmente cerrado, con zonas propicias para la formación de remolinos de gran tamaño y complejidad, uno de ellos se encuentra en la entrada al golfo (zona triangular entre los municipios de los Cabos, Mazatlán y Cabo corrientes) y se forma debido a la confluencia de tres corrientes (Golfo de California, Mexicana y Norecuatorial) (Wilkinson *et al.*, 2009). Este podría ser un fenómeno que podría incidir en las altas concentraciones de residuos y microplásticos encontradas en las playas de Cruz de Huanacastle y Brujas (Figura 103).

Por otra parte, al norte de la región se tiene la corriente Giros del Alto Golfo (Lanza, 2004), debido a los valores extremos de temperaturas, los vientos estacionales y los intervalos de salinidad (SEMARNAT, 2007) se presenta el fenómeno de giros estacionales, lo que podría provocar una acumulación de residuos y microplásticos en esta zona, además de los generados por actividades recreativas en playas como en el caso de Puerto Peñasco.

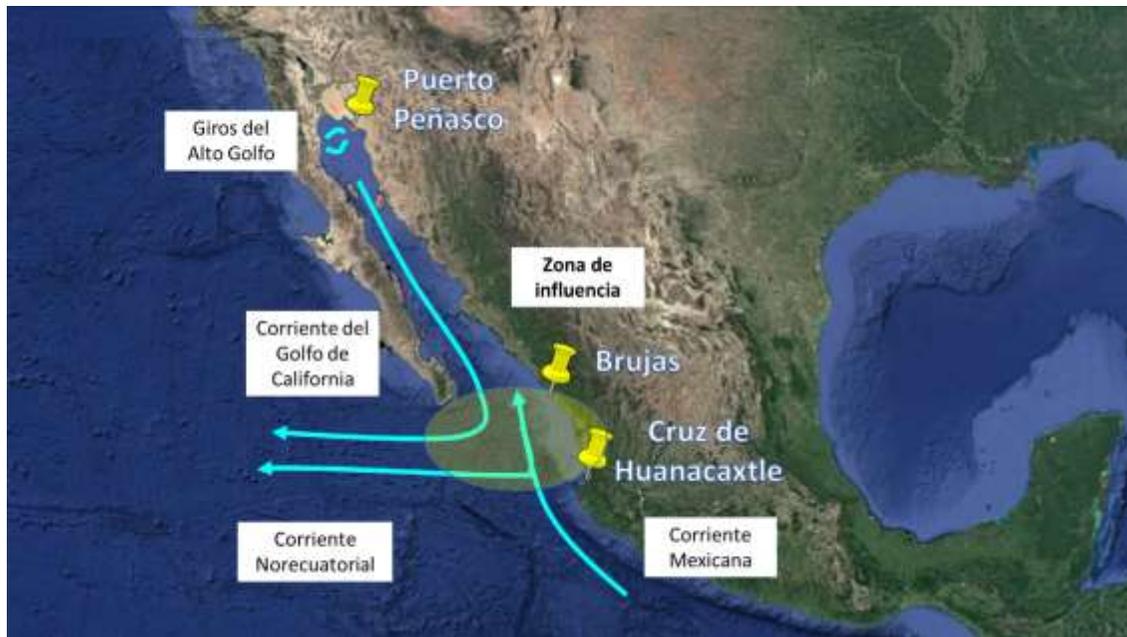


Figura 103 Corrientes marinas del Golfo de California

Las playas del Golfo de México (Miramar y Tecolutla) están influenciadas por dos corrientes marinas (El Lazo y giro anticiclón de Tamaulipas) (Wilkinson *et al.*, 2009), la corriente del Lazo podrían transportar residuos y microplásticos desde el estado de Yucatán, Campeche y Tabasco hacía las playas de Veracruz y Tamaulipas.

Por otra parte, el anticiclón podría propiciar la deposición de residuos y microplásticos en las playas al sur de Tamaulipas y norte de Veracruz, estos residuos y MP podrían generarse al norte del estado de Tamaulipas y de las localidades sureñas del estado de Texas en los Estados Unidos (Figura 104).



Figura 104 Corrientes marinas del Golfo de México

En el caso de la región marina de Pacífico Noroeste, la corriente de California es la más importante, fluye del norte de los Estados Unidos al sur de México, transportando aguas relativamente frías y ricas en nutrientes (Wilkinson *et al.*, 2009), debido a lo anterior, podría existir la posibilidad de que algunos residuos y MP también sean traídos y depositados en las playas de los estados de Baja California y Baja California Sur (Figura 105).

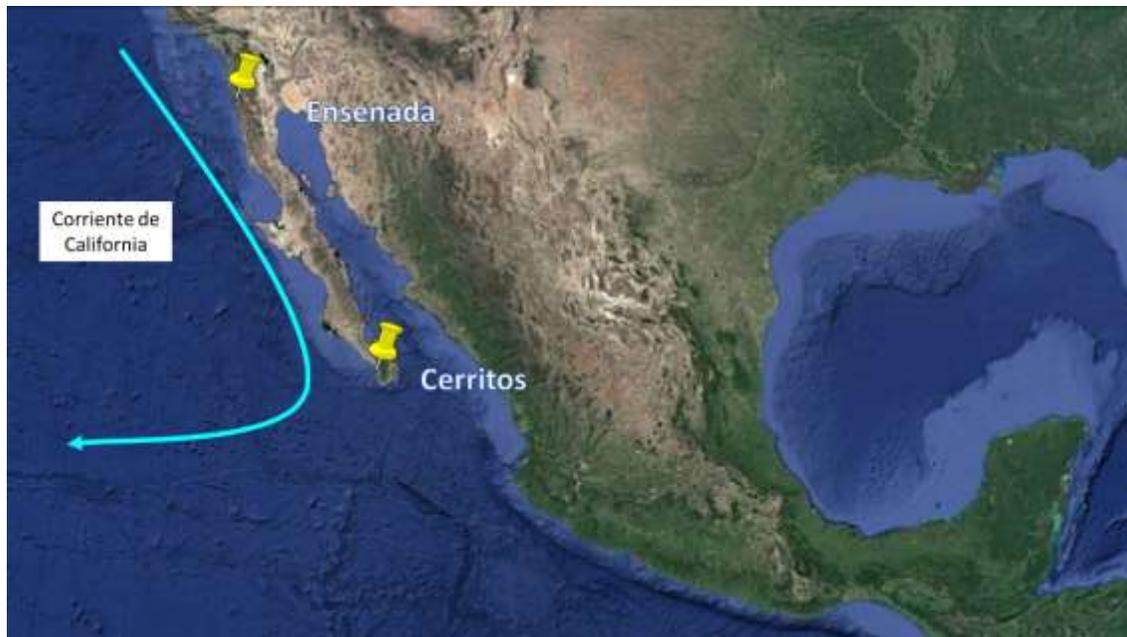


Figura 105 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste

En la Figura 106 se representa la corriente Mexicana que incide directamente en la región marina del Pacífico Tropical, esta corriente surge en las aguas de Costa Rica y termina justo a la entrada del Golfo de California (Wilkinson *et al.*, 2009). Algunos residuos y MP podrían ser originados y transportados de países como Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala ser depositado en las playas mexicanas, como en el caso de la Figura 107.



Figura 106 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste



Figura 107 Botella de Guatemala, localizada en playa Troncones, Guerrero

La corriente del Caribe es la dominante en la región marina con el mismo nombre (Figura 108), surge al norte de Brasil y posteriormente se desplaza por los países de Guyana Francesa, Surinam, Guyana y Venezuela, posteriormente entra en la zona de las Islas de Caribe y culmina en Campeche (CONABIO - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2006),

por lo que, un porcentaje de los residuos y MP encontrados en playas del Quintana Roo y Campeche podría ser de origen internacional como se observa en la Figura 109.

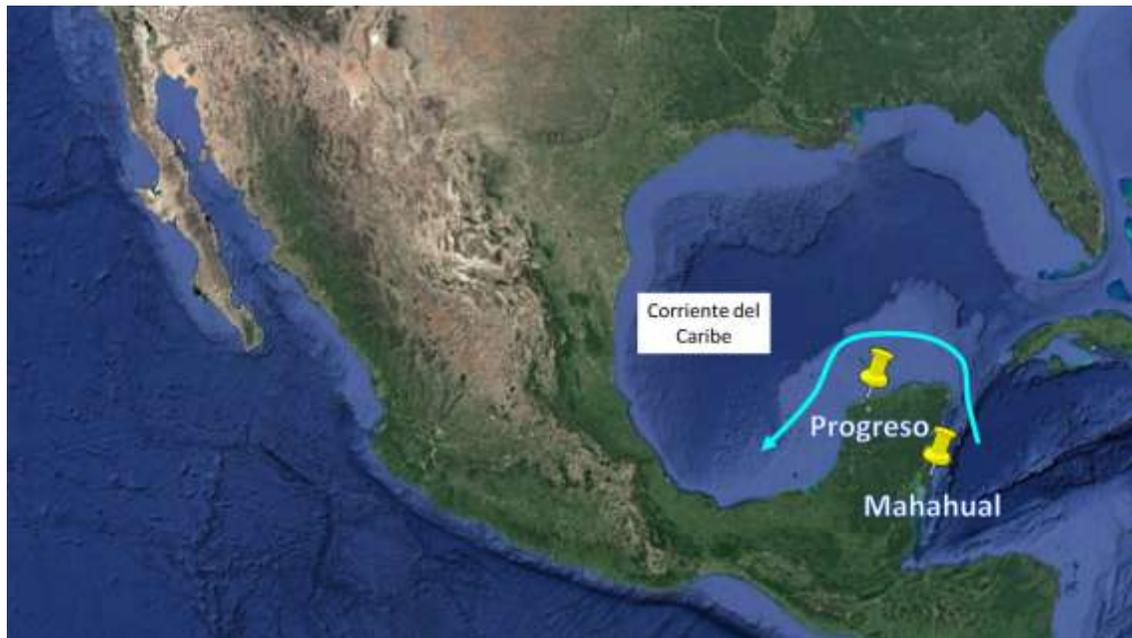


Figura 108 Corriente de la región marina del Pacífico Noroeste



Figura 109 Residuos de botellas internacionales recolectados en Mahahual, Quitana Roo. a) Surinam, b) Haití, c-d) Jamaica

Análisis por campaña de muestreo

En la Figura 110 se presenta el análisis estadístico de las campañas de muestreo, los resultados demostraron que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ellas, es decir que en ambos años la presencia de microplásticos presentó similitudes en cuanto a las concentraciones, sin embargo, al analizar el gráfico para la primera campaña, se observa que existen una mayor desviación con respecto a la segunda campaña, lo anterior se debió al evento de alta energía Bud, el cual afectó las playas de Brujas y Cruz de Huanacastle. Los eventos de alta energía producen dos efectos desde el punto de vista técnico (MARN, 2020), el primero es un efecto directo y se presenta cuando una región específica es afectada por vientos, lluvias y rejadas, como lo sucedido en playa Brujas, mientras que el efecto indirecto solo incluye lluvias y este se presentó en la playa Cruz de Huanacastle.

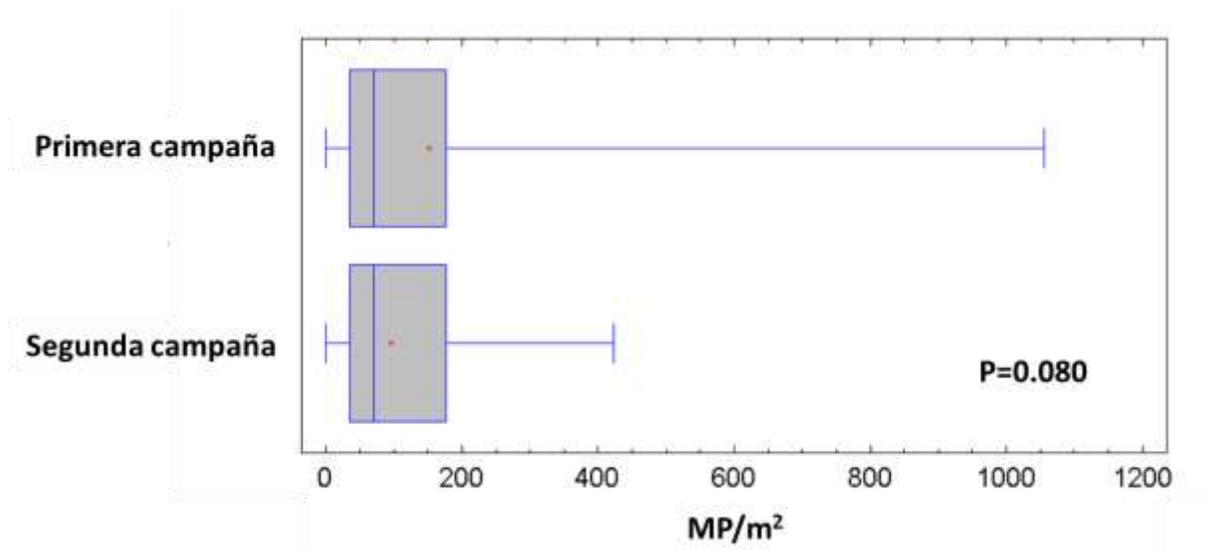


Figura 110. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: primera y segunda campaña

Análisis por día de la semana

En la Figura 111 se presenta el análisis estadístico de la presencia por día, los resultados muestran que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellos.

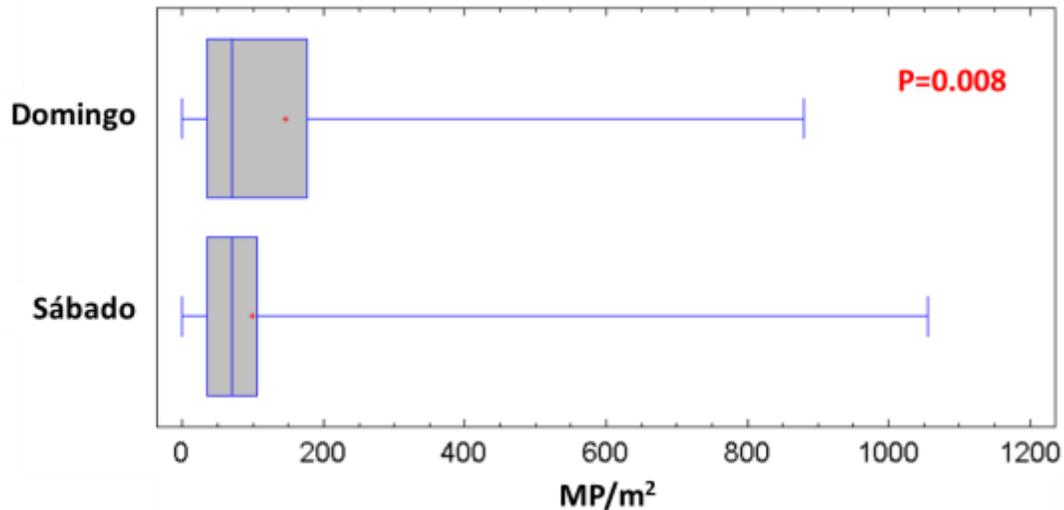


Figura 111. Análisis estadístico con un 95 % de significancia. Factores: sábado y domingo

La afluencia de turistas los fines de semana es considerable de acuerdo a lo observado durante las campañas de muestreo, lo que implica que los hospedajes de la zona (hoteles, casas, entre otros) requieren más agua potable para su servicio, generando una mayor descarga de agua residual, la cual podría arrastrar los residuos que estén remanentes en los drenajes o en las riberas de los ríos al cual van a dar y posteriormente incorporarse al mar.

Otra hipótesis, es la venta de alimentos en recipientes de unicel, ya que la generación de MP de poliestireno aumentó en promedio global para ambas campañas un 40 % de sábado a domingo, aunque no resulta claro a que se deba el aumento de MP porque un residuo de poliestireno no se fragmentara en un solo día debido a los factores bióticos y abióticos, quizás se deba más al desgaste mecánico que se tiene al usarlos, por ejemplo, el arrastrar hieleras de ese material. La presencia de balines probablemente se debe a las actividades recreativas en las playas (Figura 122).



Figura 112. Izquierda) Hielera de unicel fragmentada. Derecha) Balines de plástico utilizados como municiones

Análisis por playa

El comportamiento de las playas presentó diferencias estadísticamente significativas con un valor $p = 0.000$, se establecieron cuatro grupos: las playas de los dos primeros grupos pertenecen a la región marina de Golfo de California (Bruja y Cruz de Huanacastle), posteriormente en el siguiente grupo se encuentra playa Ensenada y Tecolutla, el resto de las playas corresponden al cuarto grupo (Figura 113).

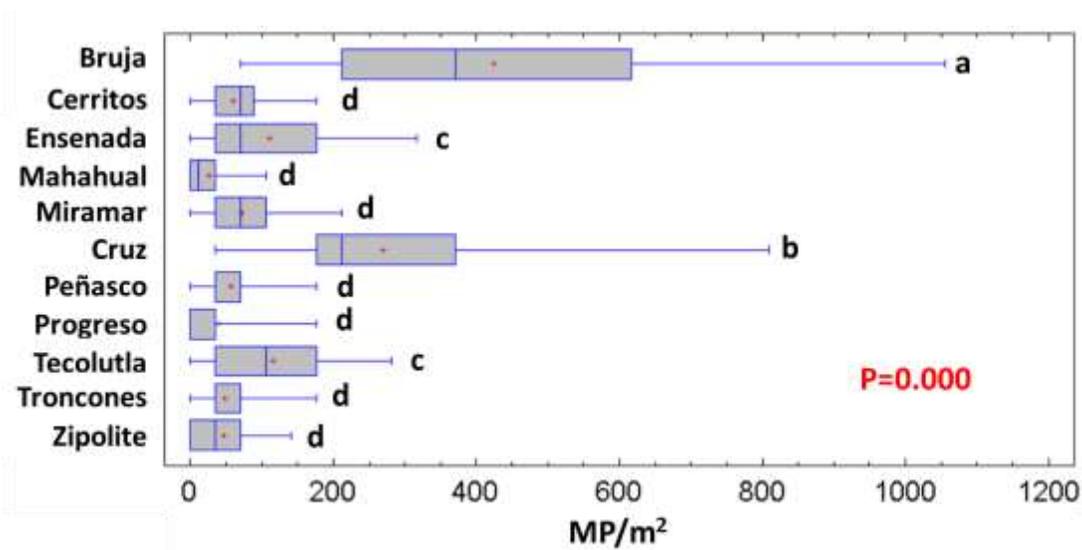


Figura 113. Análisis estadístico con un 95% de significancia. Factores: playas (11)

El tipo de plásticos (fragmento, película, espumado, fibra, pellets y balines), composición química, actividades recreativas de las playas y las características geográficas, permiten establecer posibles hipótesis de los orígenes de los MP en las playas.

En el caso de las playas de Bruja y Cruz de Huanacastle, presentaron los valores de mediana más altos. Ambas playas se localizan en la región Marina del Golfo de California, en la zona de influencia de la intersección de tres corrientes marinas: corriente Mexicana, la del Golfo de California y la Norecuatorial.

La playa Bruja se ve influenciada por los esteros de Escopama, el Yugo y la Marina, así como de un puerto marítimo, sitios en los que regularmente se acumulan residuos y microplásticos productos de las actividades que directamente se lleven a cabo (pesca, mantenimiento a embarcaciones), y posteriormente en eventos de alta energía pueden ingresar al mar, lo anterior se podría demostrar con el comportamiento que sucedió durante el estudio. La presencia de pellets indica que éstos provienen de puertos comerciales como el de Mazatlán ubicado a 15 km al sur de la playa de estudio, los cuales son transportados por corrientes marinas, además, es muy posible que si los pellets son traídos también lo hagan otro tipo de MP.

La playa Cruz de Huanacastle presentó un comportamiento similar en cuanto al aumento de las concentraciones de MP por eventos de alta energía acompañados, ya que en la primera campaña se presentó un valor más alto, mientras que en la segunda campaña se presentó un decremento. La alta incidencia de fibras y espumados (poliuretano) podrían estar asociados al puerto marítimo a menos de 1 km de la zona de muestreo, por otra parte, la playa presentó un índice de gestión de residuos bajo, por lo cual cabría la posibilidad de que los residuos mal dispuestos permanezcan a la intemperie durante un periodo suficiente para que suceda la fragmentación. El puerto marítimo aledaño no es de uso comercial, sino recreativo, por lo que la presencia de pellets podría estar ligada al puerto mercantil de Vallarta.

Las playas del segundo grupo fueron Tecolutla y Ensenada, en el primer caso las fuentes de MP podrían deberse a la aportación por parte del río Tecolutla y los pellets, estos podrían ser generados en el puerto comercial de Tuxpan y posteriormente ser llevado por corrientes marinas.

Para Ensenada se observó un incremento de 2.5 veces de 2018 a 2019, lo anterior se podría explicar debido a un factor social que no se había documentado, el cual fue el movimiento de las caravanas migrantes que partieron desde Centroamérica con la finalidad de llegar a los Estados Unidos (SSPC, 2019), algunos de los centroamericanos que no lograron cruzar la frontera se desplazaron hacia el sur con la finalidad de conseguir empleo, para la cual realizaron campamentos en la playa de estudio.

En el tercer grupo, lo conforman el 63.6 % de las playas (siete playas), cada una tiene una al igual que las anteriores cada una presenta peculiaridades que podrían tener efecto en la presencia de microplásticos.

En la Tabla 21 se presenta a modo de resumen lo presentado en esta sección los factores que inciden en la presencia de MP en las playas estudiadas.

Tabla 21. Factores que inciden en las playas estudiadas. Nivel de significancia: Alto ***, Medio ** y Bajo *

Playa	Desembocadura de río	Cuerpos de agua aledaños (esteros)	Puertos marítimos comerciales	Puertos marítimos recreativos y de pesca	Afluencia de turistas	Presencia de especies vegetales	Otros
Miramar	***	*	**	*	***		
Tecolutla	***	*		**	***		
Progreso		*		***	***	**	
Mahahual				**	*	***	Corriente marina
Zipolite				*	*		Corriente marina
Troncones				**	*		Corriente marina
Cruz de Huanacastle				***	***		Evento alta energía
Brujas		***	*	**	**		Evento alta energía
Peñasco				**	***		
Ensenada			***	**	**		Migrantes
Cerritos					*		Corriente marina

Análisis multivariado: indicadores, microplásticos, residuos, residuos sólidos urbanos y fragmentos

No existió correlación entre los indicadores evaluados y las concentraciones de microplásticos (MP), residuos sólidos urbanos (RSU) y fragmentos (FRA), contrario a lo descrito por Cruz-Salas en el 2020, quien encontró una correlación entre la urbanización y las concentraciones de MP, RSU y FRA. Lo anterior se podría deber al número de playas estudiadas (5) y a la cantidad de muestreos realizados (1), lo que podría subestimar la incidencia de factores como la temporalidad.

Se realizó un análisis multivariado de microplásticos (MP), residuos (RES), residuos sólidos urbanos (RSU) y fragmentos (FRA). En la Tabla 22 se presenta el valor p el cual prueba la significancia estadística análisis de las correlaciones estimadas, valor p menores a 0.05 indican correlaciones significativas entre las variables con un intervalo de confianza del 95 %. Tomando como referencia las concentraciones de microplásticos en la primera y segunda campaña y el

valor global, se observa que existe una relación significativa entre los residuos (RSU + FRA) y los fragmentos (FRA).

Tabla 22 Análisis multivariado. Nomenclatura: primera campaña (1), segunda campaña (2), Global (Glo), microplásticos (MP), residuos (RES), residuos sólidos urbanos (RSU), fragemntos (FRA)

	1 MP	2 MP	Glo MP	1 Res	2 Res	Glo Res	1 RSU	2 RSU	Glo RSU	1 FRA	2 FRA	Glo FRA
1 MP		0.0057	0.0000	0.0050	0.1539	0.0191	0.0857	0.3109	0.1491	0.0358	0.0508	0.0291
2 MP	0.0057		0.0022	0.0138	0.0612	0.0186	0.0605	0.1031	0.0680	0.0337	0.0503	0.0278
Glo MP	0.0000	0.0022		0.0082	0.1511	0.0238	0.1040	0.2809	0.1548	0.0474	0.0647	0.0397
1 Res	0.0050	0.0138	0.0082		0.0011	0.0000	0.0000	0.0084	0.0004	0.0000	0.0003	0.0000
2 Res	0.1539	0.0612	0.1511	0.0011		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044	0.0001	0.0006
Glo Res	0.0191	0.0186	0.0238	0.0000	0.0000		0.0000	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1 RSU	0.0857	0.0605	0.1040	0.0000	0.0000	0.0000		0.0002	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000
2 RSU	0.3109	0.1031	0.2809	0.0084	0.0000	0.0008	0.0002		0.0000	0.0150	0.0053	0.0061
Glo RSU	0.1491	0.0680	0.1548	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		0.0009	0.0007	0.0002
1 FRA	0.0358	0.0337	0.0474	0.0000	0.0044	0.0000	0.0001	0.0150	0.0009		0.0034	0.0000
2 FRA	0.0508	0.0503	0.0647	0.0003	0.0001	0.0000	0.0003	0.0053	0.0007	0.0034		0.0001
Glo FRA	0.0291	0.0278	0.0397	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000	0.0061	0.0002	0.0000	0.0001	

En la Figura 114 se presenta dos regresiones simples, en la primera se presenta el ajuste entre las concentraciones de microplásticos y residuos con un valor p de 0.003 lo cual indica que existe una relación moderadamente fuerte entre las variables y un valor R^2 que indica que el modelo ajustado explica 64.2 % de la variabilidad de los MP.

En el análisis entre microplásticos y fragmentos se presentó un valor p de 0.0297 y una relación moderadamente fuerte, en cuanto al valor de R^2 este fue menor que para el caso anterior (42.5 %).

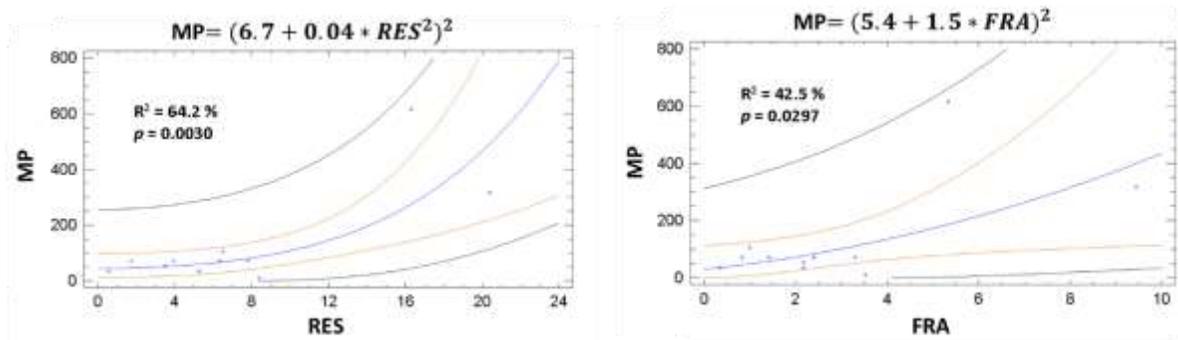


Figura 114 Regresiones simples Izquierdo microplásticos (MP) y residuos (RES) y derecho microplásticos (MP) y fragmentos (FRA), para la primera campaña.

Con respecto a la segunda campaña las relaciones existentes entre las variables de estudio (MP, RES y FRA) fueron nuevamente moderadamente fuertes, sin embargo, los valores de R^2 invirtieron su orden, es decir, el modelo propuesto para la relación MP y RES explicó solamente el 38.8 % de la variabilidad, mientras que para la primera campaña se obtuvo un valor de 64.2 %, caso contrario a lo obtenido para la relación MP y FRA en la primera campaña se presentó un 42.5 % mientras que para la segunda el valor fue de 52.3 % (Figura 115).

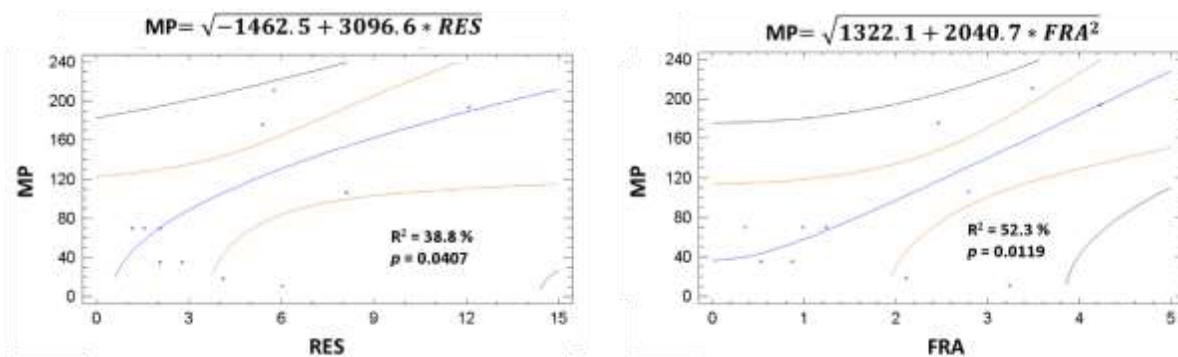


Figura 115 Regresiones simples Izquierdo microplásticos y residuos y derecho microplásticos y fragmentos, para la segunda campaña.

Finalmente, el análisis global indicó la existencia de una relación moderadamente fuerte de las variables: MP, RES y FRA, y el modelo que mejor se ajustó en ambos casos fue lineal. La variabilidad es mejor explicada por el modelo de MP y RES con un 45.1 %, mientras que para la relación MP y FRA fue de 39.1 % (Figura 116).

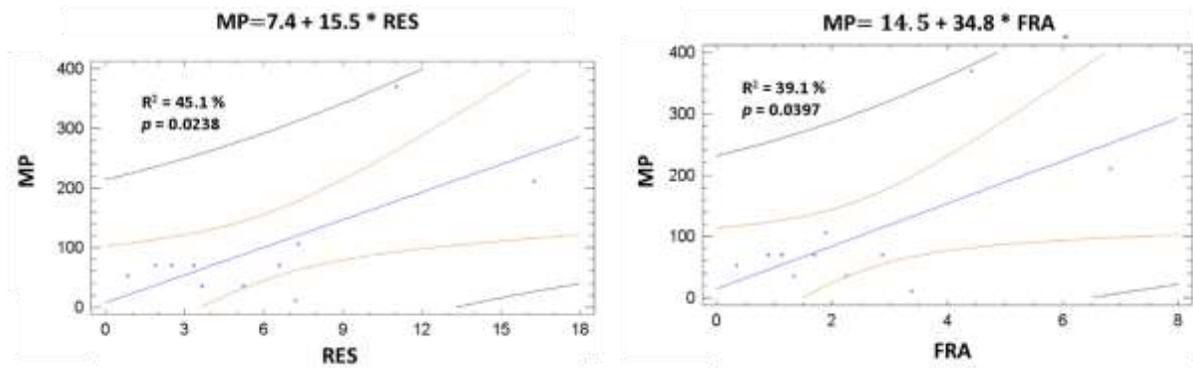


Figura 116 Regresiones simples Izquierdo microplásticos y residuos y derecho microplásticos y fragmentos, global

5 Discusión de resultados



*El secreto no es correr detrás de la mariposa...
es cuidar el jardín para que ellas vengan hacia ti.*

Mario Quintana

En el presente capítulo se retoman los resultados más relevantes, con la finalidad de discutirlos y compararlos con la literatura especializada. Está dividido en cuatro partes, la primera enfocada a la selección de las playas de estudio y la temporalidad de los muestreos, posteriormente la evaluación de indicadores, la tercera parte es enfocada a los residuos y la última a los microplásticos.

5.1.1 Selección de playas de estudio y temporalidad de muestreos

Se seleccionaron 11 playas con las cuales se cubrieron las cinco regiones del país, lo anterior es relevante debido a que al abarcar un mayor número de playas distribuidas en diferentes regiones marinas, se proporciona una perspectiva más amplia sobre los factores globales que inciden en la problemática (Andrades *et al.*, 2020). Sin embargo, también se debe considerar que cada playa presenta peculiaridades, las cuales deben ser estudiadas por separado con la finalidad de comprender las implicaciones locales (Piperagkas, Papageorgiou and Karakassis, 2019). Por otra parte, en una revisión de 130 estudios de residuos y microplásticos en playas se encontró que un 70 % se reporta sólo un muestreo, por lo que los datos obtenidos son limitados y deben de ser analizados con suma precaución (Schneider *et al.*, 2018).

En el presente estudio se llevaron a cabo dos campañas de muestreos, la primera fue entre los meses de abril a julio del 2018 y la segunda de marzo a junio del 2019, debido a esto, el muestreo de las playas se realizó en la misma temporada del año, por lo que el comportamiento de corrientes las marinas fue similar, salvo por el evento de alta energía presentado en la primera campaña en 2018. El realizar muestreos anuales y en estaciones similares, permite su estandarización y disminuye la variabilidad atribuida a éstos, además de que permite establecer patrones temporales sobre la presencia de residuos (F. Wu *et al.*, 2020) y determinar sus posibles orígenes (Silva *et al.*, 2015).

Otro aspecto a considerar es que hasta la fecha no se habían realizado estudios en donde los muestreos se llevarán a cabo en dos días consecutivos (sábado y domingo) los cuales comúnmente son los más concurridos en las playas. Por lo regular suelen realizarse en un solo día y no se menciona en cual, por lo que en el presente estudio se ha establecido un precedente, por

otra parte, resultó relevante estudiar las playas en ambos días, debido a que la concentración de residuos y microplásticos aumentó significativamente para el domingo, por lo que existe una implicación directa atribuible al turismo.

5.1.2 Evaluación de indicadores de calidad ambiental

Se encontró una correlación positiva entre la urbanización y el potencial recreativo, es decir, que a mayor urbanización existe una mayor diversificación de las actividades en las playas, lo que permite una mayor atracción al turismo y un mayor impacto ambiental (Barrios-Ramos and Castro-Castro, 2012). La relación anterior podría repercutir en la variedad de los tipos de residuos y microplásticos presentes en las playas (Nachite *et al.*, 2019), sin embargo, para el presente estudio sólo se evaluó la correlación de los indicadores respecto a las concentraciones de microplásticos y residuos, y no se analizó la diversidad de residuos y MP con los indicadores anteriormente mencionados.

Por otro lado, se encontró una correlación positiva entre la gestión de residuos en playa y la percepción de los usuarios, es decir, que los usuarios perciben cuando existe una mala gestión de residuos, lo cual coincide con un estudio realizado en la Bahía de Vizcaya en España (Rayon-Viña *et al.*, 2018).

Otro aspecto importante a considerar, es el tipo de residuos que más observan los usuarios en las playas, ya que el 74 % de las 330 personas encuestadas en este estudio, mencionó que los plásticos fueron los residuos más presentes en las playas, y sólo un 16 % mencionó a las colillas de cigarrillos siendo que éstas representaron una alta incidencia, lo anterior se relaciona con el daño estético que causan los plásticos, debido a lo voluminosos y coloridos que suelen ser (Tudor and Williams, 2003).

5.1.3 Presencia de residuos en playas

La metodología propuesta y descrita en el apartado 3.4.1 fue adecuada, debido a que cumplió los criterios necesarios para generar información sobre residuos en playas: replicabilidad en playas de arena, practicidad al llevarse a cabo y bajo costo, debido a que no requiere equipos o materiales especializados (OSPAR, 2010). Con respecto a la clasificación de residuos sólidos urbanos (RSU), se siguió una modificación a la clasificación propuesta por la UNEP (Cheshire *et al.*, 2009), ya que se consideró a los fragmentos por separado, debido a que éstos presentan una mayor permanencia en las playas por su tamaño ya que su recolección requiere más tiempo y esfuerzo (Eo *et al.*, 2018), es común que piezas en el intervalo de 2 – 25 mm sean ignoradas en las limpiezas y estudios de playas (Haseler *et al.*, 2019). La presencia de fragmentos debe ser estudiada debido a que se ha encontrado que existe una correlación positiva con respecto a la formación de los microplásticos (Cruz-Salas, 2020).

Para contextualizar los resultados de este estudio se realizó una búsqueda en la base de datos de ScienceDirect, se utilizaron las siguientes palabras claves: marine waste beaches, en el período de 2016 hasta la fecha, posteriormente se eligieron aquellos estudios en los cuales se reportaran las concentraciones de residuos en términos de número de piezas por área (piezas/m²), con la finalidad de compararlos con los resultados obtenidos en el presente estudio.

Se eligieron 15 artículos internacionales sobre residuos marinos en playas, los resultados se presentan en la Tabla 23, en donde se muestra, el número de playas, la concentración en términos de piezas por área, el tamaño mínimo de residuos para ser considerados en el estudio, los residuos más comunes y los factores involucrados en su presencia.

Tabla 23 Estudios internacionales de la presencia de residuos en playas

País y región	# playas	Concentración (piezas/m ²) Tamaño mínimo considerado (mm)	Residuos más comunes	Factores que inciden en la presencia de residuos	Referencias
México, todas las regiones marinas	11	0.14 > 5	53 % plásticos 22 % colillas de cigarrillos 10 % metales	Turismo Eventos de alta energía Corrientes marinas	Este estudio
Senegal, Oeste	2	48.75 > 5	97.6 % plásticos	Turismo Pesca	(Tavares <i>et al.</i> , 2020)
India, Kerala	6	0.14 > 25	74.0 % plásticos	Pesca	(Daniel, Thomas and Thomson, 2020)
Brasil, todas las regiones marinas	44	0.42 > 5	Plásticos Colillas de cigarrillo Papel	Cuerpos de agua aledaños	(Andrades <i>et al.</i> , 2020)
Albania, Bahías de Durres y Lalzi	5	3.3 > 25	47.1 % plásticos 23.0 % vidrio y cerámica 17.9 % colillas cigarrillos	Turismo	(Gjyli <i>et al.</i> , 2020)
China, Shilaoren Qingdao	1	5.8 > 30	56.7 % plásticos 14.4 % papel 7.4 % alimenticios	Turismo Pesca	(Pervez <i>et al.</i> , 2020)
España, Alicante	1	0.09 N.R.	83.0 % plásticos ¹ 7.1 % madera 2.9 % metal	Turismo Aguas residuales Pesca	(Asensio-Montesinos <i>et al.</i> , 2019)
Chile, Viña del Mar	1	0.34 N.R.	38.0 % colillas 32.0 % plásticos	Turismo	(Rangel-Buitrago <i>et al.</i> , 2019)
Filipinas, Luzón	1	0.66 N.R.	85.0 % plásticos	Turismo	(Paler <i>et al.</i> , 2019)
Brasil, Río de Janeiro	3	0.91 N.R.	57.9 % plásticos 24.3 % colillas	Turismo	(da Silva <i>et al.</i> , 2018)
Sri Lanka, nacional	22	4.1 > 5	96.0 % plásticos ¹ 1.9 % vidrio y cerámica	Desembocadura de ríos Cercanía ciudades Eventos de alta energía	(Jang <i>et al.</i> , 2018)
Colombia, Santa Marta	6	0.002 – 0.07 > 25	73.0 – 96.0 % plásticos ²	Turismo Morfología de la playa	(Rangel-Buitrago <i>et al.</i> , 2018)
Alemania, Islas de Rügen	4	.30 > 25	83 % plásticos 15 % colillas de cigarrillos	Turismo Morfología de la playa	(Hengstmann <i>et al.</i> , 2018)
Siete países de Europa, región Adriático-Jónica	31	0.67 > 25	91.1 % polímero sintéticos ¹ 3.2 % vidrio y cerámica	Turismo Pesca y acuicultura	(Vlachogianni <i>et al.</i> , 2018)
Israel, Jisr	3	0.51 >25	78.0 % plástico ¹ 5.6 % madera	Turismo	(Portman and Brennan, 2017)
España, Cádiz	20	N.R.	32.0 % plásticos 8.0 % envolturas de aluminio 8.0 % colillas cigarrillos	Turismo Aguas residuales Desembocadura de ríos Morfología de la playa	(Williams <i>et al.</i> , 2016)

¹incluyen colillas, ² no se incluyen colillas, N.M. No se reportó

El número de playas estudiadas se encontró en el intervalo de 1 – 44, con un promedio de 10, siendo en Brasil (2020) en donde se consideró el mayor número lo cual permitió cubrir todas las regiones marinas de ese país (Andrades *et al.*, 2020), en el presente estudio se analizaron 11 playas, distribuidas en las cinco regiones marinas del país, debido a que en México no se han reportado estudios de residuos en playas, los presentados en éste podrían considerarse como la línea base de residuos en playas de arena en el país. En cuanto al tamaño mínimo de residuo considerado en los estudios, el intervalo es amplio, ya que algunos estudios los consideran mayores a 5 mm (20 % de los estudios), sin embargo, el más recurrente fue mayor a los 30 mm (40 %). Considerar los residuos a partir de los 5 mm, como se realizó en el presente estudio, permite tener una apreciación más precisa de la situación actual de la playa en términos de contaminación por residuos (Marin *et al.*, 2019)

El valor promedio global de las concentraciones en esta investigación fue de 0.14 piezas/m² considerando piezas > 5 mm. Los estudios que contemplaron el mismo tamaño de residuos fueron llevados a cabo en Brasil, Sri Lanka y Senegal, en donde se presentaron valores de 0.42, 4.1 y 48.75 piezas/m² respectivamente, comparando el resultado con el obtenido en Brasil, se observa que éste fue tres veces menor, mientras que en el caso de los dos países restantes existe una diferencia muy significativa.

En todos los casos los residuos plásticos representaron el mayor porcentaje; sin embargo, en ocasiones dentro de esta categoría se contemplan a las colillas de cigarros debido a que están hechas de acetato de celulosa el cual es considerado un polímero sintético (Novotny *et al.*, 2009) cuya biodegradación ocurre de manera lenta (Benavente *et al.*, 2019). Los valores para la proporción de plásticos van desde el 32 % en Chile y España, hasta un 97.6 % reportado en Senegal; en el caso del presente estudio el valor fue del 53 %, por lo que el valor en México está por debajo del promedio (64.8 %). En cuanto a las colillas de cigarro los valores van desde el 8 % en España hasta un 38 % reportado en Chile, en este último caso el valor es superior al obtenido para los plásticos (32 %), en México se encontró un valor del 22 %, el cual es cercano al valor medio global de 23 %. Si se analizan los datos de la Tabla 23 se observa que los países latinoamericanos presentan porcentajes mayores comparándolos con los europeos, lo cual

podría deberse a que los turistas que visitan las playas europeas poseen un mayor grado de conciencia ambiental o bien a que la gestión de residuos es más eficiente.

Los factores de la incidencia de residuos en las playas son variados, sin embargo, de los 15 artículos seleccionados, el 80 % de ellos atribuye la presencia de residuos al turismo, en el presente estudio, el turismo representó también el factor más determinante, debido a que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los residuos recolectados en sábado y domingo. La influencia del turismo en la presencia de residuos en las playas se debe, en ocasiones, a una deficiente gestión de los mismos (Silva *et al.*, 2018) y una falta de concientización de los usuarios (Defeo *et al.*, 2009). En un estudio llevado a cabo en Cuba se observó que el turismo local es más descuidado con el manejo de sus residuos que los foráneos, además se observó que las playas que reciben turismo internacional poseen mejor manejo de residuos debido a razones económicas (Botero *et al.*, 2017). En el caso de México, en algunas playas los prestadores de servicios mencionaron un comportamiento similar, el cual fue atribuido a las percepciones por parte de los usuarios, que incluyen la idea de que la limpieza debe ser por parte de los prestadores de servicios, quienes son los que obtienen ganancias económicas, o bien el municipio debe encargarse de la limpieza de playas por los impuestos que recibe. Existe, en general, una falta de conciencia ambiental.

La educación ambiental es una de las posibles soluciones para disminuir la presencia de residuos marinos, esta aseveración fue realizada después de realizar un estudio comparativo de residuos en playas de Alemania y Chile, en el que los resultados demostraron que las playas alemanas presentaron menores concentraciones de residuos atribuibles a los turistas (Honorato-Zimmer *et al.*, 2019).

La pesca es el segundo factor, el cual fue mencionado en cinco de los estudios (33 %). Los resultados obtenidos para las once playas estudiadas en México no mostraron que la pesca haya sido un factor, de acuerdo a los tipos de residuos recolectados.

Dos factores que se identificaron como relevantes en México fueron los eventos de alta energía, los cuales también fueron mencionados en el estudio realizado en Sri Lanka (Hitchcock, 2020), y

las corrientes marinas, que también fueron identificadas como un factor relevante en dos estudios (Jang *et al.*, 2018; Asensio-Montesinos *et al.*, 2019). La importancia de este factor es debido a que se ha documentado que en algunas regiones el origen de los residuos en las playas difiere de la playa en estudio, ya que en ocasiones las corrientes marinas pueden trasladar residuos de otros países (Gündoğdu and Çevik, 2019).

Con respecto a los residuos recolectados en la zona 1 (debajo y en la pleamar) y zona 2 (encima de la pleamar), no se encontró ningún estudio que involucrará una clasificación similar, por lo cual los resultados obtenidos pueden servir de línea base para futuras investigaciones.

Para tener una mejor comprensión del origen de los residuos en las playas es necesario estudiarlas puntualmente haciendo énfasis en los factores sociales y oceanográficos del área de estudio (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2018), con lo cual se podría identificar las posibles fuentes de los residuos marinos para posteriormente establecer políticas públicas y decisiones administrativas adecuadas para resolver el problema (Honorato-Zimmer *et al.*, 2019).

5.1.4 Presencia de microplásticos

El estudio de microplásticos hoy en día ha cobrado notable relevancia debido a su omnipresencia en los ambientes marinos (Pirsaheb, Hossini and Makhdoumi, 2020), sin embargo, existe diversidad en las metodologías de toma de muestras y cuantificación de microplásticos (Metz, Koch and Lenz, 2020), que impide la comparación directa entre los resultados de distintos estudios (Besley *et al.*, 2017). Por tal motivo se desarrollaron dos metodologías, la primera se utilizó para el muestreo en playas de arena, mientras que la segunda se enfocó en la extracción e identificación de microplásticos en laboratorio. Después de utilizarlas en 44 ocasiones (4 veces por playa) se considera que ambas son sistemáticas, prácticas, reproducibles y de bajo costo, por lo que permite se pueden considerar como válidas para el estudio de microplásticos en playas (Metz, Koch and Lenz, 2020).

Para la discusión de resultados, se consultaron artículos obtenidos de la base de datos de ScinceDirect, utilizando los siguientes criterios de búsqueda: palabras clave “microplastics” y “beaches”, que fueran artículos de investigación, dentro del período de 2018 – 2020, que reportaran datos de profundidad de la toma muestras, así como el intervalo de detección de MP.

En la Tabla 24 se presenta las características de los estudios. En primera instancia se tiene el número de playas estudiadas, el cual comprende el intervalo de 1 – 21 playas, mientras que en el presente estudio se eligieron 11 playas. Algo novedoso fue que en sólo un artículo se realizaron muestreos en dos ocasiones (Joana C. Prata *et al.*, 2020), mientras que en el presente estudio se realizaron cuatro muestreos en cada playa, lo que permite la identificación de patrones por día y anuales en la presencia de microplásticos, variaciones atribuidas a eventos únicos como tormentas tropicales y diferencias entre los tipos de MP, por ejemplo, el aumento de balines o MP espumados de sábado a domingo, por mencionar algunos.

La profundidad a la cual se llevaron a cabo los muestreos varía desde 1 hasta 5 cm. El 50 % de los estudios analizados realizaron el muestreo a una profundidad de 5 cm, al igual que en el presente estudio. En un estudio llevado a cabo en playas de Grecia, se comprobó estadísticamente que el realizar el muestreo a una profundidad de 5 cm en la línea pleamar valida correctamente la presencia de MP (Piperagkas, Papageorgiou and Karakassis, 2019).

Dependiendo de la técnica usada para la identificación de MP, se pueden reportar partículas de tamaños más pequeños, esto tiene repercusión directa al comparar los resultados entre los estudios, ya que si no se consideran tamaños dentro de un mismo intervalo las comparaciones directas no son posibles. En los estudios seleccionados, el intervalo de 0.5 – 5 mm fue el más común (50 %), seguido del intervalo 1 – 5 mm (30 %); debido a que el presente estudio coincidió con el primer intervalo, se procedió a compararlos. Las concentraciones reportadas encontradas en México de 151.7 en 2018 y 95.5 MP/m² en 2019, son menores a las reportadas en Guatemala (279 MP/m²), sin embargo, mayores a los de la India (25 – 83 MP/m²). Aunque si se comparan con los valores reportados en Nigeria (3424 MP/m²) y el valor máximo en Corea del Sur (2088 MP/m²), los resultados son inferiores en orden de magnitud.

Tabla 24 Estudios internacionales de la presencia de microplásticos en playas

País y localidad	# playas	Profundidad (cm)	Intervalo (mm)	MP/m ²	Clasificaciones	Referencias
México. Regiones marinas	11	5	0.5 - 5	151.7 Primera campaña 95.5 Segunda campaña	48 % Fragmentos 23 % Espumados 11 % Fibras 25 % Blancos 17 % Azul 52 % PE 20 % PS 15 % PP	Este estudio
Guatemala, Quetzalito	1	1	1 - 5	279	65 % Espumados 21 % Fragmentos 67 % PS 26 % PP 7 % PE	(Mazariegos-Ortiz <i>et al.</i> , 2020)
Portugal, Aveiro	1	2	< 5	3 – 6 temporad a húmeda < 1 temporad a seca	72.2 % Pellets 62 % Blancos 11 % Transparentes 9 % Amarillos 69 % PE 26 % PP 2 % PS	(Joana C. Prata <i>et al.</i> , 2020)
India, Tuticorin	8	3	0.5 - 5	25 – 83	1 Películas 2 Fragmentos 3 Espumados 59 % Blancos 36 % Azules 14 % Negros 34 % PE	(Jeyasanta <i>et al.</i> , 2020)
E.U. Virginia y Calorina del Norte	4	5	0.5 - 5	N.D.	94 % Fibras PE, PP y PET	(Dodson <i>et al.</i> , 2020)

Tabla 24 Estudios internacionales de la presencia de microplásticos en playas. Continuación

India, Bahía de Bengala	1	3	> 2 mm	N.D.	82 % Fragmentos 44 % Blancos 79 % PVC 14 % PE	(Vidyasakar <i>et al.</i> , 2020)
China, Jinjiang	1	3	0.038 - 5	N.D.	69 % Fibras 15 % Películas 12 % Fragmentos 48 % Transparentes 25 % Blancos 15 % Azules PE, PP y PET	(Deng <i>et al.</i> , 2020)
China, Hangzhou	7	5	N.D.	N.D.	60 % Fibras 50 % Rayón 17 % PE 15 % PP 8. % PET	(Wang <i>et al.</i> , 2020)
Taiwán, Península Hengchun	8	5	0.5 - 5	N.D.	97 % Fibras 57 % Blancos y transparentes 25 % Negros 12 % Azules	(Chen and Chen, 2020)
Nigeria, Golfo de Guinea	10	2	1 – 5	3424	58 % Fragmentos 33 % Espumados 5% Pellets PE > PS > PP	(Fred-Ahmadu, Ayejuyo and Benson, 2020)
Polonia, Sur del Báltico	12	5	N.D.	N.D.	Fibras > Fragmentos	(Urban-Malinga <i>et al.</i> , 2020)
Antillas Menores	21	5	0.5 - 5	N.D.	> 97 % Fibras	(Bosker, Guaita and Behrens, 2018)
Corea del Sur, todas las regiones marinas	20	2.5	1 – 5	0 – 2088	95 % PS 3 % PE 2 % PP	(Eo <i>et al.</i> , 2018)

La forma de MP más abundante en México fue la compuesta por fragmentos, con un 48 %, lo cual coincidió con lo reportado en los estudios realizados en Nigeria e India con valores de 58 y 82 %, respectivamente (Fred-Ahmadu, Ayejuyo and Benson, 2020; Vidyasakar *et al.*, 2020). Sin embargo, en el 50 % de los estudios analizados, las fibras fueron las más abundantes presentando valores en el intervalo del 60 – 97 %, en el caso de México las fibras ocuparon la tercera posición con un 11 %, mientras que los espumados presentaron un valor de 23 %.

En algunas playas se observó que la forma de los microplásticos poco comunes por ejemplo, en la playa de Aveiro Portugal se reportó que el 72.2 % de los microplásticos fueron pellets (Joana C. Prata *et al.*, 2020), los cuales fueron asociados a la mala práctica en los puertos marítimos y al posterior arrastre ocasionados por las lluvias, mientras que en Guatemala los MP espumados representaron el 65 % (Mazariegos-Ortíz *et al.*, 2020). Lo anterior permite suponer que la forma de los microplásticos puede variar significativamente entre estudios y en ocasiones está gobernada por eventos puntuales (Metz, Koch and Lenz, 2020).

Con respecto al color, el blanco resultó en todos los casos ser el más recurrente, con valores en el intervalo de 25 a 62 %, cuyo límite inferior concuerda con la proporción de MP de dicho color encontrada en México (25 %). La determinación del color es importante, sobre todo desde el punto de vista toxicológico, debido a que se ha detectado que algunas especies marinas tienden a ingerir MP de ciertos colores al confundirlos con su alimento (Wright, Thompson and Galloway, 2013; Trevail *et al.*, 2015).

En lo referente al tipo de polímero, las poliolefinas en su conjunto (PE y PP) fueron las más recurrentes en los estudios revisados, con valores en el intervalo que va del 5 al 95%, mientras que en esta investigación se obtuvo un valor del 52 %. La abundancia de las poliolefinas está regida por dos factores principales: son los plásticos de mayor producción a nivel mundial (PlasticEurope, 2019) y su densidad permite que permanezcan en la superficie del agua marina y posteriormente se depositen en las playas (Erni-Cassola *et al.*, 2019). El otro tipo de polímero más

recurrente en México fue el PS, con un 20 %; en algunos países se han reportado mayores valores. En Guatemala se presentó un valor del 67 %, el cual estuvo asociado a las actividades turísticas de la zona, sobretodo en el uso de envases para alimentos, mientras que en Corea del Sur se obtuvo un valor del 95 %, que se asoció a las granjas acuícolas (utilizan como flotador) y las espumas ocupadas en artículos de playa (tablas de surf, flotadores, hieleras) (Eo *et al.*, 2018).

En la Tabla 25 se presenta a modo de matriz un análisis de los factores que intervienen en la presencia de microplásticos en playas de arena. Se seleccionaron 13 estudios internacionales así como el del presente proyecto. Los factores se dividieron en tres: antropogénicos, climatológicos y geográficos.

Los factores antropogénicos incluyen aquellos en donde la presencia de MP es directamente atribuida a las actividades de los seres humanos. En cuanto al factor climatológico, se manejaron tanto corrientes marinas regionales como globales, lluvias y eventos de alta energía (huracanes, tormentas tropicales, por mencionar algunos); por último, los factores geográficos fueron tres: la vegetación marina (pastos marinos, lirios o sargazo), la desembocadura de ríos y los cuerpos de agua (marismas, esteros, manglares).

El factor que en mayor número de ocasiones se consideró como una posible fuente de MP (50 %), fue la realización de actividades recreativas, lo anterior se atribuye a diferentes procesos: desgaste de la ropa de los bañistas, deterioro de la infraestructura utilizada en la playa (lazos, sillas, mesas), a la mala gestión de residuos sólidos urbanos, lo cual provoca que los residuos permanezcan en la playa y posteriormente se fragmenten (Bosker, Guaita and Behrens, 2018; Deng *et al.*, 2020; Jeyasanta *et al.*, 2020; Vidyasakar *et al.*, 2020). El compromiso por parte de los prestadores de servicios en la playa, así como la participación de los turistas, son necesarios para la preservación de las playas (J. Liu *et al.*, 2019).

Tabla 25 Factores que se relacionaron con la presencia de microplásticos en playas

País y localidades	Factores antropogénicos				Factores climatológicos				Factores geográficos			Referencias	
	Urbanización (escorrentía)	Descarga de aguas residuales	Actividades recreativas playa	Acuicultura y pesca	Puertos marítimos	Corrientes regionales	Corrientes globales	Lluvias	Eventos de alta energía	Vegetación	Desembocadura de ríos		Cuerpos de agua (marismas)
México. Regiones marinas			X		X	X	X	X	X	X	X	X	Este estudio
Guatemala, Quetzalito											X		(Mazariegos-Ortiz <i>et al.</i> , 2020)
Portugal, Aveiro	X												(Joana C. Prata <i>et al.</i> , 2020)
India, Bahía de Bengala			X								X		(Vidyasakar <i>et al.</i> , 2020)
India, Islas de Andaman			X		X								(Patchaiyappan <i>et al.</i> , 2020)
India, Tuticorin			X	X									(Jeyasanta <i>et al.</i> , 2020)
E.U. Virginia y Calorina del Norte	X	X				X		X			X		(Dodson <i>et al.</i> , 2020)
China, Jinjiang			X	X		X				X			(Deng <i>et al.</i> , 2020)
China, Hangzhou		X		X	X			X					(Wang <i>et al.</i> , 2020)
Taiwán, Península Hengchun		X	X										(Chen and Chen, 2020)
Nigeria, Golfo de Guinea				X		X							(Fred-Ahmadu, Ayejuyo and Benson, 2020)
Polonia, Sur del Báltico							X	X					(Urban-Malinga <i>et al.</i> , 2020)
Antillas Menores			X										(Bosker, Guaita and Behrens, 2018)
Corea del Sur				X									(Eo <i>et al.</i> , 2018)
Número de estudios que identifican cada factor	2	3	7	5	3	4	2	4	1	2	4	1	

El segundo factor antropogénico que impacta en la presencia de MP es la pesca y las actividades acuícolas. En esta investigación no se detectó la influencia de éstas actividades. Sin embargo, en otras investigaciones se ha reportado la presencia de MP en forma de fibras, provenientes del hilo que comúnmente se utiliza en la pesca, así como la presencia de MP de poliestireno y poliuretano los cuales presumiblemente son producto del desgaste de los flotadores que se utilizan para las mallas utilizadas en la acuicultura (Eo *et al.*, 2018; Fred-Ahmadu, Ayejuyo and Benson, 2020).

Posteriormente le siguieron dos factores climatológicos: las corrientes regionales y las lluvias, ambos factores tuvieron efecto en el presente estudio, en un estudio llevado a cabo en Estados Unidos se demostró que la convergencia de corrientes marianas regionales provocan una zona de deposición de sedimentos más alta que en donde no la hay (Dodson *et al.*, 2020; Nelms *et al.*, 2020), factor que se observó al sur de la región marina del Golfo de California y que influyó la presencia de MP en las playas de Cruz de Huanacastle y Brujas. Por otra parte, los eventos de alta energía pueden provocar una inestabilidad en las condiciones ambientales de las regiones marinas, las cuales se traducen en lluvias al inicio y al final de dichos eventos (Villegas-Romero *et al.*, 2009).

Por otra parte, el factor de la lluvia aumenta la concentración de microplásticos en las playas debido a un efecto de lavado de las zonas circunstantes a las playas (Joana C. Prata *et al.*, 2020) o bien de desplazamiento de los MP depositados en cuerpos de agua circundantes hacia la playa (Rodríguez-Díaz *et al.*, 2020).

La vegetación marina promueve la acumulación de microplásticos, debido a que en ella los microplásticos pueden ser atrapados y posteriormente en temporadas de lluvias o en eventos de alta energía dispersados en las playas (Deng *et al.*, 2020), además se ha evidenciado la presencia de microplásticos en el sargazo flotante en las aguas del Mar Amarillo en China, lo cual contribuiría al aumento de MP en playas una vez que el alga sea depositada por las corrientes marinas (Feng *et al.*, 2020), en esta investigación se observó la presencia de sargazo en las playas de la región marina del Mar Caribe, así como la presencia de residuos plásticos dentro de éste,

aunque no se cuantificó, puede ser contemplado como uno de los factores en esta región y que necesita ser estudiado.

En la presente investigación se presentó una correlación entre la presencia de fragmentos y microplásticos, tendencia similar a la presentada en playas de la India, en donde se encontró una fuerte correlación entre microplásticos y mesoplásticos (5 -25 mm), mientras que no existió correlación con respecto a los macroresiduos (> 25 mm) (Jeyasanta *et al.*, 2020), lo anterior coincidió con lo reportado por Cruz-Salas en 2020 en cinco playas mexicanas.

Otros estudios han identificado factores que no fueron encontrados como relevantes en esta investigación. En el caso del estudio llevado a cabo en la India, se consideraron a las actividades de pesca como principal factor, seguido de las actividades turísticas, mientras que para ambos estudios en México la principal atribución fue el turismo.

6 Conclusiones



Yo sólo sé que no sé nada.

Sócrates

Mientras más conocemos acerca de los microplásticos, rápidamente va surgiendo un inmenso océano de interrogantes que aún nos quedan por descubrir. Juan Carlos Alvarez Zeferino

En este capítulo se presentan las conclusiones del presente estudio, que han sido estructuradas de acuerdo al siguiente orden: estudios preliminares, selección de playas, metodologías, evaluación de indicadores, presencia de residuos y presencia de microplásticos.

Estudios preliminares

Los estudios preliminares permitieron identificar las deficiencias de las diversas metodologías consultadas, por lo que cada uno aportó elementos significativos para establecer las pautas que siguieron en las metodologías propuestas.

Selección de playas

Se abarcaron las cinco regiones marinas que conforman el país, para un total de once playas, dos por región, a excepción del Golfo de California, en donde fueron tres. Lo anterior permitió obtener un panorama general de la presencia de residuos y microplásticos, así como comparar los distintos factores que inciden en su presencia.

Metodología y elección de playas

Se desarrollaron dos metodologías de muestreo en playas de arena, una para residuos sólidos urbanos y una para microplásticos. Ambas mostraron ser robustas, económicas y replicables, lo anterior permitió obtener una línea base confiable para el país. Sin embargo, la metodología de microplásticos no fue funcional en playas con alta deposición de residuos vegetales (sargazo, pastos marinos, lirio, por mencionar algunos), por lo que es necesario desarrollar una adaptación de la misma, debido a que existe la posibilidad de la presencia de MP en los residuos vegetales, así como debajo de éstos.

La metodología para la separación de microplásticos de las muestras en laboratorio mostró características de robustez y replicabilidad, con lo cual se logró la identificación de MP en el intervalo de 0.5 – 5 mm. Aunque la metodología desarrollada podría permitir la extracción de MP menores a 0.5 mm, se tendría que evaluar que técnica de identificación sería factible, ya que en

este estudio se utilizó la técnica de espectroscopia infrarroja acoplada a un ATR (reflectancia total atenuada), la cual tienen limitaciones con respecto al tamaño de MP que pueden ser analizados.

Indicadores de calidad ambiental

Se presentaron dos correlaciones positivas: urbanización/potencial recreativo y gestión de residuos/percepción de usuarios. La primera correlación indicó que cuanto más urbanizada se encuentre una playa existe un aumento en la oferta recreativa, con la finalidad de atraer más turistas. La segunda correlación estableció que los usuarios tienden a percibir la situación en la que se encuentra la gestión de residuos en las playas, es decir, cuando existe una deficiencia ésta es detectada. Sin embargo, ninguno de los indicadores presentó correlación entre la presencia de residuos y microplásticos en las playas estudiadas.

Residuos (residuos sólidos urbanos + fragmentos)

Las concentraciones de residuos presentaron variaciones entre las campañas, en 2018 se encontró un promedio de 0.19 piezas/m² mientras que para 2019 el valor medio fue de 0.13 piezas/m², sin embargo, en ambos años se presentaron variaciones significativas entre las distintas playas. Lo anterior permite concluir que las concentraciones de residuos en playas suelen ser heterogéneas y están dominadas por diversos factores tanto del tipo antropogénicos como naturales. Además se evidenció un incremento global en las concentraciones de residuos, de sábado a domingo, del 25.8 %, el cual fue atribuido directamente a las actividades turísticas de la playa y su mala gestión de residuos que se tiene.

Los materiales más comunes entre los residuos en términos de piezas fueron, los plásticos con un 57 %, posteriormente las colillas de cigarrillos con 23 % y en tercer lugar se ubicaron los metales con un 8 %. La playa de Cruz de Huanacastle (Nayarit) fue la que presentó las concentraciones de residuos más altas en ambas campañas, por otro lado la playa con menores concentraciones en los dos años fue Troncones, ubicada en Guerrero. Ambas playas son muy parecidas en cuanto a la afluencia de turistas, sin embargo, la diferencia radica en la mayor campaña de difusión acerca del cuidado del ambiente y una mejor gestión de residuos.

Residuos sólidos urbanos

Los tres residuos sólidos urbanos más comunes para ambas campañas fueron colillas (41.3 %), tapas y arillas metálicas (17.4) y residuos orgánicos (8.6 %). Las colillas de cigarro, en específico, representan un riesgo potencial en el ambiente debido a las sustancias tóxicas que se encuentran sorbidas, las cuales pueden ser liberadas mediante procesos de lixiviación.

Las playas que presentaron un mayor aumento de residuos sólidos urbanos, fueron aquellas con mayor afluencia de visitantes (Miramar, Tecolutla y Ensenada), en promedio para ambos años se presentó un aumento del 38.8 %. Además es importante destacar que los residuos plásticos de un solo uso (popotes, vasos, cucharas, entre otros), así como los residuos orgánicos fueron los que aumentaron sus concentraciones, por lo que este aumento está relacionado directamente con la afluencia de turistas. Se presentó una excepción en 2019 en Mahahual, con un incremento del 100 %, sin embargo, durante ese fin de semana no hubo alta afluencia de turistas y los residuos recolectados provenían de otros países, por lo que el incremento se atribuyó a las corrientes marinas.

Fragmentos

Los fragmentos (> 5 mm) son residuos que provienen de la fragmentación de macroresiduos, cuyo origen específico es difícil de identificar, y que por lo regular no son recolectados cuando se realizan las limpiezas de playas por parte del municipio o de los ciudadanos, debido al esfuerzo físico que conlleva su recolección y en ocasiones porque no son tan evidentes a simple vista. Sin embargo, la inclusión de fragmentos (> 5mm) en el presente estudio mostró ser relevante, desde dos perspectivas, en primera; considerar a los fragmentos permite evaluar la situación real de la contaminación por residuos en la playa, la segunda perspectiva, es que existe un riesgo potencial de que los fragmentos se conviertan en microplásticos. Los fragmentos son los residuos que más se encontraron en las playas, con porcentajes que van desde el 34 % hasta el 98 %, del total de residuos recolectados.

El 70.5 % de los fragmentos recolectados estuvo compuesto por plásticos (rígidos, semirígidos, películas, fibras) mientras que el 17.5 % fueron plásticos espumados. Además de observarse un incremento del 23.9 % de fragmentos de sábado a domingo, lo anterior se tiene la hipótesis de que las actividades turísticas son el factor principal, sin embargo, se necesitan hacer más investigación al respecto.

Índice de contaminación

La mayoría de los estudios a nivel mundial no consideran a los fragmentos (> 5 mm) para el cálculo de índices de contaminación, por lo que la problemática en materia de residuos queda subestimada, lo anterior se observó en las dos campañas de muestreo, debido a que cuando solo se consideraron a los RSU para el índice de contaminación, se catalogaron cinco playas como muy sucias en 2018 y dos en 2019, sin embargo, al incluir a los fragmentos el número aumentó a 7 y 6 playas, respectivamente.

Seis playas de las once coincidieron en ambos años como las más sucias; Tecolutla, Progreso, Mahahual, Cruz de Huanacastle, Brujas y Ensenada, mientras que en ambas campañas solo una playa se consideró como muy limpia (Troncones).

Correlación entre residuos sólidos urbanos y fragmentos

Existió una correlación estadísticamente significativa entre las concentraciones de residuos sólidos urbanos y fragmentos ($p < 0.05$), posteriormente al ajustarlo a un modelo simple (cuadrático) se obtuvo un coeficiente de variación del $R^2 = 87.6 \%$, por lo que se consideró una relación relativamente fuerte. Lo anterior indica que a mayor concentración de RSU también se esperaría una mayor concentración de FRA.

Análisis de residuos por zonas en la pleamar

El análisis de residuos por zonas, demostró que existen diferencias significativas entre las dos zonas evaluadas (zona 1 en y debajo de la pleamar y la zona 2 encima de la pleamar). Posiblemente los residuos depositados en la zona 1 corresponden a los traídos por las corrientes

marinas; éstos representaron proporciones en el intervalo de 3 – 50 % siendo 23.5 % el valor promedio.

Microplásticos

Se evidenció la presencia de microplásticos (0.5 – 5 mm) a 5 cm de profundidad, en las once playas estudiadas y en las dos campañas de muestreo (2018 y 2019). En el 2018 se reportó un valor promedio global de 151.7 ± 205.6 MP/m², mientras que para 2019 el valor disminuyó a 95.5 ± 97.3 MP/m².

Las playas que en ambas campañas presentaron las concentraciones más altas de MP fueron Brujas y Cruz de Huanacastle, mientras que las de menores concentraciones fueron Zipolite, Progreso y Mahahual, aunque en las dos últimas playas la presencia de sargazo provocó que se subestimaran las concentraciones.

El 92 % de los microplásticos recolectados fueron de origen secundario, mientras que el resto de origen primario, constituidos principalmente por pellets y balines. En la campaña del 2018 en ocho de las once playas se encontró la presencia de pellets mientras que para 2019 el valor disminuyó a sólo cinco. Los balines son municiones utilizados en juguetes de playa, y fueron por primera vez documentados en estudios de este tipo.

La forma más común de microplástico fueron los fragmentos con un valor medio global del 48 %, posteriormente le siguieron los espumados con 23 %, fibras 11 % y películas con 10 %. Es difícil de precisar el origen de los MP en forma de fragmentos, debido a la amplia gama de residuos que podrían darles origen. Por otra parte, en el caso de los espumados su origen es principalmente la degradación de envases desechables y artículos de flotación, mientras que las fibras provienen de lazos utilizados en las embarcaciones o actividades similares.

Los colores más comunes fueron el blanco (25 %), azul (17 %), amarillo (15 %) y verde (14 %), mientras que el tamaño más frecuente fue el de 4.1 -5.0 mm con un 31 %, seguido de 0.5 – 1.00 mm con 19 %. Las características anteriores son difíciles de relacionar con el origen de los microplásticos, sin embargo, son útiles debido a los riesgos ambientales que pueden tener; en el

caso del color, algunas especies marinas pueden confundir los microplásticos con su alimento, mientras que en el caso del tamaño, mientras más pequeño sea el MP tiene más posibilidad de entrar a la cadena trófica. En el caso de la composición química las poliolefinas fueron los MP más comunes (52 % polietileno y 15 % propileno), mientras que el poliestireno representó el 20 %.

Factores de la presencia de microplásticos

Los eventos de alta energía fueron un factor que influyó en la presencia de microplásticos de las playas de la región marina del Golfo de California en la primera campaña de muestreo.

El análisis de microplásticos por océanos (Pacífico y Atlántico) demostró que existió una diferencia significativa entre ambos, siendo las playas del lado del Pacífico las que presentaron una mayor concentración de microplásticos, esta tendencia fue atribuida a las corrientes marinas globales que se presentan en cada caso.

Por otro lado, el análisis para las regiones marinas demostró diferencias estadísticamente significativas entre éstas, siendo la del Golfo de California la que presentó la mayor problemática en cuestión de MP, esta región presenta peculiaridades como los giros estacionales al norte o la zona de confluencia de tres corrientes marinas al sur. Posteriormente les siguieron las regiones marinas del Golfo de México y Pacífico Noroeste, por último, se agruparon las regiones marinas con menores concentraciones las cuales fueron: Pacífico Tropical y Mar Caribe, aunque en esta última la problemática del sargazo podría alterar las concentraciones.

En cuanto a las campañas de muestreo, no presentaron diferencias estadísticamente significativas, lo cual permite establecer la alta heterogeneidad que presentan los microplásticos en las playas.

El día fue otro factor que influyó, en el día domingo se encontró una mayor concentración de MP, lo cual se atribuye a las actividades turísticas. Por último, el factor playa influyó, debido a dos cuestiones, en primer lugar su ubicación geográfica y en segundo a la gestión de residuos en cada una.

Correlación entre microplásticos, residuos y fragmentos

Los microplásticos mostraron una correlación positiva con los residuos así como con los fragmentos.

Como conclusión final, la presencia de residuos y microplásticos en las playas mexicanas es innegable, y está influenciada por factores locales, regionales y globales. La problemática que se vive requiere esfuerzos conjuntos en distintos niveles geográficos, así como la participación de los sectores industrial, académica, social y gubernamental. El presente trabajo podría ser considerado como la línea base en la investigación de residuos y microplásticos en el país, debido a que se diseñaron técnicas específicas para su estudio, las cuales fueron aplicadas en 44 ocasiones en las cinco regiones marinas de México, lo que produce comparabilidad entre los datos. En el caso de los microplásticos es imposible retirarlos de los ecosistemas marinos, sin embargo se puede prevenir su formación o bien minimizar su entrada a estos ecosistemas.

7 Recomendaciones



We ourselves feel that what we are doing is just a drop in the ocean. But the ocean would be less because of that missing drop. Madre Teresa de Calcuta

Muestreos

- En diversos estudios internacionales se menciona como un factor de la presencia de MP y residuos a la estación del año, por lo que se sugiere establecer muestreos periódicos en las playas del país, en los cuales se cubran diversos períodos, con la finalidad de determinar los flujos de residuos en playas
- En el presente estudio sólo se estudió la zona intermareal, por lo que se recomienda aumentar el área de estudio incluyendo la parte trasera de la playa, que es lugar en donde tienden a acumularse los residuos de los eventos de alta energía
- Las desembocaduras de río representan una aportación de residuos y microplásticos a los mares y playas, sin embargo, no existe una metodología para su estudio en estas zonas, por lo que se sugiere diseñar una metodología para su estudio
- La presencia de microplásticos en los ambientes marinos es innegable, por lo que es muy probable que las especies marinas los ingieran, por lo tanto se recomienda el desarrollo de metodologías para el estudio de microplásticos en éstos

Indicadores

- Los resultados obtenidos en el presente estudio mostraron que hay factores que no se incluyeron pero que deben ser tomados en cuenta por lo que se sugiere rediseñar el formato de indicadores utilizado en la presente investigación, con la finalidad de incluir nuevos parámetros tales como características geográficas, concentraciones sobre la presencia de residuos sólidos urbanos y microplásticos
- La opinión de todos los actores involucrados en la gestión de playas debe ser tomada en cuenta, por lo que se recomienda incluir una encuesta de percepción de los prestadores de servicio hacia los turistas, una para el personal de limpieza y una para el gobierno municipal, lo anterior permitiría tener un panorama más amplio

Residuos sólidos urbanos

- Debido a la alta incidencia de las colillas en las playas, se recomienda acercarse a las empresas cigarreras para invitarlas a aportar recursos que puedan ser utilizados en

diversos programas, desde la concientización sobre el cuidado de las playas, su limpieza, su acopio y posterior su tratamiento

- Las tapas de metal representaron una alta concentración, éstas tienden a permanecer en las playas debido a que por su tamaño y masa suelen pasar desapercibidas, por lo que se recomendaría que al hacer las limpiezas de las playas se utilicen imanes para su extracción
- Los residuos de vidrio encontrados en esta investigación fueron principalmente botellas de cerveza; aunque este material no representó en promedio altas concentraciones comparado con otros tipos de residuos, si hubo muestreos en los cuales su cantidad aumentó, por los que promover el uso de envases retornables

Prevención de la presencia de microplásticos

- El origen de los microplásticos primarios puede ser identificado, lo cual permitiría controlar desde la misma fuente de emisión su dispersión a los ambientes marinos, por ejemplo es claro que muchos de los pellets están asociados a los puertos marítimos, salvo eventos extraordinarios, como derrames por embarcaciones. Por ello la vigilancia de las medidas para evitar fugas en los puertos marítimos debería ser considerada
- Por otra parte, los balines encontrados en las playas son utilizados como municiones de juguetes que regularmente se ofertan en las playas, por lo que su prohibición podría ser una de las soluciones
- En el caso del unicel, su bajo costo y la practicidad de su transporte han hecho que sea uno de los plásticos más usados sobre todo para alimentos, por lo que se invitaría a los comerciantes a evitar su uso en la medida de lo posible, proponiendo alternativas como usar platos rígidos que sean devueltos a los vendedores

Manejo de playas

- En algunas playas se ha trabajado con la concientización ambiental en temas de residuos, ejemplos de ellas son Miramar, Troncones y Mahahual, las cuales presentaron bajas concentraciones de residuos generados en sus playas, por lo que podrían ser estudiadas

a detalle con la finalidad de establecer lo que funcionó y lo que no, y replicar las buenas prácticas

- Sería deseable que las playas opten por establecer índices de calidad propios, no solamente para obtener una certificación, sino por obligación y compromiso

Programas nacionales

- Los eventos de alta energía son comunes en las costas, sin embargo, no existen protocolos nacionales para la gestión de residuos cuando suceden éstos, por lo que se sugiere la elaboración de protocolos
- Los estuarios y ríos son cuerpos de agua que tienen interacción directa con los mares, por lo que se recomienda realizar campañas de limpieza en estuarios y ríos en diferentes períodos del año, sobretodo antes de la temporada de lluvias, para evitar que los residuos lleguen a las playas y mares
- En el país hay 102 puertos marítimos distribuidos a nivel nacional, sin embargo, no existe información relacionada a la situación actual del manejo de residuos en éstos, por lo que se sugiere realizar un estudio para detectar las posibles fuentes de contaminación
- El programa de Playas limpias inició en 2003 en diversas playas del país y hasta la fecha sigue activo, por lo que se recomienda que se incluya un apartado que contemple el monitoreo de microplásticos y residuos
- En el país se tienen 17 estados con apertura al mar, y por ende playas, por lo que se recomienda establecer una red de monitoreo nacional de residuos y microplásticos por parte de las universidades, con la finalidad de generar información que pueda ser utilizada para la toma de decisiones
- Las tomas de decisiones en temas ambientales en ocasiones recaen únicamente en secretarías gubernamentales, por ejemplo, la Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES), por lo que se sugiere que se invite a

instituciones educativas a integrar este tipo de comisiones, para que su experiencia sea tomada en cuenta en las decisiones respecto a temas de contaminación ambiental

- La normatividad en las playas tiene diversos ordenes jurídicos, desde el federal, estatal y municipal, por lo que se recomienda que se realice un compendio claro y de fácil acceso, acerca de las atribuciones de cada orden
- La organización de limpiezas de playas por parte de organizaciones sociales o empresas ha tomado relevancia en el país, sin embargo, se sugiere que estas vayan acompañadas de temas de sensibilización y educación ambiental para los participantes
- Hoy en día no solo los océanos y mares están sujetos a la problemática de los microplásticos, sino también otros cuerpos de aguas ubicados en la plataforma continental como lagunas, ríos, presas, por mencionar algunos, por lo que se recomienda la creación de un centro de investigación nacional sobre el estudio de microplásticos en ambientes acuáticos

Programas internacionales

- La problemática asociada a los residuos marinos y microplásticos es de carácter internacional, por lo que se propone una vinculación entre investigadores mexicanos con los de otros países, con la finalidad de compartir experiencias, consejos y crear alianzas

8 Referencias bibliográficas



No podrás descubrir nuevos océanos, si no tienes el coraje para perder de vista la costa.

Anónimo

Abayomi, O. A. *et al.* (2017) 'Microplastics in coastal environments of the Arabian Gulf', *Marine Pollution Bulletin*, (January). doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.07.011.

Academies, T. N. (2007) *Pollution in the ocean. Highlights of National Academies Reports*. Washington, DC: The National Academies.

Allsopp, M. *et al.* (2006) *Plastic Debris in the World's Oceans*. Amsterdam, Neatherland.

Alvarez-Zeferino, J. C. (2014) *División de Ciencias Básicas e Ingeniería Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias e Ingeniería Ambientales*.

Alvarez-Zeferino, J. C. *et al.* (2018) 'Ocurrence of pellets in marine beaches of Cantabria, Spain', in *Book of proceedings. ISWA 2018 World Congress*. Kuala Lumpur, Malasia, pp. 334–338.

Alvarez-Zeferino, J. C., Beltrán-Villavicencio, M. and Vázquez-Morillas, A. (2015) 'Degradation of Plastics in Seawater in Laboratory', *Open Journal of Polymer Chemistry*, 05(04), pp. 55–62. doi: 10.4236/ojpchem.2015.54007.

Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benítez, S. and Vázquez-Morillas, A. (2017) 'Residuos sólidos urbanos en una playa mexicana, implicaciones en la formación de microplásticos', in García de Cortázar, A. L. *et al.* (eds) *VII simposio Iberoamericano en Ingeniería de Residuos*. Santander, España, p. 774.

Amaral-Zettler, L. *et al.* (2016) 'Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: Part 2 of a global assessment', *Reports and Studies GESAMP*, 93, p. 217. doi: 10.13140/RG.2.1.3803.7925.

Anderson, A. G. *et al.* (2016) 'Microplastics in personal care products: Exploring perceptions of environmentalists, beauticians and students', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 113(1–2), pp. 454–460. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.048.

Andrades, R. *et al.* (2020) 'Anthropogenic litter on Brazilian beaches: Baseline, trends and recommendations for future approaches', *Marine Pollution Bulletin*, 151(December 2019). doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110842.

Andrady, A. L. (2015) 'Persistence of Plastic Litter in the Oceans', in Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (eds) *Marine Anthopogenic Litter*. Springer, p. 456. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3.

ANIQ (2018) *Información de las resinas sintéticas, Información de las resinas sintéticas*. Available at: https://aniq.org.mx/webpublico/resinasSinteticas_info.asp.

ANIQ (2020) *Estadísticas de Resinas y Hules Sintéticos, Resinas y Hules Sintéticos*. Available at: <https://aniq.org.mx/webpublico/notas/anuarioestadisticoiq.asp>.

Arnott, R. D. (2009) *Introduction to Coastal Processes & Geomorphology*, Cambridge University Press. doi: 10.2112/1551-5036(2006)22[1589:BR]2.O.CO;2.

Asensio-Montesinos, F. *et al.* (2019) 'Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean

coastal sites (Alicante, SE Spain)', *Ocean & Coastal Management*. Elsevier, p. 104914. doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104914.

Asociación Nacional del Poliestireno Expandido (no date) 'Propiedades del EPS'.

Auta, H. S., Emenike, C. U. and Fauziah, S. H. (2017) 'Distribution and importance of microplastics in the marine environment A review of the sources, fate, effects, and potential solutions', *Environment International*. Elsevier Ltd, 102, pp. 165–176. doi: 10.1016/j.envint.2017.02.013.

Avio, C. G. *et al.* (2015) 'Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels', *Environmental Pollution*, 198, pp. 211–222. doi: 10.1016/j.envpol.2014.12.021.

Avio, C. G., Gorbi, S. and Regoli, F. (2017) 'Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat', *Marine Environmental Research*. Elsevier, 128, pp. 2–11. doi: 10.1016/J.MARENRES.2016.05.012.

Bagaev, A. *et al.* (2017) 'Science of the Total Environment Anthropogenic fibres in the Baltic Sea water column : Field data , laboratory and numerical testing of their motion', *Science of the Total Environment*, 599–600, pp. 560–571. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.185.

Bagheri, T. *et al.* (2020) 'Microplastics distribution, abundance and composition in sediment, fishes and benthic organisms of the Gorgan Bay, Caspian sea', *Chemosphere*, 257. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127201.

Barnes, D. K. A. *et al.* (2009) 'Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), pp. 1985–1998. doi: 10.1098/rstb.2008.0205.

Barrios-Ramos, M. de los A. and Castro-Castro, V. (2012) 'Aptitud y potencial recreativo de playas del municipio de Tapachula, Chiapas, México', *Ciencias agropecuarias y biociencias*, 3, pp. 3–9.

Bejgarn, S. *et al.* (2015) 'Toxicity of leachate from weathering plastics: An exploratory screening study with *Nitocra spinipes*', *Chemosphere*, 132, pp. 114–119. doi: 10.1016/j.chemosphere.2015.03.010.

Benavente, M. J. *et al.* (2019) 'Cellulose Acetate Recovery from Cigarette Butts', *Proceedings*, 2(20), p. 1447. doi: 10.3390/proceedings2201447.

Bergmann, M. *et al.* (2015) *Marine Anthropogenic Litter*. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3.

Besley, A. *et al.* (2016) 'A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand', *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), pp. 77–83. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.055.

Besley, A. *et al.* (2017) 'A standardized method for sampling and extraction methods for quantifying microplastics in beach sand', *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), pp. 77–83. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.055.

- Bird, E. (2008) *Coastal Geomorphology. An introduction*. Second edi. John Wiley & Sons, Ltd.
- Bosker, T., Guaita, L. and Behrens, P. (2018) 'Microplastic pollution on Caribbean beaches in the Lesser Antilles', *Marine Pollution Bulletin*, 133, pp. 442–447. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.060.
- Botello, A. V., Sánchez-Cabrera, J. and Villanueva, S. F. (2012) *Efectos del cambio climático en las zonas costeras de México, La Jornada Ecológica*.
- Botero, C. M. *et al.* (2017) 'Litter assessment on 99 Cuban beaches: A baseline to identify sources of pollution and impacts for tourism and recreation', *Marine Pollution Bulletin*, 118(1–2), pp. 437–441. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.061.
- Brennecke, D. *et al.* (2015) 'Ingested microplastics (>100µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 96(1–2), pp. 491–495. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.05.001.
- Brennecke, D. *et al.* (2016) 'Estuarine , Coastal and Shelf Science Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment', pp. 1–7. doi: 10.1016/j.ecss.2015.12.003.
- British Plastics Federation (2018) *Polyesters (Thermoplastic) PETP, PBT, PET*.
- Browne, M. A. *et al.* (2011) 'Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide : Sources and Sinks', pp. 9175–9179. doi: 10.1021/es201811s.
- Carpenter, E. J. and Smith, K. L. (1973) 'Plastics on the Sargasso Sea Surface', *Science*, 175, pp. 2–4.
- de Carvalho, D. G. and Baptista Neto, J. A. (2016) 'Microplastic pollution of the beaches of Guanabara Bay, Southeast Brazil', *Ocean and Coastal Management*, 128, pp. 10–17. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2016.04.009.
- Castillo, A. B., Al-Maslamani, I. and Obbard, J. P. (2016) 'Prevalence of microplastics in the marine waters of Qatar', *Marine Pollution Bulletin*, 111(1–2), pp. 260–267. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.108.
- Chen, M. and Chen, T. (2020) 'the coast of the Hengchun Peninsula , Taiwan Hengchun Peninsula', *Marine Pollution Bulletin*, 151(January), p. 110861. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110861.
- Cheshire, a *et al.* (2009) *UNEP/IOC Guidelines on survey and monitoring of marine litter, UNEP Regional Seas Reports and Studies, No. 186; IOC Technical Series*.
- Chubarenko, I. *et al.* (2016) 'On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environment', *MPB*. Elsevier Ltd, 108(1–2), pp. 105–112. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.048.
- CNCP (2014) *Símbolos de identificación de plásticos*. México.

Cole, M. *et al.* (2011) 'Microplastics as contaminants in the marine environment: A review', *Marine Pollution Bulletin*, pp. 2588–2597. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.

CONABIO - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2006) *Procesos oceánográficos. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos.*, *Mesa de Procesos Oceanográficos*.

CONAGUA - Comisión Nacional del Agua (2018) *El huracán Bud de categoría 3 en la escala de Saffir Simpson, se desplaza paralelo a la costa del Pacífico*. 006–18. Ciudad de México.

Costanza, R. (1999) 'The ecological , economic , and social importance of the oceans', 31, pp. 199–213.

Courtene-Jones, W. *et al.* (2017) 'Microplastic pollution identified in deep-sea water and ingested by benthic invertebrates in the Rockall Trough, North Atlantic Ocean', *Environmental Pollution*, 231, pp. 271–280. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.026.

Courtene-Jones, W. *et al.* (2020) 'Microplastic accumulation in deep-sea sediments from the Rockall Trough', *Marine Pollution Bulletin*, 154(March). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111092.

Cruz-Salas, A. A. (2020) *Evaluación de la calidad ambiental y su relación con la presencia de microplásticos en cinco playas mexicanas*. Universidad Autónoma Metropolitana.

Dai, Z. *et al.* (2018) 'Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities', *Environmental Pollution*, 242, pp. 1557–1565. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.131.

Daniel, D. B., Thomas, S. N. and Thomson, K. T. (2020) 'Assessment of fishing-related plastic debris along the beaches in Kerala Coast, India', *Marine Pollution Bulletin*, 150(July 2019). doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110696.

Daniel, W. W. (2014) *Bioestadística. BAs e para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa, S.A. de C.V.

Defeo, O. *et al.* (2009) 'Threats to sandy beach ecosystems: A review', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Academic Press, 81(1), pp. 1–12. doi: 10.1016/J.ECSS.2008.09.022.

Dekiff, J. H. *et al.* (2014) 'Occurrence and spatial distribution of microplastics in sediments from Norderney', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 186, pp. 248–256. doi: 10.1016/j.envpol.2013.11.019.

Deng, J. *et al.* (2020) 'Microplastics and accumulated heavy metals in restored mangrove wetland surface sediments at Jinjiang Estuary (Fujian, China)', *Marine Pollution Bulletin*, 159(March). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111482.

Desforges, J. P. W. *et al.* (2014) 'Widespread distribution of microplastics in subsurface seawater in the NE Pacific Ocean', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 79(1–2), pp. 94–99. doi:

10.1016/j.marpolbul.2013.12.035.

Di, M. and Wang, J. (2017) 'Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.150.

Dodson, G. Z. *et al.* (2020) 'Microplastic fragment and fiber contamination of beach sediments from selected sites in Virginia and North Carolina, USA', *Marine Pollution Bulletin*, 151(December 2019). doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110869.

Eo, S. *et al.* (2018) 'Abundance, composition, and distribution of microplastics larger than 20 µm in sand beaches of South Korea', *Environmental Pollution*. Elsevier, 238, pp. 894–902. doi: 10.1016/J.ENVPOL.2018.03.096.

Erickson, J. (2002) *Marine Geology: Exploring the New Frontiers of the Ocean*.

Eriksen, M. *et al.* (2014) 'Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea', *PLoS ONE*, 9(12), pp. 1–15. doi: 10.1371/journal.pone.0111913.

Erni-Cassola, G. *et al.* (2019) 'Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis', *Journal of Hazardous Materials*, 369(February), pp. 691–698. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.02.067.

Faure, F. *et al.* (2015) 'An evaluation of surface micro- and mesoplastic pollution in pelagic ecosystems of the Western Mediterranean Sea', pp. 12190–12197. doi: 10.1007/s11356-015-4453-3.

Feng, Z. *et al.* (2020) 'Microplastics in bloom-forming macroalgae: Distribution, characteristics and impacts', *Journal of Hazardous Materials*, 397(April). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122752.

Ferreira, M. (2014) *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas*. doi: 10.2788/99475.

Fred-Ahmadu, O. H., Ayejuyo, O. O. and Benson, N. U. (2020) 'Microplastics distribution and characterization in epipsammic sediments of tropical Atlantic Ocean, Nigeria', *Regional Studies in Marine Science*, 38. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101365.

Free, C. M. *et al.* (2014) 'High-levels of microplastic pollution in a large, remote, mountain lake', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 85(1), pp. 156–163. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.001.

Frias, J. P. G. L. *et al.* (2016) 'Microplastics in coastal sediments from Southern Portuguese shelf waters', *Marine Environmental Research*. Elsevier Ltd, 114, pp. 24–30. doi: 10.1016/j.marenvres.2015.12.006.

Gago, J. *et al.* (2018) *Standardised protocol for monitoring microplastics in seawater*. Available at: https://repository.oceanbestpractices.org/bitstream/handle/11329/1077/mafiadoc.com_standardised-protocol-for-monitoring-

microplastics_5c8d88c5097c47605c8b45d0.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Gajšt, T. *et al.* (2016) 'Sea surface microplastics in Slovenian part of the Northern Adriatic', *Marine Pollution Bulletin*, 113(1–2), pp. 392–399. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.10.031.

Galgani, F., Hanke, G. and Maes, T. (2015) 'Global Distribution, Composition and Abundance of Marine Litter', in Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. Springer. doi: 10.1007/978-3-319-16510-3.

Gall, S. C. and Thompson, R. C. (2015) 'The impact of debris on marine life', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 92(1–2), pp. 170–179. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.12.041.

GeoEnciclopedia (no date) *Corrientes Océánicas*, *GeoEnciclopedia*.

GESAMP (2015) 'Sources, Fate and Effects of Microplastics in the Marine Environment: A Global Assessment', *Reports and Studies GESAMP*, 90(APRIL), p. 96. doi: 10.13140/RG.2.1.3803.7925.

GESAMP (2019) *Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean* (Kershaw P.J., Turra A. and Galgani F. editors). Available at: <http://gesamp.org>.

Gjyli, L. *et al.* (2020) 'Marine litter on the Albanian coastline: Baseline information for improved management', *Ocean and Coastal Management*, 187(September 2019). doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105108.

Gündoğdu, S. and Çevik, C. (2019) 'Mediterranean dirty edge: High level of meso and macroplastics pollution on the Turkish coast', *Environmental Pollution*, 255. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113351.

Guo, X. and Wang, J. (2021) 'Projecting the sorption capacity of heavy metal ions onto microplastics in global aquatic environments using artificial neural networks', *Journal of Hazardous Materials*, 402(July 2020). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123709.

Gyres, 5 (2019) *Plastic Beach. A citizen science protocol for microplastic pollution*.

Haseler, M. *et al.* (2019) 'Cost-effective monitoring of large micro- and meso-litter in tidal and flood accumulation zones at south-western Baltic Sea beaches', *Marine Pollution Bulletin*, 149(September). doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.110544.

Hengstmann, E. *et al.* (2018) 'Microplastic in beach sediments of the Isle of Rügen (Baltic Sea) - Implementing a novel glass elutriation column', *Marine Pollution Bulletin*. Pergamon, 126, pp. 263–274. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2017.11.010.

Herrera, A. *et al.* (2018) 'Sampling and processing micro and mesoplastic samples from sandy beaches.', p. 14.

Hidalgo-Ruz, V. *et al.* (2013) 'Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification', ... *Science & Technology*, 46, pp. 3060–75. doi: 10.1021/es2031505.

Hidalgo-Ruz, V. *et al.* (2018) 'Spatio-temporal variation of anthropogenic marine debris on Chilean beaches', *Marine Pollution Bulletin*, 126(July 2017), pp. 516–524. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.014.

Hitchcock, J. N. (2020) 'Storm events as key moments of microplastic contamination in aquatic ecosystems', *Science of the Total Environment*, 734. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139436.

Holmes, L. A., Turner, A. and Thompson, R. C. (2012) 'Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment', *Environmental Pollution*, 160(1), pp. 42–48. doi: 10.1016/j.envpol.2011.08.052.

Honorato-Zimmer, D. *et al.* (2019) 'Inter-hemispherical shoreline surveys of anthropogenic marine debris – A binational citizen science project with schoolchildren', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier, 138(November 2018), pp. 464–473. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.11.048.

Jang, Y. C. *et al.* (2018) 'Composition and abundance of marine debris stranded on the beaches of Sri Lanka: Results from the first island-wide survey', *Marine Pollution Bulletin*, 128(February), pp. 126–131. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.018.

Jeyasanta, K. I. *et al.* (2020) 'Macro-, meso- and microplastic debris in the beaches of Tuticorin district, Southeast coast of India', *Marine Pollution Bulletin*, 154(January). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111055.

Kedzierski, M. *et al.* (2016) 'Microplastics elutriation from sandy sediments: A granulometric approach', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 107(1), pp. 315–323. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.03.041.

KIMO Sweden (2007) 'Small plastic particles in Coastal Swedish waters', *N-Research*, (0), p. 11.

Kirstein, I. V. *et al.* (2016) 'Dangerous hitchhikers? Evidence for potentially pathogenic *Vibrio* spp. on microplastic particles', *Marine Environmental Research*, 120, pp. 1–8. doi: 10.1016/j.marenvres.2016.07.004.

Kukulka, T. *et al.* (2012) 'The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris', 39(April), pp. 1–7. doi: 10.1029/2012GL051116.

Kunz, A. *et al.* (2016) 'Distribution and quantity of microplastic on sandy beaches along the northern coast of Taiwan', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 111(1–2), pp. 126–135. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.022.

L, L. A. *et al.* (2013) 'Effects of Microplastic on Fitness and PCB Bioaccumulation by the Lugworm *Arenicola marina* (L.)'. doi: 10.1021/es302763x.

Laglbauer, B. J. L. *et al.* (2014) 'Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 89(1–2), pp. 356–366. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.09.036.

Lalli, C. M. and Parsons, T. R. (1993) *Biological Oceanography: An introduction*. Butterworth-

Heineann, Oxford.

Lanza, G. (2004) 'Gran escenario de la zona costera y oceánica de México', *Revista Ciencias*, 76, pp. 4–13.

Lefebvre, C. *et al.* (2019) 'Microplastics FTIR characterisation and distribution in the water column and digestive tracts of small pelagic fish in the Gulf of Lions', *Marine Pollution Bulletin*, 142(March), pp. 510–519. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.03.025.

Lei, K. *et al.* (2017) 'Microplastics releasing from personal care and cosmetic products in China', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier, 123(1–2), pp. 122–126. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.09.016.

Li, W. *et al.* (2020) 'Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong', *Marine Pollution Bulletin*, 153(August 2019), pp. 1–7. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110977.

Li, W. C., Tse, H. F. and Fok, L. (2016) 'Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects', *Science of the Total Environment*, 566–567, pp. 333–349. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.084.

Ling, S. D. *et al.* (2017) 'Ubiquity of microplastics in coastal seafloor sediments', *Marine Pollution Bulletin*, 121(1–2), pp. 104–110. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.05.038.

Liu, J. *et al.* (2019) 'Evaluation of the non-use value of beach tourism resources: A case study of Qingdao coastal scenic area, China', *Ocean and Coastal Management*, 168(November 2018), pp. 63–71. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.10.030.

Liu, K. *et al.* (2019) 'A novel method enabling the accurate quantification of microplastics in the water column of deep ocean', *Marine Pollution Bulletin*, 146(July), pp. 462–465. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.07.008.

Lots, F. A. E. *et al.* (2017) 'A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier, 123(1–2), pp. 219–226. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.057.

Lozoya, J. P. *et al.* (2016) 'Plastics and microplastics on recreational beaches in Punta del Este (Uruguay): Unseen critical residents?', *Environmental Pollution*, 218, pp. 931–941. doi: 10.1016/j.envpol.2016.08.041.

Luo, H. *et al.* (2019) 'Leaching behavior of fluorescent additives from microplastics and the toxicity of leachate to *Chlorella vulgaris*', *Science of the Total Environment*, 678, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.401.

Ma, Y. *et al.* (2016) 'Effects of nanoplastics and microplastics on toxicity, bioaccumulation, and environmental fate of phenanthrene in fresh water *', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 219, pp. 166–173. doi: 10.1016/j.envpol.2016.10.061.

Marin, C. B. *et al.* (2019) 'Marine debris and pollution indexes on the beaches of Santa Catarina

State, Brazil', *Regional Studies in Marine Science*. Elsevier B.V., 31, p. 100771. doi: 10.1016/j.rsma.2019.100771.

Marine Debris Program, N. (2015) *Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments*.

MARN (2020) *Estructura de un huracán, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Available at: <https://www.snet.gob.sv/ver/seccion+educativa/meteorologia/huracanes/estructura/>.

Massos, A. and Turner, A. (2017) 'Cadmium, lead and bromine in beached microplastics', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 227, pp. 139–145. doi: 10.1016/j.envpol.2017.04.034.

Masura, Julie, Baker, Joel, Foster, Gregory, Arthur, C. (2015) 'Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment', (July).

Mathalon, A. and Hill, P. (2014) 'Microplastic fibers in the intertidal ecosystem surrounding Halifax Harbor , Nova Scotia', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 81(1), pp. 69–79. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.02.018.

Mazariegos-Ortíz, C. *et al.* (2020) 'First evidence of microplastic pollution in the El Quetzalito sand beach of the Guatemalan Caribbean', *Marine Pollution Bulletin*, 156(March), pp. 1–6. doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111220.

Metz, T., Koch, M. and Lenz, P. (2020) 'Quantification of microplastics: Which parameters are essential for a reliable inter-study comparison?', *Marine Pollution Bulletin*, 157(June). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111330.

Miller, R. Z. *et al.* (2017) 'Mountains to the sea : River study of plastic and non-plastic micro fiber pollution in the northeast USA', 124(March), pp. 245–251. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.07.028.

MLS (2018) *4th Progress Report, March 2018*. Available at: <https://www.marinelittersolutions.com/wp-content/uploads/2018/04/Marine-Litter-Report-2018.pdf>.

Mohamed Nor, N. H. and Obbard, J. P. (2014) 'Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems', *Marine Pollution Bulletin*, 79(1–2), pp. 278–283. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.11.025.

Moore, C. J., Lattin, G. L. and Zellers, A. F. (2011) 'Quantity and type of plastic debris flowing from two urban rivers to coastal waters and beaches of Southern California *', 11(1), pp. 65–73.

Moreira, F. T. *et al.* (2016) 'Small-scale temporal and spatial variability in the abundance of plastic pellets on sandy beaches: Methodological considerations for estimating the input of microplastics', *Marine Pollution Bulletin*, 102(1), pp. 114–121. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.11.051.

MSFD Technical Subgroup on Marine Litter (2013) *Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas*. Unión Europea. doi: 10.2788/99475.

Murk, A. J. *et al.* (2014) 'How much do PCB toxic equivalents account for PHAH toxicity in predatory birds?', 193, pp. 240–246. doi: 10.1016/j.envpol.2014.07.004.

Nachite, D. *et al.* (2019) 'Spatial and temporal variations of litter at the Mediterranean beaches of Morocco mainly due to beach users', *Ocean & Coastal Management*. Elsevier, 179, p. 104846. doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104846.

Nelms, S. E. *et al.* (2020) 'Investigating the distribution and regional occurrence of anthropogenic litter in English marine protected areas using 25 years of citizen-science beach clean data', *Environmental Pollution*, 263. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114365.

NOAA (2017a) *Currents. Surface Ocean Currents. Wind Drive Surface Ocean Currents.*, NOAA Ocean Service Education.

NOAA (2017b) *Currents. Surface Ocean Currents*, NOAA Ocean service education.

NOAA (2020) *Weather Glossary for Storm Spotters*, NOAA Technical Memorandum NWS SR-145. Available at: <https://www.weather.gov/oun/spotterglossary>.

NOAA and UNEP (2011) 'The Honolulu Strategy: A Global Framework for Prevention and Management of Marine Debris', *A Report Developed by the United Nations Environment Programme (UNEP) and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Marine Debris Program at the Fifth International Marine Debris Conference*, pp. 1–50. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Novotny, T. E. *et al.* (2009) 'Cigarettes butts and the case for an environmental policy on hazardous cigarette waste', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(5), pp. 1691–1705. doi: 10.3390/ijerph6051691.

NOWPAP (2007) 'Guidelines for monitoring marine litter on the beaches and shorelines of the North West Pacific region', p. 12.

Ocean Conservancy (2012) *2011 Report: Tracking Trash 25 Years of Action for the Ocean*. Washington, D.C. Available at: <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2017/04/2011-Ocean-Conservancy-ICC-Report.pdf>.

Ocean Conservancy (2017) *History of Ocean Conservancy*.

Ocean Conservancy (2020) *2019 Report: The Beach and Beyond*. Washington, D.C. Available at: <https://oceanconservancy.org/wp-content/uploads/2019/09/Final-2019-ICC-Report.pdf>.

Opfer, S., Arthur, C. and Lippiatt, S. (2012) 'NOAA Marine Debris Shoreline Survey Field Guide', *NOAA Marine Debris Program*, (January), p. 19.

Ortiz, L. *et al.* (2010) 'Zona costera', *Gobierno del Estado de Veracruz*, pp. 124–146.

Osborne (2007) 'Pollution in the Ocean, Highlights of National Academies Reports', *Ocean Science Series*.

OSPAR (2010) 'Guideline for monitoring marine litter on the beaches in the OSPAR Maritime Area', *OSPAR Commission*, 1, p. 84.

Paler, M. K. O. *et al.* (2019) 'Plastic waste occurrence on a beach off southwestern Luzon, Philippines', *Marine Pollution Bulletin*, 141(February), pp. 416–419. doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.02.006.

Patchaiyappan, A. *et al.* (2020) 'Occurrence, distribution and composition of microplastics in the sediments of South Andaman beaches', *Marine Pollution Bulletin*, 156(March). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111227.

Peng, G. *et al.* (2017) 'Microplastics in sediments of the Changjiang Estuary, China', *Environmental Pollution*, 225, pp. 283–290. doi: 10.1016/j.envpol.2016.12.064.

Pervez, R. *et al.* (2020) 'The analysis of the accumulation of solid waste debris in the summer season along the Shilaoren Beach Qingdao, China', *Regional Studies in Marine Science*, 34. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101041.

Piperagkas, O., Papageorgiou, N. and Karakassis, I. (2019) 'Qualitative and quantitative assessment of microplastics in three sandy Mediterranean beaches, including different methodological approaches', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 219(August 2018), pp. 169–175. doi: 10.1016/j.ecss.2019.02.016.

Pirsaheb, M., Hossini, H. and Makhdoumi, P. (2020) 'Review of microplastic occurrence and toxicological effects in marine environment: Experimental evidence of inflammation', *Process Safety and Environmental Protection*, 142, pp. 1–14. doi: 10.1016/j.psep.2020.05.050.

Plastic Industry Association (2017) *Our Rebrand*.

PlasticEurope (2019) *Plastics - the facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data*.

Portman, M. E. and Brennan, R. E. (2017) 'Marine litter from beach-based sources: Case study of an Eastern Mediterranean coastal town', *Waste Management*, 69(2017), pp. 535–544. doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.040.

Possatto, F. E. *et al.* (2011) 'Plastic debris ingestion by marine catfish : An unexpected fisheries impact', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 62(5), pp. 1098–1102. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.01.036.

Prata, Joana C. *et al.* (2020) 'Effects of spatial and seasonal factors on the characteristics and carbonyl index of (micro)plastics in a sandy beach in Aveiro, Portugal', *Science of the Total Environment*, 709. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135892.

Prata, Joana Correia *et al.* (2020) 'Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects', *Science of the Total Environment*, 702. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134455.

Qiu, Q. *et al.* (2015) 'Occurrence of microplastics in the coastal marine environment: First observation on sediment of China', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 98(1–2), pp. 274–280. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.028.

Rangel-Buitrago, N. *et al.* (2018) 'Litter impacts on beach/dune systems along the Atlantico Department, the Caribbean Coastline of Colombia', *Marine Pollution Bulletin*. Pergamon, 137, pp. 35–44. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.10.009.

Rangel-Buitrago, N. *et al.* (2019) 'Marine debris occurrence along Las Salinas beach, Viña Del Mar (Chile): Magnitudes, impacts and management', *Ocean and Coastal Management*, 178(May). doi: 10.1016/j.ocecoaman.2019.104842.

Rayon-Viña, F. *et al.* (2018) 'Marine litter in south Bay of Biscay: Local differences in beach littering are associated with citizen perception and awareness', *Marine Pollution Bulletin*, 131(April), pp. 727–735. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.04.066.

Rehse, S., Kloas, W. and Zarfl, C. (2016) 'Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of *Daphnia magna*', *Chemosphere*, 153, pp. 91–99. doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.133.

Retama, I. *et al.* (2016) 'Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 113(1–2), pp. 530–535. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.08.053.

Rocha-Santos, T. and Duarte, A. C. (2015) 'A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment', *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*. Elsevier B.V., 65, pp. 47–53. doi: 10.1016/j.trac.2014.10.011.

Rochman, C. M. *et al.* (2015) 'Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption', *Scientific Reports*. Nature Publishing Group, 5(1), p. 14340. doi: 10.1038/srep14340.

Rochman, C. M. (2015) 'The Complex Mixture, Fate and Toxicity of Chemicals Associated with Plastic Debris in the Marine Environment', in Bergmann, M., Gutow, L., and Klages, M. (eds) *Marine Anthropogenic Litter*. SpringerOpen.

Rodrigues, J. P. *et al.* (2019) 'Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critical overview', *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 111, pp. 252–260. doi: 10.1016/j.trac.2018.11.038.

Rodríguez-Díaz, L. *et al.* (2020) 'The Bay of Biscay as a trapping zone for exogenous plastics of different sizes', *Journal of Sea Research*, 163(April). doi: 10.1016/j.seares.2020.101929.

Root, T. (2019) *Las colillas de cigarrillos también significan contaminación plástica tóxica, ¿Planeta o plástico?* Available at: <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2019/08/las-colillas-de-cigarrillos-tambien-significan-contaminacion-plastica-toxica>.

Rosado-Piña, V. L. *et al.* (2018) 'Caracterización de microplásticos y muestreo de residuos sólidos urbanos de la playa de Tuxpan, Veracruz', in A.C., S. M. de C. y T. A. en R. S. (ed.) *Encuentro de Expertos en Residuos. Los residuos como recurso.*, p. 686. Available at: [file:///C:/Users/ROSA MARÌA ESPINOSA/Downloads/EncuentroExpertos11 \(1\).pdf](file:///C:/Users/ROSA%20MARIA%20ESPINOSA/Downloads/EncuentroExpertos11%20(1).pdf).

Salvador, F., Turra, A. and Baruque-ramos, J. (2017) 'Science of the Total Environment Synthetic fibers as microplastics in the marine environment : A review from textile perspective with a focus on domestic washings', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 598, pp. 1116–1129. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.04.172.

Sánchez-García, M. A. *et al.* (2016) 'Separación y caracterización de microplásticos en playas mexicanas', in Ojeda-Benitez, S. *et al.* (eds) *Los Residuos Sólidos como fuente de materiales y energía*. Queretaro: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología Aplicada a Residuos Sólidos A.C., p. 552.

Sartain, M., Wessel, C. and Sparks, E. (2018) 'Microplastics sampling an processing guidebook', pp. 14–20. Available at: <http://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/p3243.pdf>.

Schmidt, N. *et al.* (2017) 'Progress in Oceanography Occurrence of microplastics in surface waters of the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea)', *Progress in Oceanography*. Elsevier, (xxxx), pp. 0–1. doi: 10.1016/j.pocean.2017.11.010.

Schneider, F. *et al.* (2018) 'Collected marine litter — A growing waste challenge', *Marine Pollution Bulletin*, 128, pp. 162–174. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.011.

SEMARNAT, S. del M. A. y R. N. (2007) *Programa de Conservación y Manejo de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado*. Primera ed. México.

SEMARNAT, S. del M. A. y R. N. (2016) *Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016 Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas*.

Seoánez Calvo, M. (2017) *Manual de contaminación marina y restauración del litoral : contaminación, accidentes y catástrofes, agresiones a las costas y soluciones : el turismo de costa, la pesca, la ordenación y la gestión del litoral / M. Seoánez Calvo ; colaboración de Ramón Va*.

Sharma, M. D. *et al.* (2020) 'Assessment of cancer risk of microplastics enriched with polycyclic aromatic hydrocarbons', *Journal of Hazardous Materials*, 398(March). doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122994.

Silva-Iñiguez, L. and Fischer, D. W. (2003) 'Quantification and classification of marine litter on the municipal beach of Ensenada, Baja California, Mexico', *Marine Pollution Bulletin*, 46(1), pp. 132–138. doi: 10.1016/S0025-326X(02)00216-3.

Silva, M. L. da *et al.* (2015) 'Spatial-temporal analysis of marine debris on beaches of Niterói, RJ, Brazil: Itaipu and Itacoatiara', *Marine Pollution Bulletin*, 92(1–2), pp. 233–236. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.12.036.

da Silva, M. L. *et al.* (2018) 'Marine debris on beaches of Arraial do Cabo, RJ, Brazil: An important coastal tourist destination', *Marine Pollution Bulletin*. Pergamon, 130, pp. 153–158. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2018.03.026.

Silva, M. L. da *et al.* (2018) 'Marine debris on beaches of Arraial do Cabo, RJ, Brazil: An important coastal tourist destination', *Marine Pollution Bulletin*, 130(December 2017), pp. 153–158. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.03.026.

SSPC (2019) *Caravana Migrante con Visión Humanitaria, Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana*. Available at: <https://www.gob.mx/sspc/prensa/mexico-activa-plan-de-atencion-a-caravana-migrante-con-vision-humanitaria>.

Tarbuck, E. J. *et al.* (2014) *Earth: an introduction to physical geology*. Pearson.

Tavares, D. C. *et al.* (2020) 'Density and composition of surface and buried plastic debris in beaches of Senegal', *Science of the Total Environment*, 737. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139633.

Thiel, M. *et al.* (2013) 'Anthropogenic marine debris in the coastal environment : A multi-year comparison between coastal waters and local shores', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 71(1–2), pp. 307–316. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.01.005.

Thompson, R. C. *et al.* (2004) 'Lost at Sea: Where Is All the Plastic?', *Science*, pp. 838–838. doi: 10.1126/science.1094559.

Trevail, A. M. *et al.* (2015) 'Elevated levels of ingested plastic in a high Arctic seabird, the northern fulmar (*Fulmarus glacialis*)', *Polar Biology*, 38(7), pp. 975–981. doi: 10.1007/s00300-015-1657-4.

Tudor, D. T. and Williams, A. T. (2003) 'Public Perception and Opinion of Visible Beach Aesthetic Pollution: The Utilisation of Photography', *Journal of Coastal Research*, 19(4), pp. 1104–1115.

Turra, A. *et al.* (2015) 'Three-dimensional distribution of plastic pellets in sandy beaches: shifting paradigms', *Scientific Reports*, 4(1), p. 4435. doi: 10.1038/srep04435.

UIProspector (2018) *Acetato de celulosa (CA) Propiedades típicas Generic CA*.

Urban-Malinga, B. *et al.* (2020) 'Microplastics on sandy beaches of the southern Baltic Sea', *Marine Pollution Bulletin*, 155(October 2019). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111170.

Vedolin, M. C. *et al.* (2017) 'Spatial variability in the concentrations of metals in beached microplastics', *Marine Pollution Bulletin*, (April). doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.10.019.

Veerasingam, S. *et al.* (2016) 'Influence of 2015 flood on the distribution and occurrence of microplastic pellets along the Chennai coast, India', *Marine Pollution Bulletin*, 109(1), pp. 196–204. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.05.082.

Vidyasakar, A. *et al.* (2020) 'Characterization and distribution of microplastics and plastic debris along Silver Beach, Southern India', *Marine Pollution Bulletin*, 158(April). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111421.

Villegas-Romero, I. *et al.* (2009) 'Trayectoria y relación lluvia- escurrimiento causados por el huracán Paulina en la cuenca del río la Sabana, Guerrero, México', *Agrociencia*, 43(4), pp. 345–356.

Viršek, M. K. *et al.* (2017) 'Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*', *Marine Pollution Bulletin*, (August). doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.08.024.

Vlachogianni, T. *et al.* (2018) 'Marine litter on the beaches of the Adriatic and Ionian Seas: An assessment of their abundance, composition and sources', *Marine Pollution Bulletin*, 131, pp. 745–756. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.006.

Wang, T. *et al.* (2020) 'Coastal zone use influences the spatial distribution of microplastics in Hangzhou Bay, China', *Environmental Pollution*, 266. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115137.

Wesch, C. *et al.* (2016) 'Towards the suitable monitoring of ingestion of microplastics by marine biota: A review', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 218, pp. 1200–1208. doi: 10.1016/j.envpol.2016.08.076.

Wessel, C. C. *et al.* (2016) 'Abundance and characteristics of microplastics in beach sediments: Insights into microplastic accumulation in northern Gulf of Mexico estuaries', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 109(1), pp. 178–183. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.06.002.

Wilkinson, T. A. C. *et al.* (2009) *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Montreal.

Williams, A. T. *et al.* (2016) 'Distribution of beach litter along the coastline of Cádiz, Spain', *Marine Pollution Bulletin*, 107(1), pp. 77–87. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.04.015.

Wright, S. L., Thompson, R. C. and Galloway, T. S. (2013) 'The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review', *Environmental Pollution*, 178, pp. 483–492. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.

Wu, F. *et al.* (2020) 'Variation in microplastics composition at small spatial and temporal scales in a tidal flat of the Yangtze Estuary, China', *Science of the Total Environment*, 699. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134252.

Wu, N. *et al.* (2020) 'Co-effects of biofouling and inorganic matters increased the density of environmental microplastics in the sediments of Bohai Bay coast', *Science of the Total Environment*, 717. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134431.

Xu, X. Y. *et al.* (2017) 'Microplastic ingestion reduces energy intake in the clam *Atactodea striata*', *Marine Pollution Bulletin*, 124(2), pp. 798–802. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.12.027.

Young, A. M. and Elliott, J. A. (2016) 'Characterization of microplastic and mesoplastic debris in sediments from Kamilo Beach and Kahuku Beach, Hawai'i', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 113(1–2), pp. 477–482. doi: 10.1016/j.marpolbul.2016.11.009.

Yu, X. *et al.* (2018) 'Occurrence and distribution of microplastics at selected coastal sites along the southeastern United States', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 613–614, pp. 298–305. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.100.

Zhang, C. *et al.* (2017) 'Toxic effects of microplastic on marine microalgae *Skeletonema costatum* : Interactions between microplastic and algae *', *Environmental Pollution*. Elsevier Ltd, 220, pp. 1282–1288. doi: 10.1016/j.envpol.2016.11.005.

Zhang, Dongdong *et al.* (2020) 'Microplastic pollution in deep-sea sediments and organisms of the Western Pacific Ocean', *Environmental Pollution*, 259. doi: 10.1016/j.envpol.2020.113948.

Zhang, H. (2017) 'Estuarine , Coastal and Shelf Science Transport of microplastics in coastal seas', *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Elsevier Ltd, 199, pp. 74–86. doi: 10.1016/j.ecss.2017.09.032.

Zhang, H. *et al.* (2018) 'Occurrences of organophosphorus esters and phthalates in the microplastics from the coastal beaches in north China', *Science of The Total Environment*. Elsevier, 616–617, pp. 1505–1512. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2017.10.163.

Zhang, W. *et al.* (2017) 'Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China', *Environmental Pollution*, 231, pp. 541–548. doi: 10.1016/j.envpol.2017.08.058.

Zhao, S. *et al.* (2014) 'Suspended microplastics in the surface water of the Yangtze Estuary System, China: First observations on occurrence, distribution', *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 86(1–2), pp. 562–568. doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.06.032.

Zheng, Y. *et al.* (2020) 'Vertical distribution of microplastics in bay sediment reflecting effects of sedimentation dynamics and anthropogenic activities', *Marine Pollution Bulletin*, 152(December 2019). doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110885.

9 Anexos



The activist is not the man who says the river is dirty.

The activist is the man who cleans up the river.

Ross Perot

9.1 Ficha para el registro de características geográficas de la zona de estudio

Residuos en playa Hoja de datos de playa	Organización	
	Responsable	
	Fecha	
Área de muestreo		
ID Playa		
Nombre de la playa		
Nombre de la región		
Estado, municipio y localidad		
Ecosistema marino		
Sistema de coordenadas		
Características ambientales de la playa-Considerando el punto inicial del transecto		
Pendiente		
Aspecto		
Viento prevaleciente		
Curvatura de la playa		
Perfil horizontal		
Longitud total de la playa		
Tipo de sustrato		
Uniformidad del sustrato		
Litoral de arrecifes	Si	No
Litoral de prados marinos	Si	No
Intervalo de la zona tidal		
Rango tidal		
Parte trasera de la playa (Descripción)		
Vegetación terrestre (describir si hay)		
Características de ubicación de la playa-Considerando el punto inicial del transecto		

Localización y uso predominante de la playa	Urbano	
	Semi-urbano	
	Rural	
Estimación de visitantes por año		
Acceso		
Pueblo más cercano		
Distancia al pueblo más cercano		
Dirección al pueblo más cercano		
Nombre del río más cercano		
Distancia al río más cercano		
Dirección al río más cercano		
Playa con desazolve de arroyo/río	Si	No
Desazolve de aguas residuales	Si	No
Notas		

9.2 Ficha de evaluación de playas

Nombre de la playa: _____

Localización: _____

Municipio: _____

Estado: _____

Fecha de evaluación: _____

Evaluador: _____

	Se observa presencia de:	Puntaje		Observaciones
		0	1	
Urbanización	1. Tiendas de conveniencia (7eleven, Oxxo, Gomart)	No	Sí	
	2. Tráfico de vehículos en la arena	Sí	No	
	3. Malecones o andadores	No	Sí	
	4. Accesos a la playa	No	Sí	
	5. Estacionamientos	No	Sí	
	6. Transporte público	No	Sí	
	7. Accesos para discapacitados	No	Sí	
	8. Sanitarios	No	Sí	
	9. Vestidores	No	Sí	
	10. Regaderas	No	Sí	
	11. Restaurantes	No	Sí	
	12. Hoteles a las orillas de la playa	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia: 0 puntos • 1 a 2 pisos: 1 punto • 3 a 5 pisos: 2 puntos • Más de 5 pisos: 3 puntos 		() () () ()
TOTAL				Máximo: 14 puntos

	Se observa presencia de:	Puntaje		Observaciones
		0	1	
Conservación	1. Plagas	Si	No	
	2. Acciones de protección para la flora y fauna	No	Sí	
	3. Descarga de aguas residuales	Sí	No	
	4. Espuma de origen diferente al oleaje	Sí	No	
	5. Información sobre caracterización microbiológica del agua	No	Sí	
	6. Programa de playa limpia	No	Sí	
	7. Ruido en nivel intolerable	Si	No	
	8. Cubierta vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Desnudo (< 10%): 0 puntos • Matorrales y malezas: 1 punto • Especies mayores poco variadas: 2 puntos • Especies mayores muy variadas: 3 puntos 		() () () ()
	9. Dunas	<ul style="list-style-type: none"> • Ausentes: 0 puntos • Restos: 1 punto • Cresta de dunas, dunas delanteras: 2 puntos • Dunas secundarias o varios tipos de dunas: 3 puntos 		() () () ()
	TOTAL			

	Se observa presencia de:	Puntaje		Observaciones
		0	1	
Potencial recreativo	1. Comercio detallista	No	Sí	
	2. Vehículos motorizados sobre la playa	No	Sí	
	3. Salvavidas	No	Sí	
	4. Palapas, sillas, sombrillas	No	Sí	
	5. Vigilancia	No	Sí	
	6. Señalización	No	Sí	
	7. Sanitarios públicos	No	Sí	
	8. Surf	No	Sí	
	9. Deportes en la arena	No	Sí	
	10. Buceo libre	No	Sí	
	11. Bananas	No	Sí	
	12. Paseos a caballo	No	Sí	
	13. Pesca	No	Sí	
	14. Venta de alimentos	No	Sí	
	15. Camping	No	Sí	
	16. Visitantes	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia: 0 puntos () • Pocos visitantes: 1 punto () • Demanda moderada; 2 puntos () • Gran demanda, saturación: 3 puntos () 		
TOTAL				Máximo: 18 puntos

	Se observa presencia de:	Puntaje		Observaciones
		0	1	
Gestión de residuos	1. Señalización sobre residuos	No	Sí	
	2. Restos de residuos incinerados	Sí	No	
	3. Sólidos flotantes	Sí	No	
	4. Película de grasas, aceites o residuos derivados de petróleo sobre la superficie del agua	Sí	No	
	5. Programa educativo de recolección de residuos en el último año	No	Sí	
	6. Programa de manejo de residuos sólidos	No	Sí	
	7. Residuos peligrosos	Si	No	
	8. Pepena	No	Sí	
	9. Botes de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • No existen: 0 puntos () • En mal estado o insuficientes: 1 punto () • En buen estado, suficientes: 2 puntos () • En buen estado, suficientes y por categorías: 3 puntos () 		
	10. Limpieza de playa	<ul style="list-style-type: none"> • No se realiza: 0 puntos () • Esporádica, menos de 1 vez al mes: 1 punto () • Más de 1 vez al mes: 2 puntos () • Más de 1 vez a la semana: 3 puntos () 		
	11. Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Línea completa de residuos: 0 punto () • Acumulaciones separadas: 1 punto () • Pocos residuos dispersos: 2 puntos () • Prácticamente ausente, ausencia total: 3 puntos () 		
	12. Percepción de los usuarios	Se evaluará como el promedio obtenido a partir de la aplicación de encuestas, con un puntaje de 0 a 5		
TOTAL				Máximo: 22 puntos

	Se observa presencia de:	Puntaje		Observaciones
		0	1	
Contaminación	1. Descarga de aguas residuales	No	Sí	
	2. Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Línea completa de residuos: 3 puntos () • Acumulaciones separadas: 2 punto () • Pocos residuos dispersos: 1 puntos () • Prácticamente ausente, ausencia total: 0 puntos () 		
	3. Manchas de residuos de petróleo en la arena	<ul style="list-style-type: none"> • Manchas grandes continuas: 4 puntos () • Manchas pequeñas (< a 5 cm) continuas: 3 puntos () • Manchas grandes aisladas: 2 puntos () • Manchas pequeñas aisladas: 1 punto () • Prácticamente ausente, ausencia total: 0 puntos () 		
	TOTAL			Máximo: 8 puntos

9.3 Encuesta de percepción para el usuario

Edad _____ Género _____

Escolaridad máxima: _____

Estado de procedencia: _____

Número de visitas anuales a la playa: _____

Pregunta	Opciones	Puntaje	Observación
¿Qué hace con la basura que genera en la playa?	La entierra o la deja en el lugar	0	
	Se la lleva o la deposita en los contenedores	1	
¿Ha visto basura tirada en esta playa?	Sí	0	
	No	1	
¿Cómo evalúa esta playa en términos de limpieza?	Sucia	0	
	No lo sabe, intermedia	0.5	
	Limpia	1	
¿Ha visto indicaciones sobre cómo manejar la basura en esta playa?	No	0	
	Sí	1	
¿Ha identificado dónde se encuentra el bote de basura más cercano?	No	0	
	Si	1	
TOTAL			Máximo: 5 puntos
Preguntas que no se considerarán en el cálculo del indicador			
En esta playa ¿cuál de este tipo de basura ha encontrado en el agua o en la arena?			
() Orgánica () Plásticos () Metales () Papel y cartón () Vidrio () Colillas			
¿Considera que hay problemática ambiental por la presencia de plásticos en esta playa? () Si () No () No sabe			
¿Sabe qué son los microplásticos? () Si () No			
¿Sabe que efectos causan los microplásticos en los ambientes marinos? () Si () No			

9.4 Ficha para clasificación de residuos sólidos en ambientes marinos

Clase	Composición del material	Código del residuo	Forma del residuo y ejemplos	RLC	Número de piezas
1	Plástico	PL01	Tapas de botellas o recipientes	RL01	
2	Plástico	PL02	Botellas <2 litros	RL02	
3	Plástico	PL03	Botellas, garrafrones, recipientes >2 litros	RL03	
4	Plástico	PL04	Cuchillos, tenedores, cucharas, agitadores, palitos de paleta y popotes	RL26	
5	Plástico	PL05	Arillos y portadores de bebidas (six pack)	RL11	
6	Plástico	PL06	Contenedores de comida (comida rápida, tazas, vasos, platos similares)	RL09	
7	Plástico	PL07	Bolsas de plástico (opacas o transparentes)	RL15	
8	Plástico	PL08	Juguetes y artículos de fiesta	RL27	
9	Plástico	PL09	Guantes	RL25	
10	Plástico	PL10	Encendedores	RL20	
11	Plástico	PL11	Cigarros, colillas y filtros	RL19	
12	Plástico	PL12	Jeringas	RL18	
13	Plástico	PL13	Cestas, cajas y bandejas	RL06	
14	Plástico	PL14	Boyas de plástico	RL04	
15	Plástico	PL15	Mallas (vegetales, ostras o mejillones). Costales de rafia	RL25	
16	Plástico	PL16	Lonas, bolsas de plástico tejidas y playo	RL16	
17	Plástico	PL17	Artículos de pesca (señuelos, trampas y redes pasivas)	RL06	
18	Plástico	PL18	Línea de monofilamento	RL07	
19	Plástico	PL19	Cuerda	RL08	
20	Plástico	PL20	Red de pescar	RL05	
21	Plástico	PL21	Fleje	RL17	
22	Plástico	PL22	Fragmentos de fibra de vidrio	RL23	
23	Plástico	PL23	Gránulos de resinas (Pellets)	RL23	
24	Plástico	PL24	Otros (especificar)	RL23	
25	Plástico espumado	FP01	Esponjas de espuma	RL13	
26	Plástico espumado	FP02	Vasos, charolas y contenedores de alimentos. Unigel.	RL09	
27	Plástico espumado	FP03	Boyas de espuma	RL04	
28	Plástico espumado	FP04	Espuma de aislamiento y embalaje	RL13	
29	Plástico espumado	FP05	Otros (especificar)	RL13	
30	Tela	CL01	Ropa, zapatos, sombreros y toallas	RL25	
31	Tela	CL02	Mochilas y bolsos	RL25	
32	Tela	CL03	Lienzo, lona y sacos	RL25	
33	Tela	CL04	Cuerda	RL08	
34	Tela	CL05	Alfombras y muebles	RL25	
35	Tela	CL06	Otras telas (incluyendo trapos)	RL25	
36	Vidrio y cerámica	GC01	Material de construcción (ladrillos, cemento, tubos)	RL23	
37	Vidrio y cerámica	GC02	Botellas y tarros	RL02	
38	Vidrio y cerámica	GC03	Vajilla (platos y tazas)	RL26	

39	Vidrio y cerámica	GC04	Foco	RL22	
40	Vidrio y cerámica	GC05	Lámparas de luz fluorescentes	RL21	

Clase	Composición del material	Código del residuo	Forma del residuo y ejemplos	RLC	Número de piezas
41	Vidrio y cerámica	GC06	Boyas de cristal	RL04	
42	Vidrio y cerámica	GC07	Fragmentos cerámicos o de vidrio	RL23	
43	Vidrio y cerámica	GC08	Otros (especificar)	RL23	
44	Metal	ME01	Vajilla (platos, vasos y cubiertos)	RL26	
45	Metal	ME02	Tapas de botellas, tapas y anillas de aluminio	RL01	
46	Metal	ME03	Latas de bebida de aluminio	RL10	
47	Metal	ME04	Otras latas <4 l	RL10	
48	Metal	ME05	Tanques de gas, bidones y baldes >4 l	RL03	
49	Metal	ME06	Papel aluminio	RL09	
50	Metal	ME07	Artículos relacionados con la pesca (plomos, señuelos, anzuelos y trampas)	RL06	
51	Metal	ME08	Fragmentos	RL23	
52	Metal	ME09	Alambre, malla y alambre de púas	RL29	
53	Metal	ME10	Otros (especificar) incluir aparatos	RL23	
54	Papel y cartón	PC01	Papel (incluyendo periódicos y revistas)	RL14	
55	Papel y cartón	PC02	Cajas y fragmentos de cartón	RL14	
56	Papel y cartón	PC03	Tazas, bandejas de comida, envolturas de comida, cigarrillos	RL09	
57	Papel y cartón	PC04	Tubos para fuegos artificiales	RL27	
58	Papel y cartón	PC05	Otros (especificar)	RL23	
59	Caucho y látex	RB01	Balones, pelotas y juguetes	RL27	
60	Caucho y látex	RB02	Calzado (sandalias)	RL25	
61	Caucho y látex	RB03	Globos	RL25	
62	Caucho y látex	RB04	Llantas	RL28	
63	Caucho y látex	RB05	Salvavidas, cámaras de neumáticos y láminas de caucho	RL28	
64	Caucho y látex	RB06	Ligas, pulseras de caucho	RL23	
65	Caucho y látex	RB07	Condomes	RL18	
66	Caucho y látex	RB08	Otros (especificar)	RL23	
67	Madera	WD01	Cochos	RL23	
68	Madera	WD02	Trampas de pesca y macetas	RL06	
69	Madera	WD03	Palitos de helado, tenedores y palillos	RL12	
70	Madera	WD04	Madera procesada (tarimas y cajas)	RL24	
71	Madera	WD05	Cerillos y fuegos artificiales	RL12	
72	Madera	WD06	Otros (especificar)	RL23	
73	Otros	OT01	Parafina o cera	RL23	

74	Otros	OT02	Sanitarios (pañales, bastoncillos de algodón, aplicadores de tampones, cepillos de dientes, toallas sanitarias, curitas)	RL18	
75	Otros	OT03	Electrodomésticos y electrónica	RL23	
76	Otros	OT04	Baterías (tipo antorcha)	RL23	
77	Otros	OT05	Otros (especificar)	RL23	

9.5 Anexo. Monografía de las playas estudiadas

En este anexo se presentan las monografías de las once playas estudiadas, desarrolladas a partir de dos campañas de muestreo, en los periodos de abril – julio de 2018 y marzo – junio de 2019. En cada monografía se proporciona información general sobre su localización, así como una descripción de las características geográficas, zona de muestreo, afluencia, infraestructura y limpieza de las mismas.

9.5.1 Playa Miramar

La playa Miramar se encuentra localizada al sur del estado de Tamaulipas, en el municipio de Ciudad Madero y es abastecida por las aguas del Golfo de México (Figura 117). Se sitúa entre las coordenadas $22^{\circ}17'3.32''$ N y $97^{\circ}47'57.45''$ O.



Figura 117 Localización de playa Miramar en el estado de Tamaulipas

Características geográficas

La Playa Miramar, abarca una extensión de aproximadamente 4 km, está fuertemente influenciada por la desembocadura del río Pánuco. Es una playa con pendientes suaves y sedimentos finos de color café dorado. Presenta una amplia afluencia de turistas locales y regionales provenientes del norte de Veracruz, Nuevo León, San Luis Potosí y en algunas épocas del año, de Estados Unidos.

Al norte de la playa se observa el tránsito de vehículos motorizados sobre la playa, además de actividades de pesca recreativa. En la Figura 118 se presenta el punto de muestreo, así como un área delimitada por un diámetro de 8 km, el cual fue asignado como referencia de manera arbitraria.



En la Figura 119 se presenta el transecto de 100 m en el que se realizaron los muestreos, se observa que en la parte trasera del transecto hay palapas distribuidas en hileras de (entre tres y cinco), lo anterior indica que esta zona es una de las de mayor afluencia, además en la parte trasera se tienen diferentes áreas de estacionamiento.

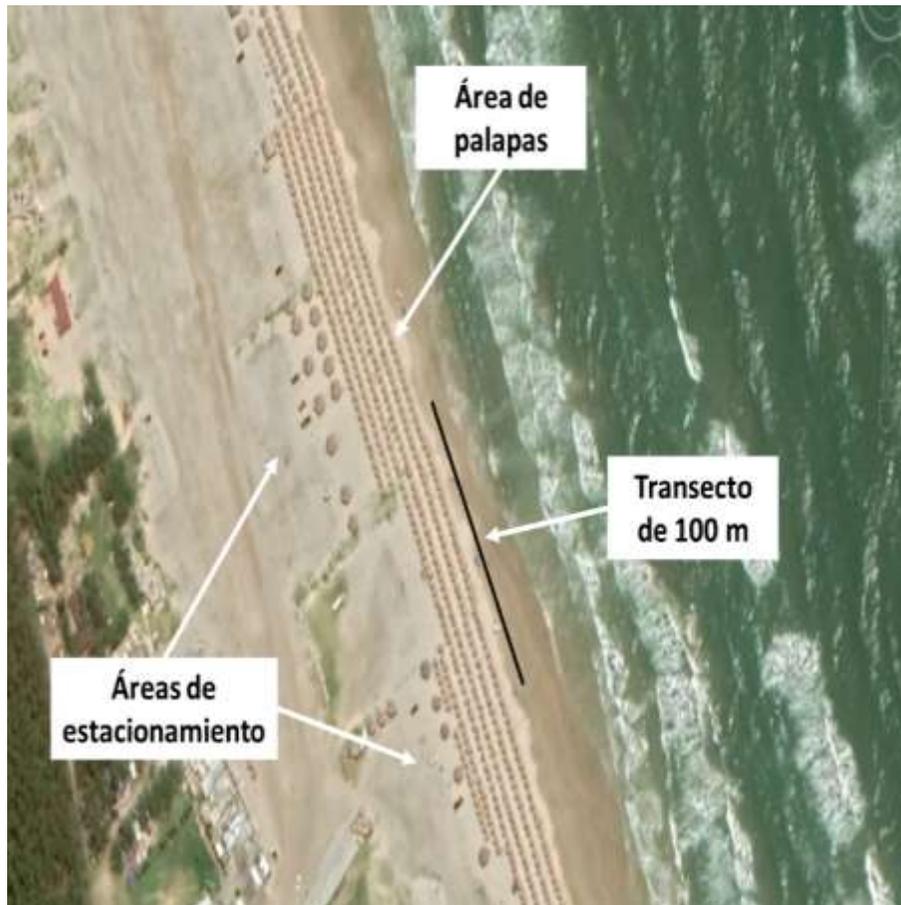


Figura 119 Zona de muestreo. Playa Miramar. Google Earth 16/06/2019

En la Figura 120, se presentan algunos aspectos que se consideraron relevantes de la playa. Se observa que en la misma se desarrollan actividades de venta de artículos para playa como flotadores, trajes de baño, además se observó una tienda móvil en el estacionamiento

de la playa. La infraestructura que se ofrece en la playa (sillas, mesas y palapas) está fabricada de madera, la instalación de baños móviles es otra característica. En cuanto a los recipientes para los residuos, estos son tambos de plástico de 200 litros los cuales son recolectados por camiones del municipio, existen también recipientes de mayor capacidad, los cuales son móviles.



Figura 120 Playa Miramar: a) imagen general de la playa, b-c) comercio sobre la playa, d) infraestructura de madera, e) baños portátiles instalados en la playa, f-g) depósitos de residuos y su recolección, h) depósito móvil de residuos, i) microplásticos en la playa

9.5.2 Playa Tecolutla

Playa Tecolutla se ubica en la región norte del estado de Veracruz y pertenece al municipio de Tecolutla, en la región marina del Golfo de México. Se sitúa entre las coordenadas 20°28'43.64" N y 97°0'19.21" O (Figura 121).



Figura 121 Localización de playa Tecolutla en el estado de Veracruz

Características geográficas

Playa Tecolutla tiene una extensión de aproximadamente 6 km, está influenciada por la desembocadura del río Tecolutla, además de presentar una zona de manglares. Es una playa con pendientes suaves y sedimentos fino de color café oscuro. Presenta una alta afluencia

de turistas provenientes principalmente del centro del país, así como de Puebla y de localidades aledañas. Al sur de la playa (cerca a la desembocadura del río) se presenta la mayor concentración de turistas, mientras que al norte se pueden observar dunas y flora nativa. Las actividades recreativas que se realizan en la playa son: toma de sol, nado y degustación de bebidas y alimentos (Figura 122).



Figura 122 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Tecolutla. Google Earth 20/01/2019

En la Figura 123 se presenta el transecto de 100 m seleccionado. El muestreo se realizó en la zona de mayor afluencia, en la que se colocan mesas, sillas y sombrillas, la mayoría fabricadas de plástico, las cuales son administradas por los locatarios de los puestos de comida y de los hoteles. Algunos hoteles instalados a orillas de la playa cuentan con accesos directos a la misma.



Figura 123 Zona de muestreo. Playa Tecolutla. Google Earth 16/06/2019

En la Figura 124, se presentan algunos aspectos que se consideraron relevantes de la playa. Puede observarse que es una playa con alta afluencia de turistas y por ende una alta concentración de vendedores ambulantes, los cuales ofertan desde artículos para la playa, hasta alimentos y bebidas. Existe una torre construida de madera, la cual es utilizada por

los salvavidas, la mayoría del mobiliario que se coloca en la playa es de plástico, el personal dueño de las palapas es quien se encarga de la recolección de los residuos que están en su zona, los cuales son depositados en bolsas negras y entregados al camión recolector de residuos del municipio.



Figura 124 Playa Tecolutla: a) imagen general de la playa, b-c) comercio sobre la playa, d) infraestructura de madera, e) mobiliario de plástico, f) residuos mal dispuestos en playa, g) limpieza de playa, h) residuos en la línea de pleamar, i) bolsas con residuos

9.5.3 Playa Progreso

Una de las playas que se seleccionó para la región marina del Mar Caribe fue playa Progreso, que pertenece al municipio del mismo nombre y se ubica al norte del estado de Yucatán, entre las coordenadas 21°17'19.27" N y 89°39'34.16" O (Figura 125).

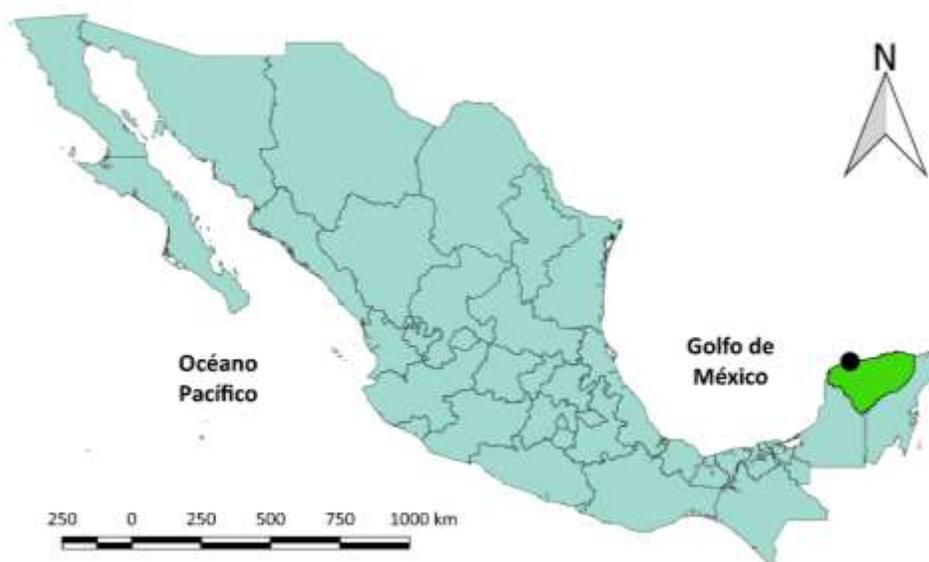


Figura 125 Localización de playa Progreso en el estado de Yucatán

Características geográficas

Playa Progreso cuenta con una extensión de 1 km, posee pendientes suaves y sedimentos de granulometría fina y color blanco. Aledaña a la playa se localizan el Estero Yucaletén con una superficie de 15 km², la reserva ecológica “El Corchito”, que se encuentra en una zona de cenotes y cuenta con una amplia variedad de plantas y aves, y el puerto marítimo, con una longitud aproximada de 6.5 km, el cual se ha convertido tanto en la base de la industria pesquera como en un punto importante de enlace turístico (Figura 126). La playa es visitada por turistas internacionales debido a que en ésta atracan cruceros, además de recibir turismo local sobre todo de Mérida y Quintana Roo. Las actividades recreativas que

se observaron fueron, toma del sol, caminata, nado, consumo de alimentos y bebidas, juego de voleibol, además se observó la presencia de inflables en el mar.



Figura 126 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Progreso. Google Earth 20/01/2019

El transecto de estudio seleccionado en esta playa se muestra en la Figura 127, detrás de éste se encuentra el área de palapas, que aproximadamente comprende 350 m de longitud y por lo tanto se consideró que es una zona con alta afluencia turística. Detrás de las palapas se ubica el malecón, que es muy transitado tanto en el día como en la noche.



Figura 127 Zona de muestreo. Playa Progreso. Google Earth 16/06/2019

En la playa se observa la presencia de residuos marinos vegetales, tales como sargazo y pasto marino, los cuales son depositados por las corrientes marinas y posteriormente el municipio se encarga de retirarlos, el puerto marítimo es visible desde la playa. En algunas zonas de la playa, las palapas y algunas mesas son de madera, sin embargo, en otras partes se observa infraestructura de plásticos. Existen diversos deportes que se practican en la playa como es el fútbol y voleibol, además se observó que en la playa se introducen juegos inflables. A lo largo de la playa se observan letreros sobre la importancia en el cuidado de algunas especies marinas y también la presencia de depósitos de PET, fabricados con malla galvanizada (Figura 128).

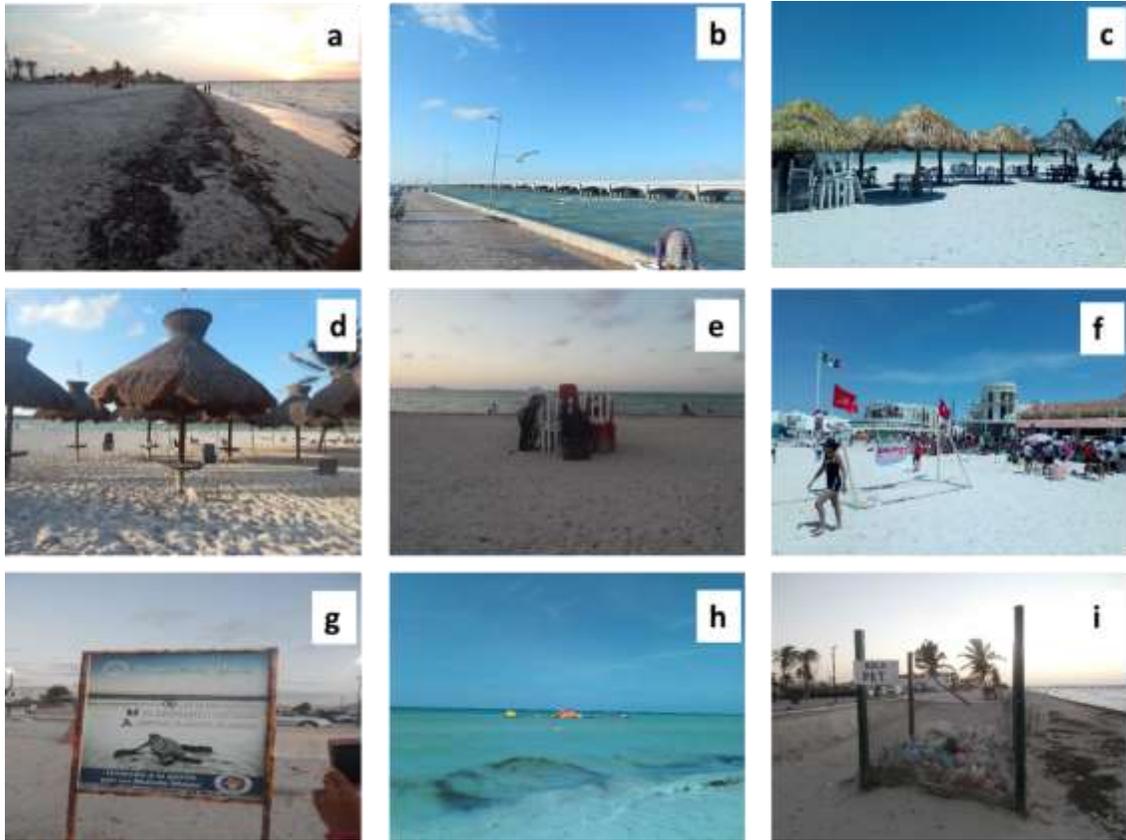


Figura 128 Playa Progreso: a) imagen general de la playa, b) puerto marítimo, c-d) infraestructura de madera, e) mobiliario de plástico, f) actividades recreativas en la playa, g) anuncios para la protección de la fauna, h) inflable dentro del mar, i) contenedor de PET

9.5.4 Playa Mahahual

Playa Mahahual forma parte de región marina del Mar Caribe, se localiza entre las coordenadas 18°42'54.55" N y 87°42'26.57" O al sur del estado de Quintana Roo, en la localidad del mismo nombre, perteneciente al municipio de Othón P. Blanco (Figura 129).



Figura 129 Localización de playa Mahahual en el estado de Quintana Roo

Características geográficas

La extensión de playa Mahahual es de 2.5 km, el color de la arena es blanco, con pendientes moderadas, oleaje suave y aguas poco profundas. Se ha convertido en un destino turístico alternativo a Cancún o la Riviera Maya. Algunas de las principales actividades recreativas que se llevan a cabo son el buceo y la pesca deportiva. Esta localidad cuenta con un puerto marítimo (Figura 130), que es el principal del municipio Othón P. Blanco, donde se ha construido un muelle de cruceros los cuales atracan continuamente, por lo que la presencia de turistas internacionales es muy común.



Figura 130 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Mahahual. Google Earth 20/01/2019

En la Figura 131 se ilustra el transecto de estudio en playa Mahahual el cual se seleccionó frente a una zona de palapas de aproximadamente 100 m. En esta zona es común observar lanchas atracadas a la playa, las cuales son empleadas para ofrecer tours.



Figura 131 Zona de muestreo. Playa Mahahual. Google Earth 16/06/2019

Algunos aspectos que fueron considerados como relevantes en la playa se presentan en la Figura 132. En la playa se presenta la acumulación de sargazo en las orillas, además de observar embarcaciones menores (lanchas y kayaks) atracadas en las orillas. Para retirar el sargazo se contrata a personal privado quienes lo retiran de la playa con bieldos, mientras que utilizan redes de pesca para retirar el que se encuentra en la superficie del agua, posteriormente el personal del municipio lo traslada a otra zona. A pesar de que la playa presenta una gran cantidad de letreros para concientizar a la población sobre el tema de la disposición de los residuos, en algunos puntos de la playa se puede percibir acumulaciones de éstos.



Figura 132 Playa Mahahual: a) imagen general de la playa, b) presencia de sargazo sobre la playa, c) embarcaciones atracadas a la orilla de la playa, d) recolección de sargazo, e) anuncios para concientizar al turismo, f) residuos incinerados en la playa, g) residuos mal depositados en la playa, h) recipientes de residuos en mal estado, i) recipientes de residuos divididos en fracciones reciclables, no reciclables y orgánicos

9.5.5 Playa Zipolite

Playa Zipolite se ubica geográficamente entre las coordenadas 15°39'43.99" N y 96°30'48.02" O de la localidad del mismo nombre perteneciente al municipio de San Pedro Pochutla en el estado de Oaxaca (Figura 133). Zipolite forma parte de la región marina Pacífico Tropical.



Figura 133 Localización de playa Zipolite en el estado de Oaxaca

Características geográficas

Zipolite es una playa de mar abierto que se localiza aproximadamente a 3 km de Puerto Ángel (Figura 134). Tiene una extensión de aproximadamente 1.75 km y se caracteriza por la presencia de arena de color dorado con granulometría media, pendientes suaves, oleaje fuerte y práctica de deportes acuáticos. Es visitada tanto por turismo nacional e internacional en las diferentes temporadas del año.

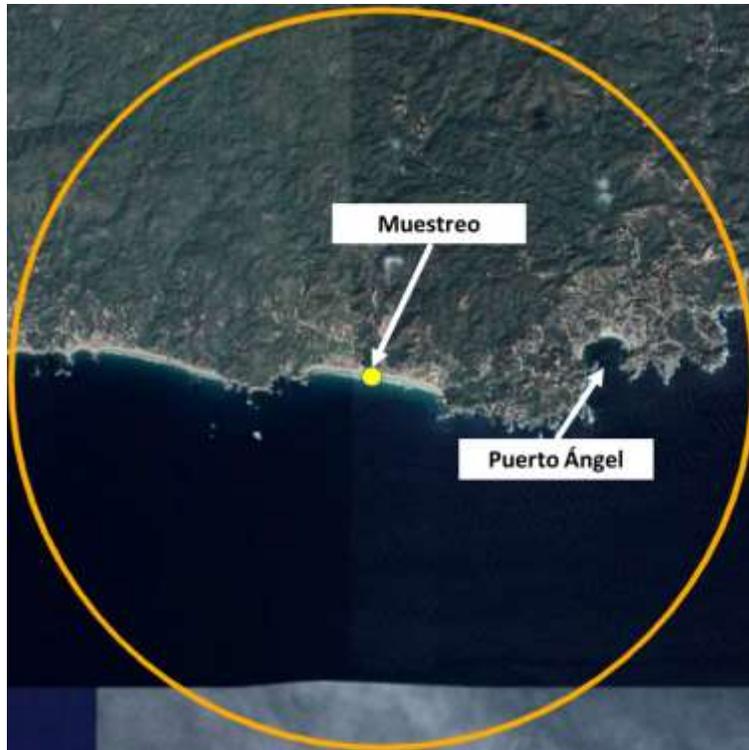


Figura 134 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Zipolite. Google Earth 20/01/2019

En la Figura 135 se representa el transecto de 100 m que se seleccionó para los muestreos de campo. Se aprecia que a orilla de la zona de playa de dicho transecto se encuentran hoteles y restaurantes, los cuales ofrecen a los turistas el servicio de palapas.



Figura 135 Zona de muestreo. Playa Zipolite. Google Earth 16/06/2019

En la playa de Zipolite es común la presencia de vendedores de alimentos, quienes utilizan envases de unicel para despachar sus productos, existe la evidencia del tránsito de vehículos motorizados sobre la playa, sobretodo en las madrugadas. Además a lo largo de la playa se observan letreros relacionados al cuidado de la playa, la mayoría de los botes son colocados por los mismos comerciantes. En algunas partes de la playa hay presencia de vegetación, enredada en ésta existe la presencia de microplásticos (Figura 136).



Figura 136 Playa Zipolite: a) imagen general de la playa, b) tránsito de vehículos en playa, c) comercio sobre la playa, d-e) depósitos de residuos, f) residuos mal depositados, g) residuos vegetales sobre la línea de pleamar, h) microplásticos entre residuos vegetales, i) microplásticos en la playa

9.5.6 Playa Troncones

Playa Troncones se ubica en el municipio de La Unión de Isidoro Montes de Oca, en la costa del estado de Guerrero, entre las coordenadas 17°46'35.37" N y 101°43'5.23" O (Figura 137). Al igual que Zipolite, Troncones también corresponde a la región marina del Pacífico Tropical.



Figura 137 Localización de playa Troncones en el estado de Guerrero

Características geográficas

La extensión de playa Troncones es de alrededor de 5 km. Se sitúa en mar abierto y se caracteriza por su oleaje fuerte. Presenta arena dorada con granulometría media, pendientes moderadas, práctica de pesa deportiva y surf. Esta playa se encuentra en una zona rural, por lo que hay poca infraestructura y por ende poco desarrollo turístico aun en temporada alta. Lo anterior se puede apreciar en la Figura 138, en la cual se observa que dentro de un diámetro de 8 km del punto de muestreo no hay presencia de puertos o algún otro elemento turístico relevante.



Figura 138 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Troncones. Google Earth 20/01/2019

El transecto de estudio que se eligió en esta playa se muestra en la Figura 139. Enfrente de éste se observa presencia de palapas y un pequeño edificio de alojamientos.



Figura 139 Zona de muestreo. Playa Troncones. Google Earth 16/06/2019

Las características relevantes que se encontraron en playa Troncones se presentan en la Figura 140. Troncones no es una playa muy concurrida, a lo largo de ella se observa una gran cantidad de recipientes para la disposición de los residuos, los cuales son colocados por los vendedores de la zona y habitantes. Hay varias formaciones rocosas a lo largo de la playa en donde de manera natural se acumulan los residuos.



Figura 140 Playa Troncones: a) imagen general de la playa, b) tránsito de vehículos en la playa, c) depósito de residuos en malas condiciones, d) advertencia del oleaje en la zona, e-f) depósitos de residuos colocados por comerciantes, g) residuos entre la vegetación, h) residuos en área de rocas, i) residuo plástico degradado

9.5.7 Playa Cruz de Huanacastle

La playa Cruz Huanacastle, perteneciente a la región marina del Golfo de California, se localiza en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, entre las coordenadas 20°45'4.77" N y 105°22'34.71" O (Figura 141).



Figura 141 Localización de playa Cruz de Huanacastle en el estado de Nayarit

Características geográficas

Cruz de Huanacastle es una playa con una extensión de 200 m, presenta sedimentos de color dorado y granulometría media, oleaje fuerte. Algunas actividades recreativas que se llevan a cabo son la pesca y natación. Este destino turístico se ha modernizado debido a la construcción de la Marina Riviera Nayarit, la cual cuenta con club de yates, centro de negocios, restaurante, mercado de mariscos y puerto deportivo (Figura 142), entre otras atracciones.



Figura 142 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Cruz de Huanacastle. Google Earth 20/01/2019

La ubicación del transecto de estudio para esta playa se muestra en la Figura 143. Se observa que la zona elegida cuenta con diversas actividades turístico-recreativas, ya que a un costado de ésta hay presencia de escolleras y el embarcadero de la Marina. Asimismo, enfrente del transecto de estudio se encuentran diversos alojamientos.



Figura 143 Zona de muestreo. Playa Cruz de Huanacaxtle. Google Earth 16/06/2019

Las principales características que presenta la playa Cruz de Huanacaxtle se encuentran ilustradas en las fotografías de la Figura 144, se observa la presencia de vehículos motorizados dentro de la playa, al igual que comercio ambulante, quienes ofrecen bebidas y alimento. A lo largo de la playa se observa la presencia de recipientes para residuos, así como de anuncios sobre el cuidado de la playa.



Figura 144 Playa Cruz de Huanacaxtle: a) imagen general de la playa, b) vehículos sobre la playa, c) comercio sobre la playa, d-e) recipientes para residuos, f-g) anuncios sobre residuos en la playa, h) muestreo de residuos, i) residuos voluminosos

9.5.8 Playa Brujas

Playa Brujas está ubicada entre las coordenadas 23°18'11.88" N y 106°29'25.23" O del extremo norte del municipio de Mazatlán, en el estado de Sinaloa (Figura 145). Pertenece a la región marina del Golfo de California.



Figura 145 Localización de playa Brujas en el estado de Sinaloa

Características geográficas

Playa Brujas es considerada una playa semi virgen que tiene una longitud de 5 km de arena fina color café oscuro, pendientes moderadas y grandes olas que favorecen los deportes acuáticos como el surf. Otras actividades que con frecuencia se llevan a cabo en esta playa son caminatas, paseos a caballo o cuatrimoto y lunadas. Playa Brujas se encuentra rodeada por los esteros “La Escopama” y “El Yugo” que albergan diversas especies marinas, aves, flora y fauna silvestre, y la marina Mazatlán, que se ubica dentro de un estero, el cual cuenta con un puerto deportivo y restaurantes, entre otras atracciones (Figura 146).



Figura 146 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Brujas. Google Earth 20/01/2019

La ubicación del transecto elegido en esta playa de estudio se señala en la Figura 147. Al igual que en la playa Cruz de Huanacastle, en playa Brujas no hay presencia de palapas frente a la zona de muestreo, sin embargo, se observa un hotel y algunos otros inmuebles con albercas.



Figura 147 Zona de muestreo. Playa Brujas. Google Earth 16/06/2019

En algunas zonas de la playa se observa la presencia de vehículos motorizados, además en varios puntos se encuentran ubicados recipientes para la disposición de residuos y letreros con mensajes del cuidado al ambiente, además se detectó la presencia de un recipiente destinado especialmente para las colillas de cigarros (Figura 148).



Figura 148 Playa Brujas: a-b) vista general de la playa, c-d) vehículos sobre la playa, e-f) depósitos de residuos, g-h) anuncio para la correcta disposición de residuos, i) microplásticos en la playa

9.5.9 Playa Puerto Peñasco

Esta playa se localiza en el municipio de Puerto Peñasco, al noroeste de Sonora, entre las coordenadas $31^{\circ}17'43.71''$ N y $113^{\circ}31'58.61''$ O (Figura 149). Se encuentra en la región marina del Golfo de California.



Figura 149 Localización de playa Puerto Peñasco en el estado de Sonora

Características geográficas

Esta playa cuenta con una extensión de 3 km, sus pendientes son medias, el oleaje es suave y sus sedimentos son dorados, de granulometría media. Los turistas que arriban a la playa son principalmente locales y de Estados Unidos, debido a la cercanía con la frontera. Dentro de un diámetro de influencia de 8 km, con respecto al punto de muestreo, se observa la presencia del puerto marítimo (Figura 150), así como una zona urbanizada.



Figura 150 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Puerto Peñasco. Google Earth 20/01/2019

El transecto de 100 m en el que se llevó a cabo la presente investigación se muestra en la Figura 151. A orillas de la playa se encuentra establecida una zona de casas rodantes, las cuales son típicas en la región. Aun cuando hay ausencia de palapas en esta zona es importante mencionar que siempre hay presencia de turismo, debido a que es posible ingresar la playa a través de vehículos motorizados (motonetas, cuatrimotos, coches o camionetas).



Figura 151 Zona de muestreo. Playa Puerto Peñasco. Google Earth 16/06/2019

Los principales hallazgos que se encontraron en esta playa se visualizan a modo de resumen en la Figura 152. Se observa que es una playa con poca afluencia, la mayoría de turistas son locales y regionales (Baja California y Sinaloa), sin embargo, en algunas temporadas recibe turistas provenientes de Estados Unidos. Los recipientes destinados para la gestión de residuos se encuentran en mal estado y en ocasiones su volumen es superado.



Figura 152 Playa Puerto Peñasco: a-c) vista general de la playa d) carpas de turistas, e) paseos en la playa, f-h) depósito de residuos, i) residuos de pesca

9.5.10 Playa Ensenada

En la región marina del Pacífico Noroeste se encuentra playa Ensenada, la cual pertenece al municipio de del mismo nombre. Esta playa se localiza entre las coordenadas $31^{\circ}50'8.47''$ N y $116^{\circ}36'38.83''$ O del Estado de Baja California (Figura 153).



Figura 153 Localización de playa Ensenada en el estado de Baja California

Características geográficas

Playa Ensenada tiene 7 km de extensión que se caracterizan por la presencia de sedimentos de color café con gránulos medios, pendientes suaves y oleaje moderado. Es una playa pública muy concurrida en cualquier época del año. Cerca de esta playa se encuentra el puerto marítimo (Figura 154) en donde se realizan actividades industriales de movimiento de contenedores y carga general, pesca comercial, cruceros, marinas, pesca deportiva y otras actividades turístico-recreativas.



Figura 154 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Ensenada. Google Earth 20/01/2019

El transecto de 100 m que se estudió en playa Ensenada se señala en la Figura 155. Enfrente de este transecto se encuentra el área de palapas la cual se extiende en casi toda la playa. El acceso a esta playa es a través de una escalera de madera, por lo que no pueden ingresar automóviles, pero sí motonetas. Debido a que playa Ensenada se localiza cerca de la carretera principal se asume que ésta pertenece a una zona urbana pues además en el trabajo de campo se observaron algunas tiendas de conveniencia y hoteles cercanos (Figura 155).



Figura 155 Zona de muestreo. Playa Ensenada. Google Earth 16/06/2019

En la Figura 156 se observan algunas características que se consideraron relevantes de playa Ensenada, las palapas así como las rampas de acceso están fabricadas de madera, además se encuentran señalización sobre los cuidados que se deben tener, se observó que es común realizar camping y en ocasiones se pueden observar residuos incinerados. Los depósitos para residuos son tambos de 200 litros, los cuales en ocasiones no son suficientes para la cantidad de residuos que se generan los fines de semana, además es común observar la pepena sobretodo de latas de alumnio.



Figura 156 Playa Ensenada: a-b) vista general de la playa, c) infraestructura de madera, d) anuncios de prohibición de residuos, e) acampado en la playa, f) residuos incinerados, g-h) depósitos de residuos, i) pepena de residuos en los depósitos

9.5.11 Playa Cerritos

Cerritos es otra de las playas que pertenecen a la región marina del Pacífico Tropical. Se localiza en el municipio de la Paz, Baja California Sur, entre las coordenadas geográficas $23^{\circ}19'40.78''$ N y $110^{\circ}10'48.44''$ O (Figura 157).



Figura 157 Localización de playa Cerritos en el estado de Baja California Sur

Características geográficas

Esta playa comprende 2 km, cuyas características principales son arena dorada con gránulos medios, pendientes suaves y oleaje fuerte. Algunas actividades turístico-recreativas que comúnmente se llevan a cabo en playa Cerritos son caminatas por la playa, recorridos en cuatrimoto y práctica de surf (motivo por el cual esta playa es frecuentemente visitada por turistas de diversas partes del mundo). Playa Cerritos está ubicada en una zona rural, que se encuentra rodeada por montañas rocosas, por lo que no hay una elevada presencia de infraestructura tal y como se percibe en la Figura 158, en el diámetro de 8 km de influencia con respecto al punto de muestreo.



Figura 158 Punto de muestreo y diámetro de referencia (8 km). Playa Cerritos. Google Earth 20/01/2019

El transecto de 100 m que se eligió para esta playa se muestra en la Figura 159. Se observa que a orilla de la playa se localiza la zona de alojamientos, la cual administra las palapas que se encuentran en esa zona. A un costado del transecto de estudio es donde generalmente se practica el surf.



Figura 159 Zona de muestreo. Playa Cerritos. Google Earth 16/06/2019

Las características que resultaron ser más significativas durante los muestreos en campo se presentan en la Figura 160. Se observa que es una playa con poca afluencias de visitantes, es una playa en donde la práctica de surf es la principal característica, se registró la presencia de recipientes de 200 litros para la recolección de los residuos, en algunas playas se observó la presencia de hidrocarburos.



Figura 160 Playa Cerritos: a-c) vistas general de la playa, d-f) sitios de hospedaje, g) palapas de madera, h) depósitos de residuos, i) residuos de hidrocarburos