



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA
Universidad Autónoma de Baja California
EXCELENCIA E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

INSTITUTO DE INGENIERÍA

“EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS Y RESIDUOS
SÓLIDOS EN UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA MARINA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

PRESENTA:

M. EN C. ARELY AREANELY CRUZ SALAS

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. SARA OJEDA BENÍTEZ

CODIRECTORA DE TESIS:

DRA. ALETHIA VÁZQUEZ MORILLAS

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

JUNIO 2024

RESUMEN

Los plásticos son materiales que se han convertido en el componente básico de una gran variedad de productos de uso común por las diversas ventajas que ofrecen, tales como bajo costo de producción, baja densidad, durabilidad y resistencia a la corrosión. Lo anterior ha llevado al aumento de su producción, sin embargo, a medida que esto sucede también se incrementa la generación de residuos plásticos. Cuando los residuos plásticos experimentan procesos de degradación dan lugar a piezas más pequeñas; aquellas con un tamaño menor o igual a 5 mm se les conoce como microplásticos (MP). Éstos representan un riesgo significativo debido su lenta degradación, la posibilidad de ser ingeridos por los organismos de niveles tróficos inferiores, su capacidad para sorber, del medio circundante, diferentes contaminantes orgánicos persistentes y metales. Además, diversas investigaciones han demostrado que los MP se encuentran distribuidos en diversos ecosistemas marinos, tales como playas, esteros, bahías, aguas superficiales y regiones polares.

Dentro de los diferentes ecosistemas marinos y costeros presentes en México se encuentran las áreas naturales protegidas (ANP), en lo que va del 2024 se han decretado 85 ANP federales ubicadas en estos ecosistemas. A pesar de que su objetivo principal es conservar la biodiversidad éstas enfrentan distintas afectaciones debido a la actividad del ser humano, entre las cuales se encuentra la contaminación por residuos sólidos y con ello la posibilidad de contaminación por microplásticos. En este sentido se desarrolló el presente proyecto cuyo objetivo fue analizar la presencia y fuentes de generación de microplásticos y residuos sólidos en un Área Natural Protegida marina, que permitiera diseñar una guía metodológica, así como la identificación de inconsistencias en la operatividad de su programa de manejo.

Se seleccionó el ANP Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y en ella la Isla Lobos para el estudio de MP y residuos sólidos. Se recolectaron muestras de tres medios diferentes para evaluar la presencia de microplásticos: arena de playa, en un transecto de 100 m paralelo a la línea pleamar, del cual se eligieron 10 puntos aleatorios;

agua superficial, mediante el método de arrastre con una red de plancton; y sedimentos del fondo, con ayuda de un muestreador Van Veen. En cuanto a la fauna marina, se obtuvieron ocho especies de pescados, cinco ejemplares por especie, para analizar MP en sus órganos interiores y branquias. Todas las muestras se trasladaron al laboratorio para su procesamiento y extracción de MP, los cuales se clasificaron por tamaño y forma, también se estimaron las concentraciones correspondientes de MP para cada tipo de muestra. Por su parte los muestreos de residuos sólidos se hicieron en la zona del terraplén y cuatro zonas de playa, estos se clasificaron en distintas categorías de macrorresiduos (MR) y fragmentos (FRAG). Asimismo, se calculó el índice de contaminación (IC) en cada zona, por grupo de residuos (MR y FRAG) y se clasificaron en términos de limpieza.

Los MP y residuos estuvieron presentes en todas las muestras. En los primeros, las concentraciones medias fueron 21 MP/kg_{ss} para sedimentos de playa, 2.3 MP/m³ para agua superficial, 50.7 MP/kg_{sh} para sedimentos del fondo marino, 9.92 MP/g_{mh} en órganos interiores y 27.9 MP/g_{mh} en branquias de peces de consumo humano. En cuanto a los tipos de MP, el más encontrado fueron fibras (promedio general de 87 %), las cuales podrían provenir de la descarga de aguas residuales domésticas, de localidades del municipio de Tamiahua y otros municipios que van a dar hacia la laguna del mismo nombre, la cual a su vez es la zona de influencia de la Isla Lobos.

La concentración media de residuos fue de 0.65 piezas/m², el material más común fue el plástico con una proporción media del 93 %. Su presencia se atribuye a: el transporte de residuos por parte de las corrientes marinas hacia la costa, principalmente para las zona del terraplén y en la zona de tortugas, ya que no están abiertas al público; los residuos generados por el turismo y los prestadores de servicios, especialmente para la zona 3 “uso público” donde se permiten las actividades turísticas y recreativas de bajo impacto y los residuos generados por el personal que habita la isla (marinos y el farero) y los pescadores. Respecto al IC, se observó que cuando se consideran la suma de MR y FRAG disminuye la categoría de limpieza de algunas zonas, ya que las zonas 3 y 5 “uso público” y “contigua al helipuerto”, respectivamente, al estar ambas en la categoría “muy limpia” en el IC de macrorresiduos, pasaron a “moderada” y “limpia”, respectivamente, en el IC de MR + FRAG.

Con relación a la operatividad del programa de manejo, se identificaron tres inconsistencias en campo las cuales tienen relación directa con el manejo de residuos sólidos en la isla. Aunado a esto también se señalaron cuatro puntos relevantes, enfocados a la contaminación por residuos, que no están contemplados en el programa de manejo, cuya inclusión es indispensable para lograr un manejo adecuado del ANP.

Finalmente, se propuso una guía para el estudio de MP y residuos en ANP marinas y costeras, de tal modo que sirva de apoyo a investigadores cuyo objetivo sea el monitoreo de este tipo de contaminantes en dichas áreas, pues de momento no se cuenta con un documento del cuál las personas interesadas puedan basarse para conocer en qué consiste el proceso. La guía explica ocho puntos relevantes (elección del ANP de estudio, establecimiento de contacto con el director o la directora del ANP, reunión explicativa del trabajo de campo, llenado y envío de documentación necesaria, recorrido preliminar, toma de muestras, procesamiento de muestras y difusión de resultados) tomando como ejemplo de las experiencias obtenidas en la presente investigación.

La contaminación por MP y residuos es inevitable en las ANP aun cuando su nivel de protección es superior al entorno circundante. Para hacer frente a este problema se requiere de la participación de los diferentes actores, del manejo adecuado del ANP, así como de su monitoreo responsable, es decir, realizar las actividades de investigación con base en los requisitos señalados en la legislación para no alterarlas, pues, aunque se trate de actividades de investigación en beneficio del ambiente puede haber repercusiones si no se realizan siguiendo las medidas establecidas.

ABSTRACT

Plastic materials have become the essential components of a wide variety of commonly used products due to their various advantages, such as low production cost, low density, durability, and resistance to corrosion. The above has led to an increase in plastic production; however, as this happens, plastic waste generation also increases. When plastic waste undergoes degradation processes, it gives rise to smaller pieces; those with a size less than or equal to 5 mm are known as microplastics (MP). These represent a significant risk due to their slow degradation, the possibility of being ingested by organisms at lower trophic levels, and their ability to absorb different persistent organic pollutants and metals from the surrounding environment. Furthermore, investigations have shown that MPs are distributed in marine ecosystems, such as beaches, estuaries, bays, surface waters and polar regions.

Protected natural areas (PNA) are located within Mexico's marine and coastal ecosystems; up to this year (2024), 85 federal PNA have been decreed in these ecosystems. Although their main objective is to conserve biodiversity, they face different effects due to human activity, among which are pollution by solid waste and the possibility of pollution by microplastics. In this sense, the present project was developed, the objective of which was to analyze the presence and sources of generation of microplastics and solid waste in a marine Natural Protected Area, which would allow the design of a methodological guide, as well as the identification of inconsistencies in the operation of its program management.

The PNA Flora and Fauna Protection Area Lobos-Tuxpan Reef System and Lobos Island were selected to study MP and solid waste. Samples were collected from three different media to evaluate the presence of microplastics: beach sand, in a 100 m transect parallel to the high tide line, from which 10 random points were chosen; surface water, by trawling with a plankton net; and bottom sediments, with the help of a Van Veen sampler. Regarding marine fauna, eight species of fish were obtained, five specimens per species, to analyze MP in their internal organs and gills. All samples were transferred to the laboratory for

processing and extraction of MP, which were classified by size and shape; the corresponding concentrations of MP were also estimated for each type of sample. Solid waste sampling was done in the embankment area and four beach areas; these were classified into different types of macrowaste (MR) and fragments (FRAG). Likewise, the contamination index (CI) was calculated in each area by waste group (MR and FRAG) and classified in terms of cleanliness.

MP and waste were present in all samples. For the firsts, the average concentrations were 21 MP/kg_s for beach sediments, 2.3 MP/m³ for surface water, 50.7 MP/kg_s for seabed sediments, 9.92 MP/g_{mh} in internal organs and 27.9 MP/g_{mh} in gills of fish for human consumption. Regarding the types of MP, the most found were fibers (general average of 87%), which could come from the discharge of domestic wastewater from localities in the municipality of Tamiahua and other municipalities that flow to the lagoon of the same name, which in turn is the area of influence of Isla Lobos.

The average concentration of waste was 0.65 pieces/m²; the most common material was plastic, with an average proportion of 93%. Its presence is attributed to the transport of waste by marine currents towards the coast, mainly in the embankment area and in the turtle area since they are not open to the public; waste generated by tourism and service providers, especially for zone 3 "public use" where low-impact tourist and recreational activities are allowed and waste generated by the personnel who inhabit the island (sailors and the lighthouse keeper) and fishermen. Regarding the IC, it was observed that when the sum of MR and FRAG are considered, the cleaning category of some areas decreases since zones 3 and 5, "public use" and "adjacent to the heliport", respectively, being both in the "very clean" category in the macro-waste CI, went to "moderate" and "clean", respectively, in the MR + FRAG CI.

Regarding the operation of the management program, three inconsistencies were identified in the fieldwork, which are directly related to the management of solid waste on the island. In addition, four relevant points were also pointed out, focused on waste contamination,

which should be contemplated in the management program and whose inclusion is essential to achieving adequate management of the PNA.

Finally, a guide was proposed for the study of MP and residues in marine and coastal PNA in such a way that it serves as support for researchers whose objective is the monitoring of this type of contaminants in these areas since, at the moment there is no document from which interested parties can rely on to know what the process consists of. The guide explains eight relevant points (choosing the study PNA, establishing contact with the director of the PNA, explanatory meeting of the fieldwork, filling out and sending the necessary documentation, preliminary tour, taking samples, processing samples and dissemination of results), taking as an example of the experiences obtained in this research.

Pollution by MP and waste is inevitable in PNAs even when their level of protection is higher than the surrounding environment. To address this problem, the participation of different actors is required, as well as the proper management of the PNA and its responsible monitoring, that is, carrying out research activities based on the requirements indicated in the legislation so as not to alter them. Therefore, although these are research activities that benefit the environment, there may be repercussions if they are not carried out following the established measures.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología CONAHCYT, por la beca otorgada para poder realizar mis estudios de doctorado.

A la Universidad Autónoma de Baja California, campus Mexicali, por ser mi segunda casa de estudios, por permitir convertirme en Cimarrona de esta gran institución, así como por todo el apoyo, enseñanza, consejos y conocimientos que sus investigadores han compartido conmigo.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco (mi casa abierta al tiempo y primera casa de estudios). En especial al laboratorio de Tecnologías Sustentables por haberme permitido realizar mi estancia de investigación enfocada al análisis de las muestras de microplásticos de mi tesis de doctorado.

A las Dras. Elizabeth, Eliana, Brenda y el Dr. Néstor, investigadores de la UABC, por todo el apoyo brindado a lo largo de mis estudios de doctorado y haberme permitido aprender mucho de ellos.

A la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan por todo el apoyo brindado y otorgar el permiso para la realización de las actividades de investigación en el ANP.

A las personas que me apoyaron durante los muestreos en Isla Lobos: Dras. Sara, Alethia y Samantha, Dr. Juan Carlos, Ing. Muganes, Ing. Karen y personal de la CONANP (biólogos Xochiquetzal y Blanca y biólogo Jhostin).

A la agencia de turismo Puerto Lobos Dive Camp, en especial al encargado Alberto por todas las gestiones y al capitán Toño por habernos llevado a la isla Lobos y habernos traído de ella sanos y salvos.

A la empresa Polymers Solutions, por el patrocinio otorgado para la realización del trabajo de campo de este proyecto doctoral.

A Caro Martínez, Joce Tapia y Bety, por haber aceptado colaborar conmigo y sus aportaciones en las diferentes investigaciones.

A mi compañero de clases, Gerardo, por hacer amenas las clases y el apoyo brindado en todo momento que lo requerí.

A mis grandes amigas de laboratorio, Joce Tapia, Natalia Paulina, Eli Ballesteros, Gaby Torres e Isa por su gran amistad, estar para mí en momentos difíciles y siempre hacerme reír con sus ocurrencias, ¡son únicas!

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Dra. Sara Ojeda Benítez, por haberme aceptado para realizar mis estudios de doctorado en la UABC, aún sin conocerme del todo.

Dra. Alethia Vázquez Morillas, gracias por la confianza depositada en mí y haber aceptado asesorarme en el doctorado, siempre es un gusto trabajar con usted.

Dr. Juan Carlos Alvarez Zeferino, le agradezco por el apoyo brindado en todo momento, por la amistad y formar parte de mi gran comité evaluador.

Dra. Samantha Eugenia Cruz Sotelo, gracias por su apoyo en el trabajo de campo, por los consejos y ser parte de mi gran comité evaluador.

Dra. Izarely Rosillo Pantoja, agradezco su asesoría en la parte de legislación de este proyecto. Gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

Ing. Mariana Elizabeth Ballesteros López, agradezco infinitamente tu amistad y el apoyo que me has brindado todos los días desde que te conocí.

Ing. Natalia Paulina Martínez Toledo, gracias por las porras que siempre me has echado y por procurarme.

DEDICATORIA

A mi familia, especialmente a mis padres Catalina y Rene por haber creído y confiado en mí, por no haberme cortado las alas y dejar que volara a donde yo quisiera. Gracias por tanto amor y confianza, porque siempre que he querido hacer algo ustedes me apoyan y están para mí.

A mi pequeño Wedo por haberme acompañado en el primer año de mi Doctorado, durante mis clases por las mañanas, por las tardes o noches mientras me desvelaba haciendo mis tareas. Gracias por haber hecho ameno cada momento. Extraño que me despiertes por las mañanas.

A mi yo de hace cuatro años, que veía lejano el lograr este sueño y se preguntaba sí lo haría y cómo sería. Hoy le puedo decir que se logró y de una manera exitosa.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	IV
AGRADECIMIENTOS.....	VII
AGRADECIMIENTOS ESPECIALES	IX
DEDICATORIA	X
TABLA DE CONTENIDO	XI
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE TABLAS.....	XVII
ACRÓNIMOS	XIX
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del problema	5
1.3 Justificación.....	7
1.4 Objetivos e hipótesis.....	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos particulares	8
1.4.3 Hipótesis	8
2 MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 Áreas Naturales Protegidas	11
2.1.1 Áreas Protegidas Marinas y/o Costeras	13
2.1.2 Regulación de las Áreas Marinas y/o Costeras Protegidas	13
2.1.3 Problemáticas ambientales en las Áreas Protegidas Marinas y/o Costeras	14
2.2 Residuos sólidos urbanos.....	16
2.2.1 Composición de los residuos sólidos urbanos.....	16
2.2.2 Residuos plásticos.....	17
2.2.3 Opciones de fin de vida de los residuos plásticos	20
2.3 Contaminación marina.....	26
2.3.1 Contaminación por residuos sólidos	26
2.3.2 Residuos sólidos en mares y costas de México	27
2.4 Microplásticos.....	30

2.4.1	Fuentes de microplásticos.....	31
2.4.2	Presencia de microplásticos en diferentes compartimientos ambientales	35
2.4.3	Impactos de la presencia de microplásticos en el medio marino	40
2.4.4	Legislación sobre microplásticos	42
3	METODOLOGÍA.....	53
3.1	Selección del Área Natural Protegida	54
3.1.1	Selección del sitio de estudio	55
3.2	Identificación de compartimientos y matrices ambientales	55
3.3	Muestreos en campo	56
3.3.1	Muestreo de microplásticos	56
3.3.2	Muestreos de residuos sólidos.....	63
3.4	Procesamiento de muestras en laboratorio	65
3.4.1	Medidas para evitar la contaminación cruzada en el tratamiento de muestras de microplásticos	65
3.4.2	Pruebas preliminares para eliminación de falsos positivos en muestras de microplásticos	66
3.4.3	Muestras de Isla Lobos para análisis de microplásticos.....	73
3.4.4	Muestras de Isla Lobos para análisis de residuos sólidos	82
3.5	Identificación de inconsistencias de la operatividad del programa de manejo del área natural protegida	83
3.6	Propuesta de guía metodológica para el estudio de microplásticos y residuos en áreas naturales protegidas marinas y/o costeras.....	83
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	84
4.1	Selección del Área Natural Protegida	85
4.1.1	Selección del sitio de estudio	88
4.2	Descripción del Área Protegida Marina/Costera	88
4.2.1	Isla Lobos	90
4.3	Presencia de microplásticos y residuos sólidos	92
4.3.1	Microplásticos	93
4.3.2	Residuos sólidos	117
4.4	Inconsistencias de la operatividad del programa de manejo del área natural protegida	131
4.5	Guía para el estudio de microplásticos y residuos en áreas naturales protegidas marinas y/o costeras.....	133
5	CONCLUSIONES	147

6	RECOMENDACIONES	152
7	REFERENCIAS	154
8	ANEXOS	183
8.1	Anexo 1. Concentraciones de microplásticos en arena de playa	184
8.2	Anexo 2. Concentraciones de partículas de chapapote en arena de playa	186
8.3	Anexo 3. Resultados numéricos de los índices de contaminación	188
8.4	Anexo 4. Documentación necesaria para realizar actividades de investigación en áreas naturales protegidas	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Tipos de áreas naturales protegidas federales en México.....	12
Figura 2.2. Composición de RSU en México.....	17
Figura 2.3. Producción de plásticos a nivel mundial en el periodo 2016 – 2021.....	18
Figura 2.4. Concentración de residuos por año en términos de piezas/metro lineal.....	28
Figura 2.5. Concentración de residuos por año en términos de piezas/masa.....	29
Figura 2.6. Top tres de los residuos más comunes.....	30
Figura 2.7. Legislación de MP en ambientes marinos.....	45
Figura 3.1. Etapas de la metodología de estudio.....	54
Figura 3.2. Sitio de estudio y ubicación de las zonas a muestrear.....	55
Figura 3.3. Localización de los puntos muestreados por entorno marino.....	57
Figura 3.4 Muestreo de microplásticos en sedimentos de playa: c) depósito de muestras en charolas y d) almacenamiento de la muestra.....	58
Figura 3.5. Red usada para la toma de muestras de agua superficial.....	59
Figura 3.6 Procedimiento de toma de muestra de agua: a) arrastre de la red, b) extracción de la red, c) tamizado de la muestra y d) almacenamiento de muestra.....	60
Figura 3.7. Muestreador Van Veen empleado para la toma de muestras de sedimentos del fondo marino.....	60
Figura 3.8. Toma de muestras de sedimentos del fondo marino: a) introducción del muestreador Van Veen, b) recolección de la muestra y c) tamizado de la muestra.....	61
Figura 3.9. Fotografías de los sitios donde de adquirieron los pescados: a) y b) pescadería de Tamiahua, c) y d) Laguna de Tamiahua y e) y f) Isla Los Pájaros.....	62
Figura 3.10. Pescados comerciales: a) Chocomite, b) Sargo, c) Jurel o furel, d) Pargo, e) Ronco, f) Rojo villajaiba, g) Boquilla y h) Mojarra.....	63
Figura 3.11. Muestreo de residuos: a) división de secciones y b) delimitación del ancho..	64
Figura 3.12. Muestreo de residuos: a) división de secciones y b) delimitación del ancho..	65
Figura 3.13. Pruebas preliminares de MP y reactivos: a) MP vírgenes y b) ejemplo de vaso de precipitados con reactivo y MP.....	67
Figura 3.14. Fotografías de los tratamientos probados: a) tratamiento 1, b) tratamiento 2, c) tratamiento 3 d) tratamiento 4.....	73
Figura 3.15. Procesamiento de muestras de agua superficial: a) digestión, b) tinción con rojo Nilo y c) filtración al vacío.....	74
Figura 3.16. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de agua superficial.....	75
Figura 3.17. Procesamiento de muestras de sedimentos del fondo marino: a) determinación de masa y b) separación por densidad.....	76
Figura 3.18. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de sedimentos del fondo marino.....	77

Figura 3.19. Procesamiento de sedimentos de playa: a) adición de HNO ₃ y b) cobertura de la muestra, blanco y el reactivo.....	78
Figura 3.20. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de sedimentos de playa..	79
Figura 3.21. Fotografías de la metodología: a) determinación de masa del pez, b) determinación del ancho, c) extracción de órganos interiores, d) extracción de branquias, e) almacenamiento de las muestras y f) digestión de las muestras	80
Figura 3.22. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de órganos de peces de consumo	81
Figura 4.1. Mapa de ubicación de seis áreas protegidas marinas/costeras mexicanas.....	86
Figura 4.2. Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan	89
Figura 4.3. a)-c) fibras observadas en microscopio óptico, d) y e) fragmentos observados con microscopio digital y f) fragmentos observados con microscopio óptico.....	94
Figura 4.4. Ejemplos de microplásticos: a) fibras y b) fragmento	95
Figura 4.5. Proporción de los tipos de plástico por zona de playa.....	96
Figura 4.6. Ejemplos de microplásticos encontrados en la playa: a) espumados, b) fibra, c) y d) fragmentos rígidos.....	97
Figura 4.7. Fuentes potenciales de microplásticos en la playa: a) saco de arena, b) tela del saco de arena, c) parte de una embarcación, d) envase, e) plástico rígido y f) sacos de arena.....	98
Figura 4.8. Chapopote encontrado en la arena de playa de la Isla Lobos	100
Figura 4.9. Ductos de PEMEX presentes en la zona de playa de la Isla Lobos	101
Figura 4.10. Proporción de tipos de MP en órganos interiores	104
Figura 4.11. Proporción de tipos de MP en branquias.....	105
Figura 4.12. Plantas municipales de tratamiento de agua residual: a) panorama nacional y b) panorama de localidades aledañas a la Laguna de Tamiahua e Isla los Pájaros	106
Figura 4.13. Ejemplo de simulación de corrientes marinas para Isla Lobos el martes 16 de marzo a las 05:00 horas: a) zoom cercano a la zona de Tamiahua e Isla Lobos y b) zona entre Tamiahua y el Puerto de Veracruz.....	109
Figura 4.14. Ejemplo de simulación de corrientes marinas para Isla Lobos el miércoles 17 de marzo a las 17:00 horas: a) zoom cercano a la zona de Tamiahua e Isla Lobos y b) zona entre Tamiahua y el Puerto de Veracruz.....	110
Figura 4.15. Ejemplo de simulación de corrientes de marea para Isla Lobos: a) lunes 15 de abril 05:00 horas, b) lunes 15 de abril 07:00 horas y martes 15 de abril 05:00 horas.....	111
Figura 4.16. Ejemplo de simulación de corrientes de marea para Isla Lobos: a) martes 16 de abril 11:00 horas y b) miércoles 17 de abril 05:00 horas	112
Figura 4.17. Ubicación del sitio de estudio y fuentes potenciales de microplásticos.....	113
Figura 4.18. Residuos sólidos: a) y b) terraplén, c) alimentación de tortugas, d) uso público, e) contigua a la zona de uso público f) contigua al helipuerto	118
Figura 4.19. Residuos sólidos encontrados en la zona del terraplén.....	119
Figura 4.20. Residuos sólidos encontrados en: a) y b) zona del terraplén y c), d) y e) zona de playa.....	120

Figura 4.21. Categorías de macrorresiduos por zona de estudio (número de piezas)	121
Figura 4.22. Clasificación de envases plásticos del terraplén: a) por país; b) por tipo de producto	122
Figura 4.23. Categorías de fragmentos por zona de estudio (número de piezas)	123
Figura 4.24. Índices de contaminación de macrorresiduos por zona de estudio	125
Figura 4.25. Índices de contaminación de fragmentos por zona de estudio	126
Figura 4.26. Índices de contaminación de residuos más fragmentos por zona de estudio	127
Figura 4.27. Fotografías de inconsistencias en Isla Lobos: a) botellas de vidrio en la zona del terraplén, b) casa de PEMEX abandonada, c) restos de fogata y ollas en la zona del terraplén y d) acomodo de piedras, leña y varillas para la conformación de una fogata en la zona del terraplén.....	132
Figura 4.28. Atlas interactivo de áreas naturales protegidas: a) consulta de información básica y b) consulta del nombre y correo electrónico del director.....	135
Figura 8.1. Ejemplo de oficio dirigido a la directora del ANP	189
Figura 8.2. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP.....	190
Figura 8.3. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP. Continuación de la Figura 8.2	191
Figura 8.4. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP. Continuación de la Figura 8.3	192

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Presencia de microplásticos en diferentes compartimentos ambientales y matrices del medio marino	4
Tabla 1.2. Presencia de microplásticos en diferentes compartimentos ambientales y matrices del medio marino. Continuación de la Tabla 1.1.....	5
Tabla 2.1. Problemáticas ambientales en AMCPs	15
Tabla 2.2. Resumen de las fuentes de MP	34
Tabla 2.3. Resumen de las fuentes de MP. Continuación de la Tabla 2.2.....	35
Tabla 2.4. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de regiones marinas y/costeras	38
Tabla 2.5. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de regiones marinas y/costeras. Continuación de la Tabla 2.4	39
Tabla 2.6. Prohibiciones sobre microplásticos en diversos países.....	44
Tabla 2.7. Playas mexicanas con certificado vigente hasta 2022.....	50
Tabla 2.8. Playas mexicanas con certificado vigente hasta 2022.....	51
Tabla 3.1. Información relevante de las cinco zonas de muestreo.....	56
Tabla 3.2. Observaciones de las pruebas de MP con reactivos	68
Tabla 3.3. Observaciones de las digestiones de materia orgánica y material calcáreo	69
Tabla 3.4. Investigaciones sobre la presencia de microplásticos en fauna marina	70
Tabla 3.5. Principales hallazgos de los tratamientos estudiados para la extracción de microplásticos presentes en peces.....	72
Tabla 3.6. Categorías de clasificación del índice de contaminación	83
Tabla 4.1. Información relevante de seis áreas protegidas marinas/costeras mexicanas...	87
Tabla 4.2. Vegetación terrestre en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan	91
Tabla 4.3. Distintas especies de fauna presentes en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan....	92
Tabla 4.4. Valores estadísticos por muestra en piezas/m ³	93
Tabla 4.5. Valores estadísticos por muestra en piezas/sedimento húmedo y piezas/sedimento seco	94
Tabla 4.6. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/kg _{ss}	95
Tabla 4.7. Tamaño de los tipos de microplásticos, en mm, encontrados en cada zona.....	97
Tabla 4.8. Valores estadísticos de la concentración de chapopote por zona de playa en términos de # piezas/kg _{ss}	99
Tabla 4.9. Tamaño de las partículas de chapopote encontradas.....	99
Tabla 4.10. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por especie de pescado en términos de MP/g _n órganos interiores.....	102

Tabla 4.11. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por especie de pescado en términos de MP/g _n branquias	103
Tabla 4.12. Tamaño de los microplásticos encontrados	107
Tabla 4.13. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de islas localizadas en áreas marinas protegidas.....	115
Tabla 4.14. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de islas localizadas en áreas marinas protegidas. Continuación de la Tabla 4.13	116
Tabla 4.14. Macrorresiduos y fragmentos por zona de estudio en Isla Lobos.....	117
Tabla 4.16. Estudios sobre la presencia de residuos en islas localizadas en áreas marinas protegidas.....	130
Tabla 4.17. Inconsistencias identificadas en la operatividad del plan de manejo de la Isla Lobos.....	131
Tabla 4.18. Aspectos relevantes por considerar en el programa de manejo de la Isla Lobos	132
Tabla 4.19. Aspectos relevantes por considerar en el programa de manejo de la Isla Lobos. Continuación de la Tabla 4.18	133
Tabla 4.20. Resumen de la documentación necesaria para realizar actividades de investigación en ANPs (incluidas las APMC).....	139
Tabla 4.21. Material para el muestreo de microplásticos.....	141
Tabla 4.22. Material para el muestreo de microplásticos.....	142
Tabla 4.23. Material para el muestreo de residuos sólidos en playas	142
Tabla 4.24. Reactivos para el procesamiento de muestras de microplásticos	144
Tabla 4.25. Equipos necesarios para el procesamiento de muestras de microplásticos... ..	145
Tabla 4.26. Materiales y consumibles para el procesamiento de muestras de microplásticos.....	145
Tabla 8.1. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/kg _{sh}	184
Tabla 8.2. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/litro	184
Tabla 8.3. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/m ²	184
Tabla 8.4. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/m.....	185
Tabla 8.5. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # piezas/kg _{sh}	186
Tabla 8.6. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # piezas/litro	186
Tabla 8.7. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # MP/m ²	186
Tabla 8.8. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # MP/m.....	187

ACRÓNIMOS

ANP – Área natural protegida

APFF – Área de protección de flora y fauna

APMC – Área protegida marina y/o costera

APRN – Área de protección de recursos naturales

CONAGUA – Comisión Nacional del Agua

LGEEPA – Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente

MP – Microplásticos

MN – Monumento natural

PN – Parque nacional

PNMC – Política nacional de mares y costas de México

PROPLAYAS – Programa playas limpias y ambientes seguros

RB – Reserva de la biósfera

S – Santuarios

SEFIPLAN Veracruz – Secretaría de Finanzas y Planeación del estado de Veracruz

SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SEMAR – Secretaría de Marina

SALUD – Secretaría de Salud

SECTUR – Secretaría de Turismo

1 INTRODUCCIÓN



Microplásticos en ambientes marinos©

El universo es un océano sobre el que nosotros somos las olas. Mientras algunos deciden surfear, otros se aventuran a bucear. Charbel Tadros

La contaminación costero-marina se define como cualquier modificación perjudicial para el mar y la costa, resultado de la liberación intencional o accidental de sustancias peligrosas o tóxicas (GEMET, 2020), como aguas residuales no tratadas, nutrientes, pesticidas, escorrentías agrícolas y residuos sólidos (UNESCO, 2017). A los residuos sólidos que llegan al océano y la zona costera generalmente se les llama residuos marinos, y se definen como aquellos materiales fabricados por el ser humano que terminan desechados en los entornos marinos y costeros (UNEP & NOAA, 2011).

Los residuos marinos se componen en su mayoría de plásticos, los cuales hoy en día son omnipresentes en el océano y en las zonas costeras (UNEP, 2016). Los residuos plásticos incluyen tanto los plásticos de tamaño grande (macroplásticos), como las pequeñas partículas llamadas microplásticos (MP), cuyo tamaño es menor a 5 mm (NOAA, 2020).

Los MP suponen un riesgo mayor que los macroplásticos, debido a que su tamaño pequeño aumenta la probabilidad de que sean ingeridos por organismos de nivel trófico inferior con posibles efectos secundarios, tales como reducción de la tasa de alimentación (Rist et al., 2017), impactos en el crecimiento (Yu et al., 2018), alteración de la reproducción (Jeong et al., 2017) e incluso la muerte (Manfra et al., 2017).

Aunado a lo anterior, los MP tienden a sorber contaminantes químicos del medio acuático, tales como los orgánicos persistentes, entre los cuáles se encuentran el dicloro difenil tricloroetano (DDT); hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP); bifenilos policlorados (BPC) y pesticidas organoclorados (Bakir et al., 2012; Camacho et al., 2019; Karapanagioti & Werner, 2019), de los cuales se ha reportado la posible transferencia hacia la biota (Rodrigues et al., 2019).

Asimismo, se ha documentado la formación de biopelícula en la superficie de los MP debido a la colonización por bacterias, algas u otros microorganismos; esto ocasiona cambios en la densidad de los MP, lo que favorece su hundimiento en sedimentos, particularmente en entornos marinos. Por otro lado, este fenómeno conduce al transporte de especies invasoras (Kaiser et al., 2017; Wu et al., 2020) en la medida que los MP lleguen a otros entornos por la acción de las corrientes marinas (Schwarz et al., 2019).

Los entornos marinos y costeros en los que se ha documentado la presencia de MP incluyen playas, arrecifes (Patti et al., 2020), fondo marino (Esiukova et al., 2020), columna de agua (Dai et al., 2018a), las regiones polares (Obbard, 2018), e incluso aquellos que forman parte de áreas naturales protegidas costeras o marinas, las cuales funcionan como hábitat para distintas especies de flora y fauna (Bayo et al., 2019; Masiá et al., 2019).

En el caso de México, parte de sus ambientes marinos y costeros se encuentran localizados en zonas que han sido establecidas como áreas naturales protegidas (ANP); estas son espacios naturales que no se encuentran significativamente alterados por las actividades antropogénicas, o cuyos hábitats y funciones integrales necesitan ser preservadas y restauradas (DOF, 2015). Las ANP tienen gran importancia ambiental, ya que además de ayudar en la conservación de la biodiversidad generan servicios ambientales, lo que se traduce en beneficios para las poblaciones cercanas y a nivel global (SEDEMA, 2020).

México cuenta con 226 ANP federales y 85 de ellas se localizan en ecosistemas marinos y litorales (CONANP, 2024a). En ellas los recursos naturales se ven afectados por una serie de problemáticas, que incluyen el aumento de la generación de residuos tanto orgánicos como inorgánicos (PROFEPA, 2019b), entre los cuales probablemente estén presentes los residuos plásticos y MP.

1.1 Antecedentes

La distribución global y abundancia de los MP en los diferentes entornos es una problemática compleja, ya que depende de factores ambientales (vientos, corrientes locales y a gran escala y oleaje), de las características de los MP (densidad, tipo de polímero, tamaño, forma o presencia de biopelícula) (GESAMP, 2016) y de las fuentes de los mismos (plantas de tratamiento de agua residual, escorrentía de ríos, fragmentación de macroplásticos, transporte o mala gestión de operaciones en las que se usan pellets) (Akarsu et al., 2020; UNEP, 2014; Xu et al., 2020).

De los factores antes mencionados, se considera que las corrientes oceánicas son las que más intervienen en la distribución y acumulación de los MP (Bosker et al., 2018), pues gracias a ellas estos pueden dispersarse hasta llegar a otros ambientes (Auta et al., 2017).

Para entender la distribución de los MP en el medio marino es necesario conocer como estos se mueven entre los diferentes compartimentos (GESAMP, 2016), es decir, entre los diferentes entornos del medio marino (por ejemplo playa, mar, vegetación y fauna) (F. Galgani et al., 2013), y sus matrices o fases (líquido: agua y sólido: sedimentos).

En las Tabla 1.1 y 1.2 se presentan como ejemplo 10 investigaciones en las que se ha estudiado la presencia de MP en diferentes compartimentos ambientales y matrices del medio marino. En primer lugar, se observa que la mayoría de éstas (cuatro) se ha enfocado a analizar la presencia de MP en bahías. En cuanto a los compartimentos ambientales los más estudiados han sido el mar (ocho estudios) seguido de la biota (cinco estudios). Para las matrices las más comunes son las aguas superficiales (ocho estudios) y los sedimentos, ya sea de fondo marino o playa (cuatro estudios en cada caso). La matriz menos estudiada es la columna de agua (un estudio), probablemente debido a los recursos técnicos y económicos que se requieren para llevar a cabo el muestreo.

Tabla 1.1. Presencia de microplásticos en diferentes compartimentos ambientales y matrices del medio marino

Lugar	Compartimentos ambientales	Matrices	Concentraciones	Referencias
China: zona costera de Guangdong	Mar y biota	Agua superficial y peces	Agua: 3,000-19,000 MP/m ³ ¹ Peces: 4.8 MP/individuo	(Zhang et al., 2020)
Singapur: isla	Playa y mar	Sedimentos de playa, agua superficial y subsuperficial	Sedimentos: 0-4 MP Agua superficial y subsuperficial: 0-2 MP	(Ng & Obbard, 2006)
China: Mar de Bohai	Mar	Agua superficial, columna de agua y sedimentos de fondo marino	Agua superficial: 0.4-5.2 MP/L Columna de agua: 0.2-23 MP/L Sedimentos: 31.1-256.3 MP/kg _{ss}	(Dai et al., 2018b)
Kuwait: bahía de Kuwait	Mar, playa y biota	Agua superficial, sedimentos de playa, mejillones y peces	Agua: 1-4 MP Sedimentos: 1-2 MP Fauna: 0-3 MP	(Saeed et al., 2020)
China: bahía Sanggou	Mar y biota	Agua superficial, sedimentos de fondo marino y ostras	² Agua: 63.6 MP/L ² Sedimentos: 2,178 MP/kg Ostras: 19-71 MP/espécimen	(Wang et al., 2019)
Fiyi: bahía de Laucala, puerto de Suva y Vanua Navakavu (Área Marina Protegida local)	Mar y biota	Agua superficial, sedimentos de fondo marino y peces	Agua: 0-0.16 MP/m ³ Sedimentos: 0-0.1 MP/g _{ms} Peces: 0-49 MP/espécimen	(Ferreira et al., 2020)

Kg_{ss} = kilogramo se sólido seco, N.E. = no especificado, g_{ms} = gramos de masa seca, 1 = promedio, 2 = total

Tabla 1.2. Presencia de microplásticos en diferentes compartimentos ambientales y matrices del medio marino. Continuación de la Tabla 1.1

Lugar	Compartimentos ambientales	Matrices	Concentraciones	Referencias
Florida: bahía de Tampa (Estuario de importancia nacional)	Mar	Agua superficial y sedimentos de fondo marino	¹ Agua: frascos de vidrio 0.94 MP/L y red 4.5 MP/m ³ ¹ Sedimentos: 280 MP/kg _{ss}	(McEachern et al., 2019)
España: estuarios de la Bahía de Vizcaya (Áreas Especiales Protegidas)	Playa y biota	Sedimentos de playa y heces fecales de aves	Sedimentos: 145-382 MP/kg _{ss} Heces: 114 MP/10 heces	(Masiá et al., 2019)
Colombia: isla Albuquerque (Área Marina Protegida)	Playa y Mar	Sedimentos de playa y agua superficial	Sedimentos: 113 MP/m ² Agua: 0.009-0.244 MP/m ³	(Portz et al., 2020)
Portugal: laguna Ria Formosa (Área Especial Protegida)	Pastos marinos	Flora y sedimentos	Flora: 0.0135 MP/cm ² Sedimentos: 18.2-35.2 piezas/kg _{ss}	(Cozzolino et al., 2020)

Kg_{ss} = kilogramo se sólido seco, N.E. = no especificado, g_{ms} = gramos de masa seca, 1 = promedio, 2 = total

Las concentraciones de MP más elevadas se encuentran en los sedimentos de fondo marino (Bahía de Tampa, Mar de Bohai y Bahía de Sanggou). De los 10 estudios mostrados, los últimos cuatro se han desarrollado completamente en áreas marinas - costeras protegidas (AMCP) y sólo el estudio de Fiyi se realizó tanto en AMCP como en entornos marinos que no están catalogados de esta manera. Aunque estos cinco estudios se enfocan a uno o dos compartimentos ambientales, evidencian la contaminación por MP en zonas cuyos entornos son un hábitat importante para distintas especies de flora y fauna, por lo que probablemente éstas puedan ser afectadas por su presencia.

1.2 Planteamiento del problema

Los MP están distribuidos entre la superficie del océano, la columna de agua, el fondo marino, la costa, la biota e incluso en las aguas superficiales, desde el Ártico hasta la Antártida (GESAMP, 2016). En las últimas cuatro décadas sus concentraciones parecen haber aumentado significativamente en las aguas superficiales del océano (UNEP, 2014).

En México existen entornos costeros y marinos que han sido declarados Áreas Naturales Protegidas (ANP), éstas se crean por decreto presidencial o a través de la certificación de una zona cuyos propietarios destinan a la conservación (CONANP, 2016). Las ANP se definen como porciones terrestres o acuáticas, representativas de los diversos ecosistemas del territorio nacional, donde el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad humana (DOF, 2015).

La función primordial de las ANP es proteger y conservar los recursos naturales de importancia especial, local, regional o internacional. Además, proveen diversos servicios ambientales (protección de cuencas, captación de agua, protección de la erosión y control de sedimentos), y en algunos casos son empleadas para fines turísticos, recreativos y de investigación científica (SEMARNAT, 2002).

En el caso particular de las ANP marinas y costeras, éstas experimentan diferentes problemáticas, como pesca ilegal, actividad turística no controlada, introducción de especies exóticas, extracción de vida silvestre, contaminación de suelos y litorales, que ponen en riesgo a los ecosistemas y a las especies que ahí habitan (PROFEPA, 2019a). La contaminación en estas áreas proviene de las descargas urbanas, agrícolas, industriales, lo arrojado por los buques y la presencia de residuos orgánicos e inorgánicos (PROFEPA, 2019b). En el caso de estos últimos se ha visto que cuando hay una alta demanda turística en la ANP, especialmente en las ubicadas en zonas marinas y costeras, su generación de residuos y emisiones aumenta, trayendo consigo problemas de manejo (Alonzo & Paz, 2014).

Si en una ANP, los residuos se disponen de manera inadecuada posiblemente llegarán a los diversos compartimentos ambientales. En el caso de los plásticos, probablemente se fragmentarán al experimentar degradación, lo cual dará lugar a la formación de MP (GESAMP, 2015). Esto provocaría que las concentraciones de MP en el ANP aumenten pues a los MP transportados por las escorrentías desde la tierra hacia el río y posteriormente al océano (Eo et al., 2019) se les sumarian los MP que han resultado de un manejo inadecuado de los residuos plásticos en la zona costera o marina.

La presencia de MP en un ANP representa un riesgo para las especies que habitan en ella, ya que organismos con nivel trófico inferior podrían consumirlos y presentar efectos secundarios e incluso muerte por inanición. Además, los MP generan contaminación por residuos y, debido que a su tamaño hace imposible la tarea de retirarlos de un ecosistema, pueden transportarse hacia otros hábitats cercanos, e incluso llegar a áreas remotas, en dónde podrían ocasionar daños a las especies típicas.

1.3 Justificación

Las investigaciones sobre la presencia de microplásticos en los ambientes marinos iniciaron en la década del 2000 (Auta et al., 2017). Actualmente, los estudios han demostrado que estas partículas se encuentran de manera omnipresente en los ambientes marinos y costeros, incluidas las aguas superficiales y subsuperficiales de las regiones polares (Lusher et al., 2015), el fondo marino (Claessens et al., 2013) y las islas (Ivar do Sul et al., 2013).

Sólo dos investigaciones han abordado la presencia de residuos en ANP marinas y costeras mexicanas hasta el momento. La primera estudió tanto MP como macrorresiduos y fragmentos (incluidos los plásticos) en una playa de la isla Holbox, la cual forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam. En ésta ANP se encontró una concentración promedio de 40 microplásticos/m² y colillas (56 %) y unisel (62 %) como los macrorresiduos y fragmentos más comunes, respectivamente (Cruz-Salas, 2020).

Por otro lado, la segunda investigación se enfocó en la presencia de residuos plásticos en aguas superficiales, columna de agua y fondo arrecifal en 18 sitios arrecifales de ocho ANP (una en el Golfo de México y siete en el Mar Caribe). Los principales hallazgos fueron un total de 815 piezas flotando en la superficie del agua y un total de 151 piezas en los arrecifes (columna de agua y en el fondo). De todos los residuos plásticos encontrados el 59 % correspondió a fragmentos (Rivera-Garibay et al., 2020).

Debido a lo anterior y a que los MP están entrando a diferentes compartimentos ambientales se cree que estos pueden llegar a los diversos hábitats de las ANP localizadas en ecosistemas marinos y litorales, los cuales probablemente sean vulnerables a la presencia de tales tipos de residuos.

La realización de este estudio contribuyó a crear una guía que permita monitorear la presencia y distribución de microplásticos en ANP ubicadas en zonas marinas y costeras. Esto ayudó a estimar sus niveles de concentración, identificar las fuentes potenciales, así como proponer estrategias para prevenir o disminuir su ingreso.

1.4 Objetivos e hipótesis

1.4.1 Objetivo general

- Analizar la presencia y fuentes de generación de microplásticos y residuos sólidos en un Área Natural Protegida marina, e identificar inconsistencias en la operatividad de su programa de manejo, para a partir de ello diseñar una guía metodológica

1.4.2 Objetivos particulares

- Proponer una guía para el estudio de microplásticos y residuos sólidos en Áreas Naturales Protegidas de tipo marino y/o costero
- Evaluar la presencia de distintos tipos de microplásticos en las diferentes matrices (sólido y líquido) de los posibles compartimentos ambientales presentes (playa, fauna y mar)
- Evaluar la presencia de diferentes tipos de residuos en la playa del Área Natural Protegida
- Identificar las fuentes potenciales de microplásticos y residuos sólidos presentes en el Área Natural Protegida
- Identificar inconsistencias de la operatividad del programa de manejo del Área Natural Protegida

1.4.3 Hipótesis

- El Área Natural Protegida presentará contaminación por microplásticos, la cual variará en función del compartimento y matriz ambiental
- La playa será el compartimento ambiental que presentará las mayores concentraciones de microplásticos debido a la deposición de residuos por parte de las corrientes marinas

- Los microplásticos de tipo secundario serán los más comunes en todos los compartimentos y matrices ambientales
- La presencia de microplásticos y residuos sólidos en el Área Natural Protegida estará relacionada con su ubicación

2 MARCO TEÓRICO



*El mar es el vehículo de una existencia prodigiosa y sobrenatural. Es movimiento y amor,
es el infinito hecho vida. **Julio Verne***

En este apartado se presenta información relevante de los temas relacionados con esta investigación. Como primer tema se abordan las áreas naturales protegidas, se da a conocer su definición, tipos, en qué consisten las áreas protegidas marinas y/o costeras, así como su regulación y algunas problemáticas. Posteriormente, se presenta información sobre los residuos sólidos urbanos, su generación y composición en México, los residuos plásticos y algunas opciones de fin de vida de estos últimos.

El tercer tema está enfocado en la contaminación marina, específicamente en la contaminación por residuos sólidos, de los cuales se evidencian los principales hallazgos en las costas y mares de México. El último tema aborda lo relacionado a los microplásticos, se explica su origen, las fuentes principales, sus impactos y la legislación aplicable.

2.1 Áreas Naturales Protegidas

De manera general un área protegida es aquel espacio geográfico con límites definidos, reconocido, dedicado y administrado, mediante instrumentos legales, cuyo objetivo es conservar a largo plazo la naturaleza, los servicios ecosistémicos y los valores culturales asociados (Dudley, 2008). Se ha estimado que en todas las áreas protegidas del mundo se almacena cerca del 15 % del carbono terrestre (IUCN, 2020).

En el caso de México estos espacios se llaman áreas naturales protegidas (ANP), e incluyen tanto porciones terrestres como acuáticas. Se crean ya sea mediante un decreto presidencial a nivel federal (ANP federales) (CONANP, 2016), a nivel estatal (ANP estatales), a nivel municipal (ANP municipales) (SEMARNAT, 2018a) o a través de la certificación de un área cuyos propietarios deciden destinar a la conservación y a las actividades que, de acuerdo con la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente (LGEEPA), su reglamento, programas de ordenamiento ecológico y los respectivos programas de manejo, pueden realizarse en ellas. Éstas últimas ANP son conocidas como áreas destinadas voluntariamente a la conservación (ADVC) (CONANP, 2016).

En la LGEEPA se definen las ANP como zonas del territorio nacional sobre las que la Nación ejerce soberanía y jurisdicción. Las ANP se caracterizan por ser espacios en donde su ambiente original no se ha visto significativamente afectado por las actividades

antropogénicas, o que sus ecosistemas y funciones integrales necesitan ser preservadas y restauradas (DOF, 2015) por su importancia para la recarga del acuífero y preservación de la biodiversidad (SEDEMA, 2020).

Estos espacios se pueden destinar para preservar ambientes naturales representativos de diferentes regiones, salvaguardar la diversidad de especies silvestres, asegurar el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, propiciar la investigación científica, proteger poblados, así como, áreas de importancia para la recreación, cultura e identidad nacional (DOF, 2015). Sin embargo, en su principal objetivo es la protección y conservación de recursos naturales de importancia especial, ya sean especies de flora y fauna que se encuentren clasificadas en algún estatus de peligro (raras, amenazadas, endémicas o peligro de extinción) o ecosistemas relevantes a nivel local (SEDEMA, 2020).

De todos los tipos de ANP antes mencionadas las federales se clasifican a su vez en seis categorías establecidas por la LGEEPA (Figura 2.1).

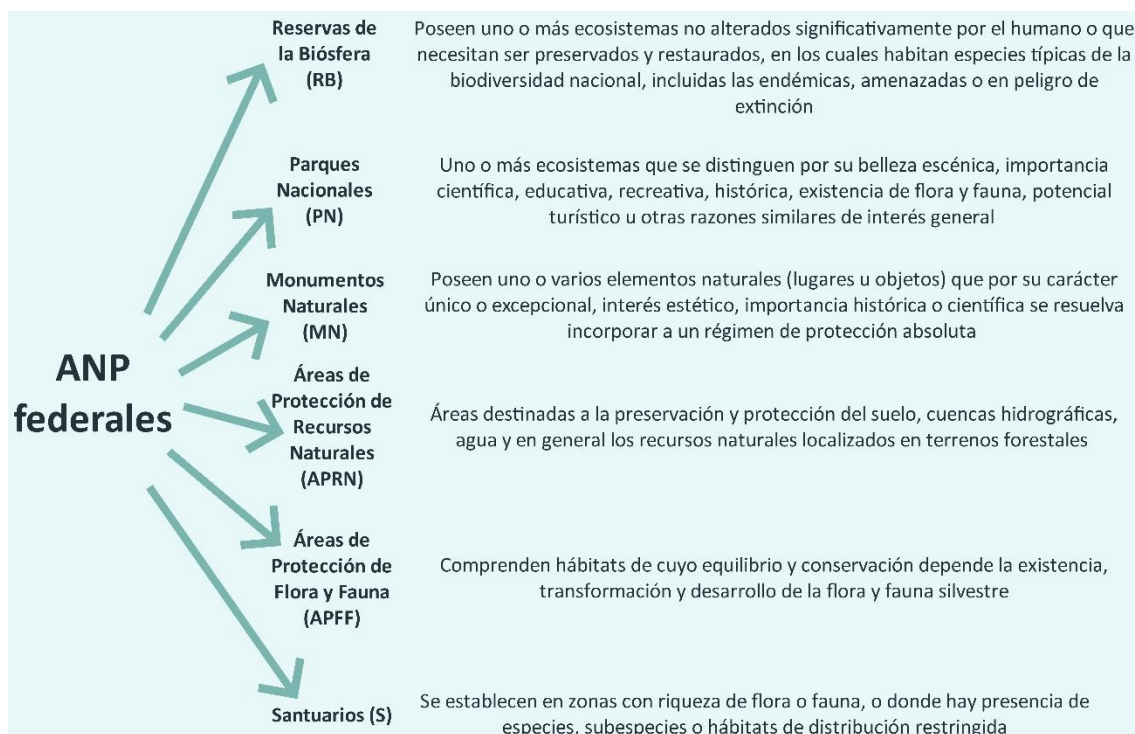


Figura 2.1. Tipos de áreas naturales protegidas federales en México. Elaborado a partir de DOF, 2015

2.1.1 Áreas Protegidas Marinas y/o Costeras

En la República Mexicana hay ANP federales, estatales, municipales, comunitarias, ejidales y privadas (CONABIO, 2020). En lo que respecta a las federales, hasta el momento se tienen decretadas 226, cuya superficie total es de 93,807,804 ha. De éstas, 85 ANP se localizan en ecosistemas marinos y litorales (zona costera), es decir, pueden contener superficie marina, terrestre, o ambas (CONANP, 2023).

Un área marina y/o costera protegida (APMC) se define como toda zona ubicada dentro del medio marino o costero, incluidas las aguas que la cubren, la flora, fauna y rasgos históricos y culturales asociados, que ha sido establecida como tal por medios legislativos u otros efectivos, para que su diversidad biológica marina y/o costera posea un nivel de protección superior a su entorno (Hernández-Ávila, 2012).

Las APMC se establecen para la protección de especies y ecosistemas vulnerables, conservación de la biodiversidad y minimización del riesgo de extinción, restablecimiento de la integridad del ecosistema, segregación de usos para evitar conflictos entre usuarios y mejora de la productividad de la pesca (Hoyt, 2018).

2.1.2 Regulación de las Áreas Marinas y/o Costeras Protegidas

Las APMC, al igual que las demás ANP federales, se crean a través de una declaratoria (decreto), expedida por el Ejecutivo Federal conforme a la LGEEPA la cual debe ser publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) para darla a conocer al público en general (DOF, 2015). Una vez que esta zona ha sido establecida pasa a la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), un órgano descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019a).

Además del decreto, otro instrumento con el que deben contar estas áreas es el programa de manejo elaborado por personal de la CONANP o con apoyo de terceros, el cual se debe sujetar a las disposiciones contenidas en la declaratoria (DOF, 2014). La finalidad de tal documento es establecer estrategias para promover la conservación, investigación, desarrollo económico de la localidad y recreación de manera equilibrada (SEMARNAT, 2005). El cumplimiento de éste debe ser supervisado por la SEMARNAT (DOF, 2014).

Aunado a lo anterior, también deberá tomarse en cuenta lo establecido en la LGEEPA y su reglamento en materia de ANP, las normas oficiales mexicanas y las demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables (DOF, 2014). Asimismo, la Secretaría de Marina (SEMAR) deberá coordinarse con la SEMARNAT para atender sus respectivas competencias en cuanto al establecimiento, administración, vigilancia y elaboración de programas de manejo de las APMC (DOF, 2015).

2.1.3 Problemáticas ambientales en las Áreas Protegidas Marinas y/o Costeras

A pesar de que las APMC cuentan con distintos instrumentos de regulación en materia ambiental y su objetivo es conservar eficazmente los recursos marinos, también se enfrentan a diferentes estresores que ponen en riesgo su riqueza y biodiversidad (Partelow et al., 2015). Algunas de las amenazas a las que se enfrentan son las actividades de pesca ilegal, el ingreso no controlado del turismo, la introducción de especies exóticas, la extracción de vida silvestre, la contaminación de suelos y litorales (PROFEPA, 2019a).

En lo que respecta a la contaminación, ésta incluye la presencia residuos sólidos, la descarga de productos químicos, materia orgánica y aguas residuales, entre otros (UNESCO, 2017). Sin embargo, es importante resaltar que no todas las APMC se ven afectadas de la misma manera por diferentes tipos de contaminación, ya que, en esto también intervienen sus características biofísicas (Partelow et al., 2015).

En la Tabla 2.1 se muestran algunos estudios sobre las problemáticas ambientales que se han detectado en AMCPs, tanto de México como de otros países. De los seis estudios presentados se aprecia que cinco de ellos corresponden a AMCPs ubicadas en entornos marinos y costeros: Ría Celestún, Pantanos de Centla, Yum Balam, Laguna del Mar Menor y AMCPs de Egipto. El estudio restante aborda un ANP que se localiza en la porción marina (Canal de Menorca).

En cuanto a las problemáticas ambientales identificadas estas son variadas, sin embargo, en los tres estudios de México se detectó que uno de los problemas tiene que ver con el manejo inadecuado de los residuos sólidos, mientras que para los estudios internacionales el más común es la contaminación por residuos plásticos, de los cuales en dos también se

incluye a los MP. Por otro lado, sólo en cuatro estudios (Yum Balam, Canal de Menorca, Laguna del Mar Menor y 6 AMCPs de Egipto) se llevaron a cabo muestreos de campo para conocer la composición o proporciones de los residuos.

Con base en lo analizado anteriormente se puede corroborar que, independientemente de ser AMCPs y contar con cierta regulación, estas áreas siguen presentando diversas afectaciones, entre los cuales se encuentra la contaminación por residuos sólidos (incluidos los plásticos y MP), que ponen en riesgo sus funciones y la biodiversidad que ahí se encuentre.

Tabla 2.1. Problemáticas ambientales en AMCPs

Lugar		Tipo de AMCP	Problemáticas detectadas	Referencia
NACIONAL	Yucatán	RB Ría Celestún (marina y costera)	Perturbación de los hábitats de las especies de flora y fauna, depósito de residuos líquidos y sólidos (a playas, la ribera y el mar) por los turistas y lancheros, derrame de combustible	(Pinkus-Rendón & Pinkus-Rendón, 2015)
	Tabasco	RB Pantanos de Centla (marina y costera)	Deforestación, sobrepesca, introducción de especies exóticas, liberación de sustancias tóxicas de la práctica agrícola y ganadera, caza ilegal, destrucción de vegetación y dunas a causa del crecimiento urbano, manejo inadecuado de residuos sólidos	(Barba <i>et al.</i> , 2014)
	Quintana Roo	APFF Yum Balam (marina y costera)	En la Isla Holbox se identificaron problemas en la recolección, tratamiento y disposición de residuos . Se estimó en 2008 una generación per cápita de 0.3689 kg/persona/día con 45 % orgánicos y 35 % recuperables. Se propuso un sistema de manejo integral de los RSU	(Alonzo & Paz, 2014)
INTERNACIONAL	España	SIC Canal de Menorca (marina)	Intensa actividad turística, tráfico marítimo y contaminación por residuos plásticos , de estos últimos los MP presentaron las mayores proporciones (95.4 - 96.7 %) en cada una de las cuatro estaciones del año	(Ruiz-Orejón <i>et al.</i> , 2019)
	España	ZEPIM Laguna del Mar Menor (marina y costera)	Alta presión por la pesca y minería, contaminación por hidrocarburos aromáticos policíclicos, bifenilos policlorados, plaguicidas, productos farmacéuticos y residuos plásticos en playas y marinas , de los cuales el 51 % eran MP	(Bayo <i>et al.</i> , 2019)
	Egipto	2 Parques Nacionales, 3 Manejo de recursos, 1 no especificado (marina y costera)	Intensa actividad turística, descargas de aguas residuales y plantas desalinizadoras, contaminación por residuos (incluidos bolsas y botellas de plástico), pesca no regulada*	(Samy <i>et al.</i> , 2011)

RB = reserva de la biosfera, APFF = Área de Protección de Flora y Fauna, RSU = residuos sólidos urbanos, SIC = sitio de importancia comunitaria, ZEPIM = Zona Especialmente Protegida de Importancia para el Mediterráneo, *sólo aplica para cuatro AMPs (1 parque nacional y 3 de manejo de recursos)

2.2 Residuos sólidos urbanos

Los residuos se definen como materiales o productos en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso (contenido en un recipiente) que dejan de tener valor para el usuario, sin embargo, pueden ser valorizados mediante un tratamiento específico o bien ser destinados a la disposición final con base en la legislación existente. De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), estos se clasifican en sólidos urbanos (RSU), peligrosos (RP) y de manejo especial (RME) (DOF, 2018), pero para fines de este estudio sólo se abordarán los primeros.

Los RSU son aquellos que se generan en las casas habitación, son resultado de la eliminación de materiales empleados en actividades domésticas, de los productos que se consumen y de sus envases, embalajes o empaques. En este grupo también se incluye a los residuos que provienen las actividades de los establecimientos o de la vía pública, siempre y cuando tengan características domiciliarias y no sean considerados como otro tipo de residuo (DOF, 2018).

Con base en las estimaciones reportadas en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR) de 2020, la generación diaria de RSU en México es de 120,128 toneladas, la cual tiene un aumento de 17,233 toneladas con respecto a lo estimado en el DBGIR de 2012. De todas las regiones de México las que presentan la mayor y menor generación de RSU son la Centro (37,977 toneladas/día) y la Sureste (6,921 toneladas/día), respectivamente (SEMARNAT, 2020). Las diferencias en la generación de RSU entre regiones se deben a los diversos factores que influyen, tales como demográficos, de urbanización, económicos, geográficos, avances tecnológicos, sociales, patrones de consumo y legislación vigente (Cheng et al., 2020; Masebinu et al., 2017).

2.2.1 Composición de los residuos sólidos urbanos

La composición de los RSU varía significativamente de un país a otro, e incluso de un municipio a otro. Dicha variación está principalmente relacionada con el estilo de vida y el nivel económico de la población, con la normatividad sobre la gestión de residuos y la infraestructura que se tenga para su manejo (Abdel-Shafy & Mansour, 2018). Generalmente

en los países con ingresos bajos predomina la fracción orgánica, en cambio en los países con ingresos altos los residuos más comunes son los inorgánicos provenientes de productos manufacturados (SEMARNAT, 2015).

En México la composición de RSU (Figura 2.2) está conformada en gran medida por orgánicos (46.42 %), seguidos de otros (19.55 %), plásticos (12.93 %), papel y cartón (11.13 %), vidrios (4.73 %), textiles (2.82 %), aluminio (0.98 %), metales ferrosos (0.88 %) y otros metales no ferrosos (0.57 %) (SEMARNAT, 2020). Aun cuando la proporción de orgánicos es elevada ésta ha ido disminuyendo, ya que en la década de los 50 esta se encontraba entre 60 y 75 %; dicha disminución ha sido resultado del aumento de la generación de otros residuos, por ejemplo, los plásticos (SEMARNAT, 2015).

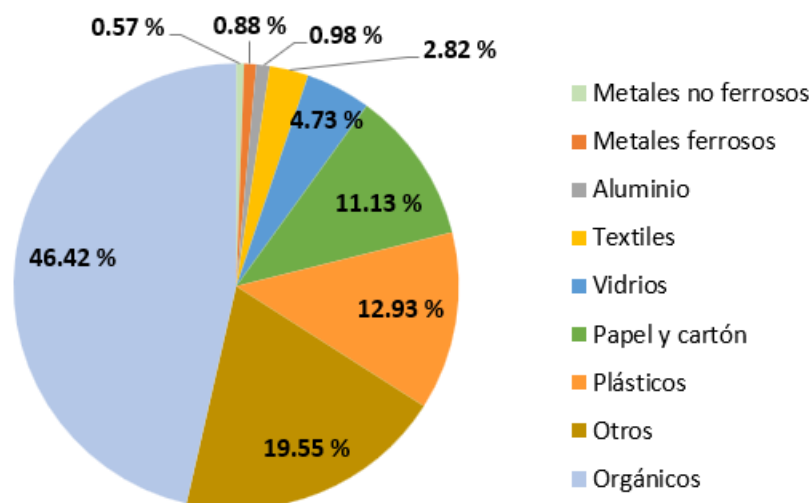


Figura 2.2. Composición de RSU en México. Datos de SEMARNAT, 2020

2.2.2 Residuos plásticos

En los RSU que se encuentran los residuos plásticos, los cuales pueden estar compuestos por plásticos elastómeros o hules, termoestables o termofijos y termoplásticos. Estos últimos están constituidos por tres categorías importantes de acuerdo con su aplicación: plásticos estándar o *commodities*, plásticos técnicos y plásticos de especialidad (AIMPLAS,

2015). En lo que respecta a los plásticos *commodities*, se les llama así porque debido a su bajo costo son producidos en grandes cantidades para emplearse en productos de uso cotidiano (Vázquez-Morillas et al., 2014b). Estos incluyen al polietileno tereftalato (PET), el polietileno de alta (PEAD) y baja densidad (PEBD), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el policloruro de vinilo (PVC) (Kawecki & Nowack, 2019).

Las tasas de generación de residuos plásticos generalmente se asocian a la producción de materiales o productos plásticos. Desde la década de los 50, la tasa de crecimiento en la producción de los plásticos ha superado en gran medida a la de cualquier otro material, con un cambio global por la producción de plásticos de alta duración a plásticos de un solo uso (incluidos los empaques y envases) (UNEP, 2018). En la Figura 2.3 se muestra la evolución de la producción de plásticos a nivel mundial entre 2016 y 2021. Se observa que ésta ha ido aumentando año con año, excepto para el 2020 que bajó 1 millón de toneladas respecto a lo producido en 2019 (368 millones de toneladas), dicha situación se atribuye a la pandemia por Covid-19 debido a que suspendieron actividades no básicas, entre ellas el comercio nacional e internacional, para evitar la propagación del virus, lo cual impactó en la producción de artículos plásticos. Para 2021 la producción de plásticos aumentó hasta llegar a 390.7 millones de toneladas, esto representa 23.7 millones de toneladas más que en 2020.

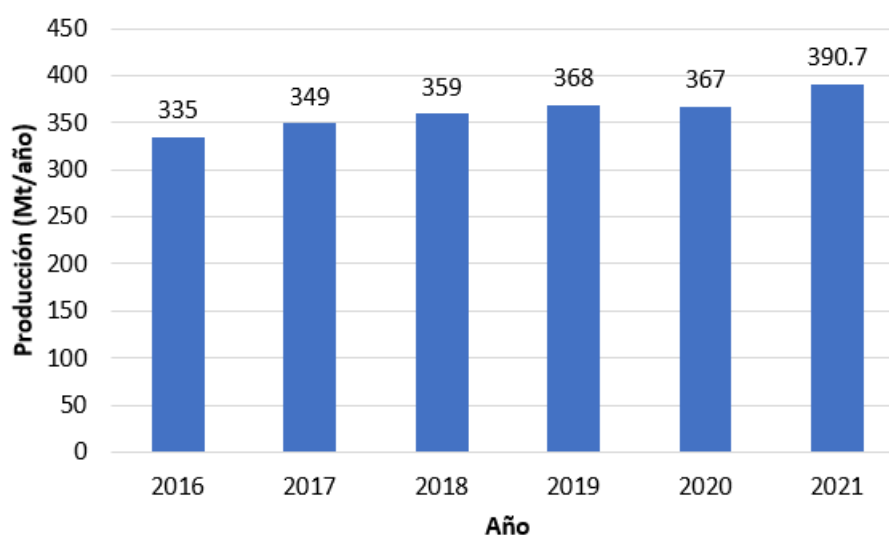


Figura 2.3. Producción de plásticos a nivel mundial en el periodo 2016 – 2021. Elaborado a partir de datos de *Plastics Europe (2021, 2022)*

El empleo de los materiales o productos plásticos genera complicaciones una vez que llegan al fin de su vida útil debido al manejo que se les da (OECD, 2018). En general el manejo adecuado o sustentable de los residuos está encaminado a invertir la pirámide del manejo tradicional de residuos, promoviendo que la jerarquía de las acciones siga el orden de: prevención, minimización, reúso, reciclaje, valorización y por último la disposición final (ALACERO, 2020; SEMARNAT, 2019). Sin embargo, para lograrlo se requiere a su vez de otras acciones, por ejemplo, ampliar la cobertura del servicio de recolección, implementar la separación de residuos desde el origen, establecer diversas opciones para la valorización con base en el tipo de residuos, fomentar el reciclaje y establecer un órgano de inspección y vigilancia efectivo (SEMARNAT, 2019). Lo anterior a menudo dificulta el proceso y es por ello por lo que la mayoría de los residuos terminan en rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto (ALACERO, 2020).

En el caso de los residuos plásticos, se ha estimado que a nivel mundial entre 1950 y 2015 se generaron cerca de 6,300 millones de toneladas, de las cuales sólo el 9 % se recicló y el 12 % se envió a incineración, dejando casi el 80 % para disposición en rellenos sanitarios o acumulación en el ambiente lo cual ha provocado que la contaminación por plásticos sea un problema ambiental persistente (Geyer et al., 2017).

La presencia de los plásticos en el ambiente trae consigo diversos impactos, algunos de ellos son: la creación de hábitats para la proliferación de mosquitos y con ello enfermedades como la malaria o dengue, contaminación visual o deterioro de la belleza natural del medio ambiente, bloqueo del sistema de alcantarillado (Adane & Muleta, 2011; Dana-Gopal et al., 2014), ingreso de los residuos plásticos a los ríos y su transporte al océano a través del viento o mareas (Ritchie & Roser, 2018).

En el océano hay probabilidad de que los residuos plásticos sean ingeridos o se enreden en la fauna marina y que ésta sufra lesiones internas, dificultad para nadar e incluso la muerte; estos residuos también contribuyen a la propagación de microorganismos invasores (que alteran los ecosistemas), representan una amenaza para los alimentos y la salud humana, debido a la posible liberación de los aditivos que se añaden durante su fabricación; por otro

lado, ocasionan pérdida del paisaje de los destinos turísticos lo cual a su vez disminuye los ingresos económicos relacionados a las actividades turístico recreativas (IUCN, 2018).

2.2.3 Opciones de fin de vida de los residuos plásticos

Cuando los materiales o productos plásticos dejan de ser útiles para el usuario pueden tener opciones de fin de vida como la valorización, ya sea a través del reciclaje mecánico, reciclaje químico, coprocesamiento, valorización energética o biodegradación, con la finalidad de crear nuevos productos que representen cierto valor, o bien la disposición final en rellenos sanitarios (ECOPLAS, 2011). La selección de una u otra opción dependerá de los recursos económicos e infraestructura para su manejo, tipo de residuos plásticos y mercado para el reciclaje, así como los impactos de cada proceso o tecnología (Ritchie, 2018). A continuación, se describen cada uno de ellos.

- **Reciclaje mecánico**

En este tipo de reciclaje se utilizan procesos mecánicos para recuperar el plástico post industrial y post consumo. Incluye las etapas de recolección, clasificación, trituración, lavado, separación, secado, granulación (extrusión) y mezcla, las cuales pueden darse en diferente orden dependiendo de la composición o el origen de los residuos (European Bioplastics, 2020; Ragaert et al., 2017).

Los plásticos viables para el reciclaje mecánico son los termoplásticos, debido a que se pueden volver a fundir y procesar mediante técnicas como el moldeo por inyección o la extrusión (European Bioplastics, 2020). En principio, todos los tipos de termoplásticos pueden reciclarse mecánicamente con poco o ningún deterioro de la calidad (PlasticsEurope, 2020b), sin embargo, esta tecnología es mayormente empleada para la recuperación del PP, PE y PET (European Bioplastics, 2020).

El reciclaje mecánico puede ser de circuito abierto o de circuito cerrado. El primero consiste en utilizar los plásticos reciclados para fabricar un producto distinto del que inicialmente se recuperaron, mientras que en el segundo su objetivo es usar los plásticos reciclados para producir el mismo producto, una y otra vez (Horodytska et al., 2018; Ragaert et al., 2017).

- **Reciclaje químico**

El reciclaje químico incluye cualquier tecnología que modifica la estructura química de los residuos plásticos para convertirlos en moléculas más pequeñas, ya sean gases, líquidos o semilíquidos, que posteriormente se emplean para producir combustibles o como monómeros para la producción de plásticos vírgenes (PlasticsEurope, 2020b). Algunos ejemplos de estos procesos se explican a continuación.

Despolimerización química o quimiólisis

La descomposición del polímero ocurre en una reacción reversible, a través de la adición de diversos productos químicos, que forma los monómeros de partida, los cuales son similares a los empleados en fabricación de plásticos vírgenes. La reacción más común de despolimerización química a nivel comercial es la del PET (Plastics Technology, 2020).

Este proceso sólo es viable en polímeros de condensación como poliésteres, poliamidas, poliacetales y policarbonatos, es decir, no puede usarse para los polímeros de adición (PP, PE, PVC, PS) que comprenden la mayor parte de los residuos plásticos de empaque y embalaje (BPF, 2020; Plastics Technology, 2020).

Las rutas de despolimerización pueden variar dependiendo del agente químico utilizado en la descomposición del polímero. Básicamente se emplean cuatro: glicólisis, metanólisis, hidrólisis (la reacción ocurre con agua en condiciones neutras, ácidas o básicas) y aminólisis (CEDEX, 2013; Padhan & Sreeram, 2019; Plastics Technology, 2020).

Craqueo térmico o pirólisis

Es una tecnología de degradación térmica ideal para los residuos plásticos que son difíciles de despolimerizar y que no se reciclan mecánicamente, ejemplos de estos son la mezcla de PE/PP/PS, envases y películas multicapa, poliuretano, compuestos reforzados con fibras y residuos de demolición (Anuar Sharuddin et al., 2016; Ragaert et al., 2017). El proceso ocurre de temperaturas moderadas (<400 °C) a altas (>600 °C) en ausencia de oxígeno (Punkkinen et al., 2017) y como productos se obtienen gas, carbón y aceite líquido; este último tiene un valor calorífico alto y se puede emplear en hornos, calderas, turbinas y

motores diésel. Sin embargo, cuando se tratan plásticos como el PVC en el proceso se forman compuestos clorados que contaminan el aceite y por lo tanto se dificulta su uso (Anuar Sharuddin et al., 2016).

Gasificación

Proceso en el cual los plásticos se calientan a temperaturas muy altas (~ 1000 – 1500 °C) (Plastics Technology, 2020) en presencia de una cantidad limitada de oxígeno, que puede ser aire, oxígeno puro, vapor o plasma (Solis & Silveira, 2020). Los polímeros se descomponen a moléculas más simples para producir gas de síntesis (mezcla de CO, CO₂, H₂, CH₄ y otros hidrocarburos ligeros) (Ragaert et al., 2017), que posteriormente puede emplearse para producir energía, combustible o productos químicos (metanol, amoníaco, hidrocarburos, ácido acético) (Plastics Technology, 2020; Solis & Silveira, 2020). En este proceso se pueden alimentar mezclas de residuos plásticos (Solis & Silveira, 2020). El uso de aire reduce los costos de operación, no obstante, cuando se emplea aire se produce una mayor cantidad de NO_x lo cual, además de ser nocivo para la atmósfera, afecta procesos posteriores como el de conversión catalítica (Ragaert et al., 2017).

Hidrocraqueo

Este proceso, a diferencia del craqueo térmico o convencional, requiere de la adición de hidrógeno, el cual mejora la calidad del producto final, ya que a mayor relación de H/C el contenido de aromáticos es más bajo. El hidrocraqueo se lleva a cabo a presiones elevadas de hidrógeno (cerca de 70 atm) y a una temperatura de entre 375 °C y 500 °C (Ragaert et al., 2017). Como productos finales se obtienen hidrocarburos gaseosos y líquidos de composición similar a la del petróleo y derivados de éste. El inconveniente de esta tecnología es el costo elevado del hidrógeno (Kohli et al., 2019).

- **Coprocesamiento**

Es un proceso que se aplica principalmente en la industria cementera, consiste en ingresar al horno de cemento residuos previamente seleccionados y acondicionados para que funcionen como fuente de energía térmica o materia prima en la producción del cemento.

Todo el material que se alimenta se convierte en energía o se añade al clínker (material intermedio en la fabricación del cemento) (FICEM, 2018). En el caso de los plásticos estos se emplean como combustible alternativo, sometiéndose a altas temperaturas (1,100 - 2,000 °C), prolongado tiempo de residencia y elevada turbulencia (CANACEM, 2020).

Debido a que en este proceso suele haber emisión de gases a la atmósfera es necesario que las cementeras continuamente monitoreen los gases emitidos y que además cuenten con filtros electrostáticos o de manga que retengan de material particulado (FICEM, 2018).

- **Valorización energética o incineración**

La recuperación de energía mediante incineración (combustión) es una opción viable para los residuos plásticos cuyo reciclaje (mecánico o químico) no es posible debido a la cantidad, composición, limpieza, las tecnologías disponibles o cuando se quiere evitar su envío a sitios de disposición final (PlasticsEurope, 2020b). Los residuos plásticos son una fuente importante de energía por su alto valor calorífico (Eriksson & Finnveden, 2009); el vapor obtenido del proceso se puede emplear para producir electricidad o calor (Eriksson & Finnveden, 2009).

El proceso ideal implica una combustión completa, la cual se logra cuando se agrega un exceso de oxígeno; esto da como productos CO₂, vapor y material particulado conocido como cenizas (Ojovan & Lee, 2014). En cambio, si la combustión es incompleta los productos generados incluyen hollín, alquitrán (Van Loo & Koppejan, 2008), CO, NO_x, SO_x, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (C. T. Li et al., 2001), metales pesados y gases ácidos (MARM, 2011).

Aunque a simple vista la incineración parece una opción viable para la eliminación de los plásticos se considera que es una fuente de contaminación ambiental grave, ya que la quema del plástico podría liberar sustancias peligrosas contenidas en ellos, tales, como metales pesados (Teng et al., 2024), contaminantes orgánicos persistentes y otros tóxicos los cuales ponen en riesgo a la calidad del aire, la salud humana y el ambiente en general (Jang et al., 2022).

Algunas alternativas para disminuir la contaminación hacia el aire son la neutralización de los gases de combustión y la instalación de equipos (ciclones, precipitadores electrostáticos, por mencionar algunos) que capten las partículas sólidas de tamaño pequeño mediante la filtración los gases de combustión (Tabasová et al., 2012), sin embargo, esto aumenta el costo del proceso que ya de por sí es elevado.

- **Biodegradación**

La biodegradación, también conocida como degradación biótica o reciclaje biológico, es un proceso a través del cual las sustancias son transformadas, por acción de los microorganismos o por las enzimas que excretan, en compuestos simples (dióxido de carbono y agua en condiciones aeróbicas, y metano y dióxido de carbono en condiciones anaeróbicas) gracias al proceso de mineralización (Singh & Sharma, 2008; Vázquez-Morillas et al., 2014a).

Generalmente la biodegradación de un plástico se da en conjunto con procesos de degradación abiótica, tales como fotodegradación, termodegradación, degradación mecánica y química (Vázquez-Morillas et al., 2014a), ya que estos dan lugar moléculas más pequeñas que posteriormente son asimilables por los microorganismos (Shah et al., 2008).

Los plásticos biodegradables se fabrican tanto de combustibles fósiles como de recursos naturales renovables, a estos segundos se les conoce como biobasados. Ejemplos de los primeros son el polibutileno succinato (PBS) y policaprolactona (PCL), y de los biobasados los polihidroxitiratos (PHB) y el ácido poliláctico (PLA). Los principales factores que intervienen en su biodegradación son las características del plástico (Shashi et al., 2021), la cantidad y el tipo de microorganismos presentes en el medio (Ali et al., 2021) y las condiciones ambientales que van de la mano con los escenarios o medios (Pischedda et al., 2019).

Los medios en los cuales se ha reportado la biodegradación de los plásticos son variados e incluyen suelo, ambientes marinos, rellenos sanitarios (Ali et al., 2021), composta (Kalita et al., 2020), digestión anaerobia (Samadi et al., 2019) y lodos activados (Swiontek et al., 2020). Los estudios en estos escenarios se pueden hacer a escala laboratorio, piloto o en campo;

de estos los realizados en condiciones de laboratorio son los más comunes y para los cuales se pueden seguir o no estándares internacionales, como ASTM e ISO, que establecen las especificaciones para evaluar con mayor certeza su biodegradación en un ambiente controlado cuyo proceso generalmente dura varios meses (Vázquez-Morillas et al., 2014a).

Una desventaja de los estudios de biodegradación a escala laboratorio es que estos no reflejan las condiciones reales de los ambientes estudiados (Vázquez-Morillas et al., 2018). Aunado a esto algunas investigaciones evidencian que los plásticos biodegradables no son la opción ideal para su eliminación del ambiente, ya que no se degradan por completo, sino que originan piezas más pequeñas entre las cuales se encuentran los microplásticos (Wei et al., 2021; Weinstein et al., 2020).

- **Rellenos sanitarios**

Otra opción para el manejo de los residuos plásticos es la disposición en los rellenos sanitarios, no obstante, ésta debe ser la última debido al impacto ambiental que generan por la contaminación al aire, suelo y mantos acuíferos, el agotamiento de recursos y las tierras destinadas a esta actividad (Liu et al., 2018). Lo ideal sería que al relleno sanitario sólo se enviaran aquellos residuos que se han producido en el reciclaje y la valorización energética (Prata et al., 2019), y que no tienen más alternativas para su valorización.

En muchos países los rellenos sanitarios no son gestionados en forma correcta, así que en realidad son tiraderos a cielo abierto en donde los residuos depositados no se compactan ni se cubren de manera adecuada, por lo tanto, los residuos plásticos ahí presentes pueden desplazarse al medio circundante, ingresar al océano y causar contaminación (Ritchie, 2018).

Las emisiones de metano, los lixiviados y la escasez de espacio derivados de la disposición en rellenos sanitarios puede mitigarse con la alternativa llamada “minería de rellenos sanitarios” que básicamente consiste en recuperar los materiales, anteriormente depositados, mediante excavación y posteriormente reciclarlos, someterlos a incineración o coprocesamiento (Krook et al., 2012). Sin embargo, esto no es muy común y falta investigar más sobre la metodología y la capacidad tecnológica adecuada para la

recuperación de los residuos, su clasificación, las implicaciones en el tratamiento posterior, así como, los aspectos sociales y económicos (Burlakovs et al., 2019; Krook et al., 2012).

2.3 Contaminación marina

La contaminación marina es la introducción de sustancias o energía, por parte del ser humano, al ambiente marino, que ocasiona daños a los recursos vivos, peligros para la salud humana, obstáculos para realizar las actividades marinas (incluida la pesca), deterioro de la calidad del agua de mar y disminución de los servicios ambientales (Beiras, 2018). La contaminación marina puede darse por la entrada de productos químicos, radiactividad, residuos sólidos, derrames de petróleo, energía (calor y ruido), patógenos, parásitos o especies invasoras (Wilhelmsson et al., 2013).

Las fuentes de contaminación marina pueden ser difusas o puntuales. En cuanto a las difusas, éstas incluyen fosas sépticas, vehículos, granjas, ranchos ganaderos y áreas de extracción de madera (NOAA, 2020); se producen como resultado de la escorrentía, ya que a medida que ésta se mueve recoge y arrastra contaminantes naturales y artificiales, y finalmente los deposita en lagos, ríos, humedales, aguas costeras y aguas subterráneas (EPA, 2018). En lo que respecta a las puntuales, esta categoría hace referencia a fuentes individuales claramente localizadas e identificadas, por ejemplo, derrames de petróleo o químicos (NOAA, 2020).

2.3.1 Contaminación por residuos sólidos

Uno de los tipos de contaminación persistente en el océano es la generada por residuos sólidos, también conocidos como residuos marinos. De manera general los residuos marinos se definen como aquellos materiales sólidos persistentes, fabricados por el humano, que han sido dispuestos, descartados o abandonados al mar o a la costa. Las fuentes de los residuos marinos pueden ser terrestres y marinas. En el primer caso se tiene a los sitios de disposición final cercanos a la costa, al transporte por ríos o aguas residuales municipales no tratadas, residuos de industrias y los generados por el turismo (UNEP, 2005). En el segundo grupo se incluye a los residuos generados en los barcos mercantes, ferrys y

cruceros; barcos de pesca; barcos de investigación o flotas militares; plataformas petroleras y barcos perdidos como consecuencia del mal clima (UNEP, 2009).

De todos los residuos que entran al océano, los residuos plásticos representan la mayor proporción, a veces hasta el 95 % (Galgani et al., 2015). De acuerdo con estimaciones, en 2010 se generaron 275 millones de toneladas métricas (TM) de residuos plásticos en 192 países costeros, de las cuales entre 4.8 y 12.7 millones de TM ingresaron al océano. Debido a que el tamaño de la población y la calidad de los sistemas de gestión de residuos determinan en gran medida la masa de residuos no capturados que quedan disponibles para convertirse en residuos marinos, se prevé que, si no hay mejoras en la gestión de residuos, la cantidad de residuos plásticos que ingresará al océano desde tierra aumentará en un orden de magnitud para el año 2025 (Jambeck et al., 2015).

2.3.2 Residuos sólidos en mares y costas de México

A nivel mundial México se considera un país megadiverso con mayor superficie oceánica (65 %) que terrestre (35 %). Ésta se encuentra distribuida en las regiones Golfo de México, Mar Caribe, Pacífico Noroeste, Golfo de California y Pacífico Tropical. La República Mexicana tiene una extensión de 11,122 km de litoral de los cuales 7,828 km corresponden al Océano Pacífico y 3,294 km al Golfo de México y Mar Caribe (SEMARNAT, 2018; CONABIO, 2006).

Con el paso de los años el crecimiento poblacional de las zonas costeras ha sido constante y, debido a la construcción de infraestructura, sobreexplotación de sus recursos y disposición inadecuada de los residuos municipales ha causado presión tanto al medio costero como al marino (SEMARNAT, 2016). Además de esto el crecimiento del turismo en las últimas décadas también ha provocado impactos negativos a la población y al ambiente, por ejemplo, eliminación de cubierta vegetal, modificación de la línea de costa, alteración de la conformación topográfica, daños a arrecifes de coral, contaminación marina por aguas residuales y residuos sólidos (INECC, 2004).

En cuanto a los residuos sólidos en entornos marinos y costeros de México no existe algún programa por parte del gobierno que se dedique a monitorearlos de forma sistemática, por lo que además de estudios realizados en sitios específicos, sólo se cuenta con la información

que anualmente reporta Ocean Conservancy a partir de su campaña de Limpieza Costera Internacional (LCI). En la Figura 2.4 se presentan las concentraciones de residuos en unidades de piezas/m_{lineal}; de manera general se aprecia que ha habido variaciones entre los diferentes años, y que las mayores y menores concentraciones correspondieron a los años 1989 y 2007, con 8.4 y 0.1 piezas/m, respectivamente. Por otro lado, también se resalta que, en los años 1997, 1998, 2005, 2011 y 2012 México no participó en la LCI.

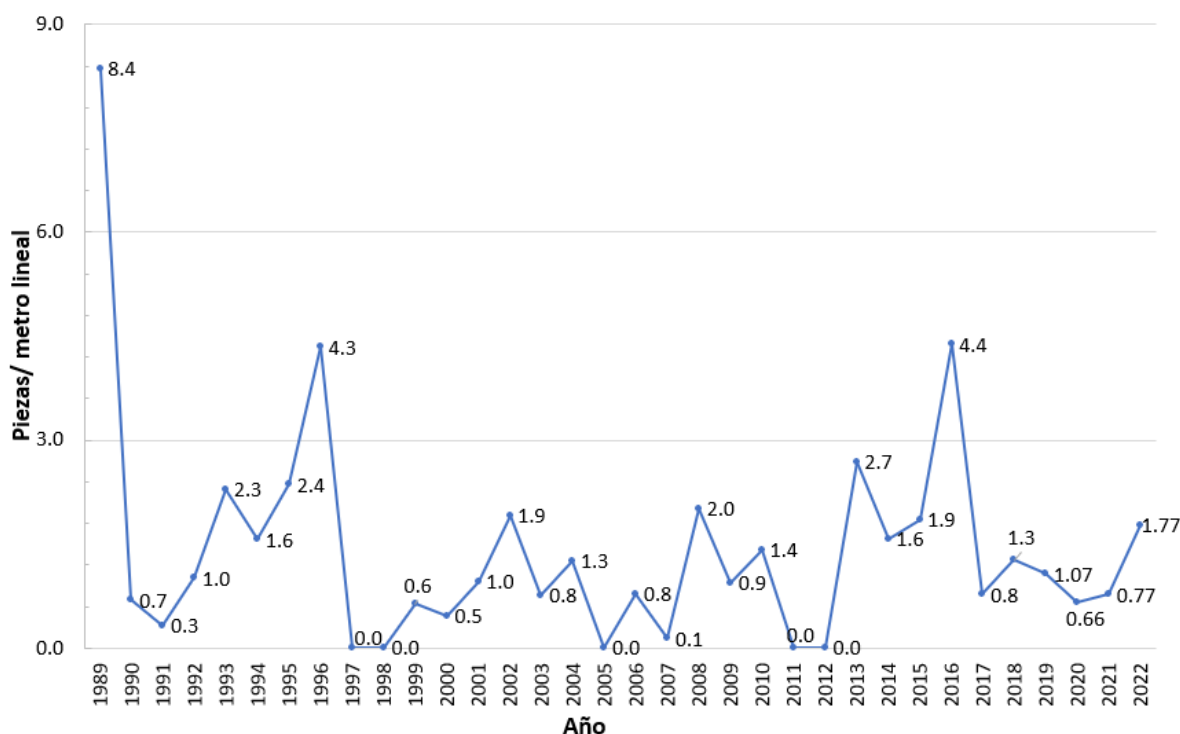


Figura 2.4. Concentración de residuos por año en términos de piezas/metro lineal. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Conservancy (2023)

Los resultados sobre el número de piezas recolectadas sobre la masa total en kg se observan en la Figura 2.5, al igual que en el caso anterior aquí también hay variaciones entre cada año. Se aprecia que en los años 90s el número de piezas recolectadas por kg de masa osciló entre 2 y 6.8 piezas/kg, mientras que, en el 2002, 2016 y 2022 este número incrementó a 8.1, 15.1 y 18.5 piezas/kg, respectivamente; esto podría deberse a que poco a poco los

residuos más ligeros, como los plásticos, fueron cobrando relevancia por lo que se volvieron más comunes en las LCI.

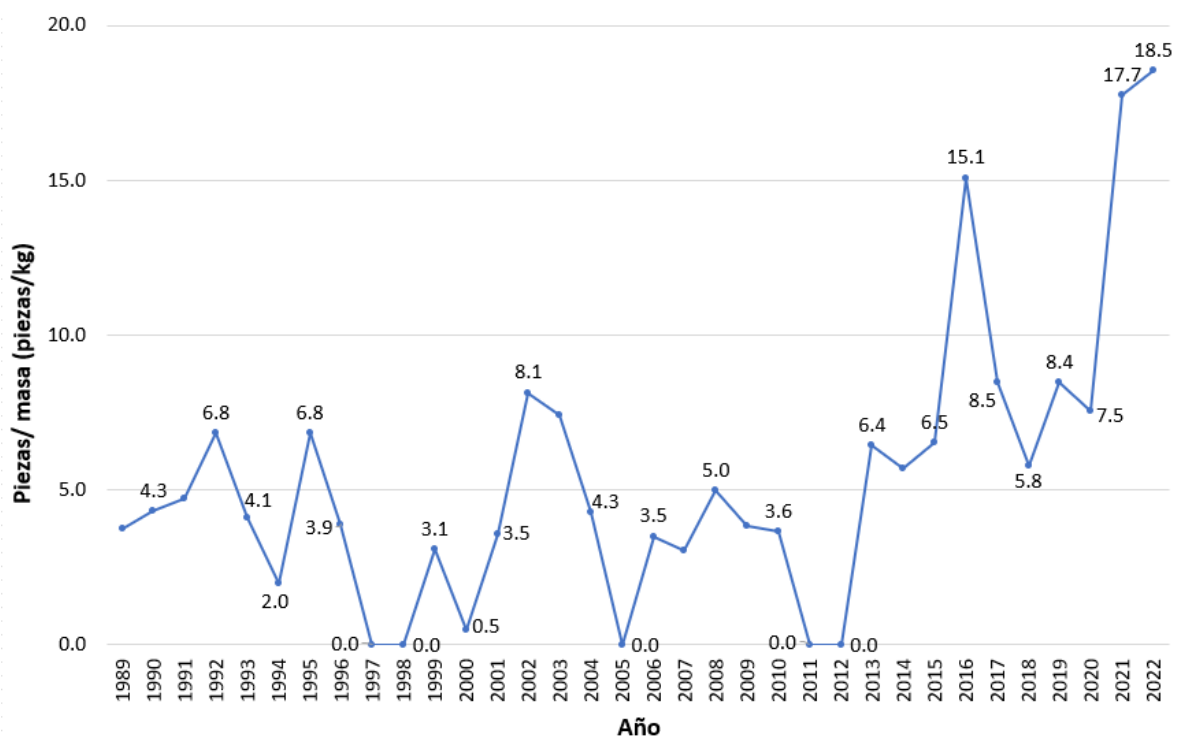


Figura 2.5. Concentración de residuos por año en términos de piezas/masa. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Conservancy (2023)

Las proporciones de los tres residuos más comunes en las LCI se muestran en la Figura 2.6. En primer lugar se observa que en 1989 ya empezaban a ser frecuentes algunos residuos plásticos (botellas y tapas de plástico), pero sus proporciones aun no sobrepasaban al de las botellas de vidrio. En 1990 el porcentaje de las botellas de vidrio comenzó a disminuir y empezaron a ser más comunes otros tipos de residuos plásticos (bolsas de plástico para la basura y para su uso en el supermercado).

La aparición de las colillas de cigarro dentro de los tres primeros lugares data desde 1995, y se ha mantenido así por varios años excepto en 1996, 2001, 2007, 2008 y 2021. Desde el 2009 hasta la fecha los residuos que han estado comúnmente en las tres primeras

posiciones son colillas de cigarros, botellas de plástico para bebidas y tapas de botellas de plástico.

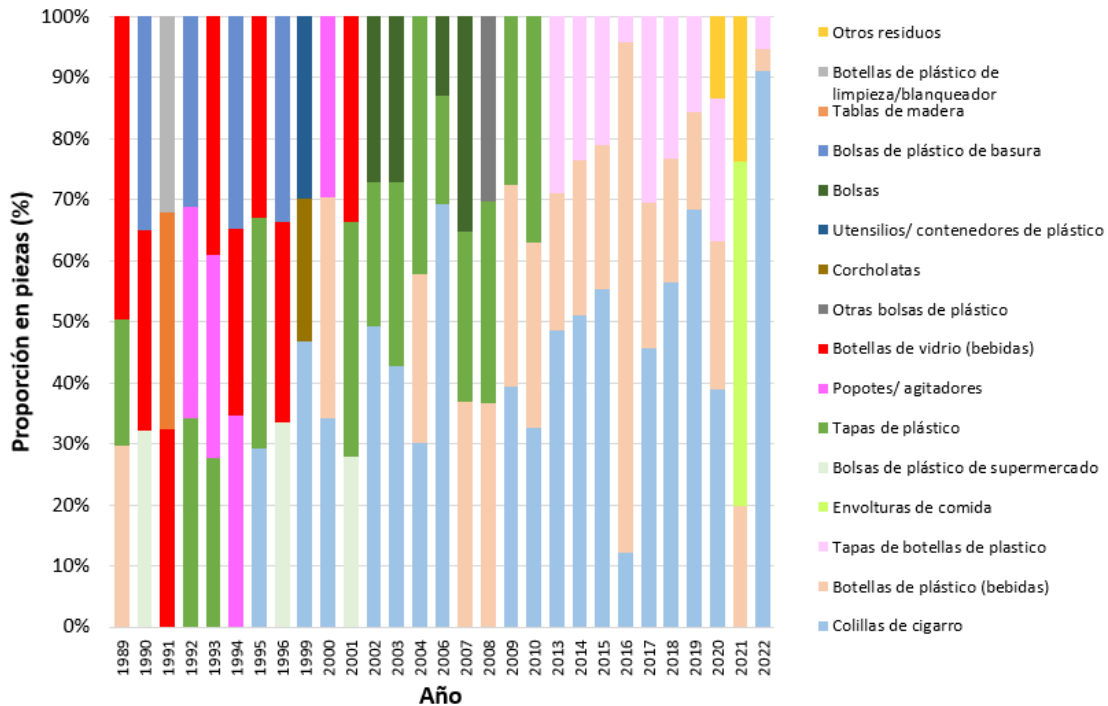


Figura 2.6. Top tres de los residuos más comunes. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Ocean Conservancy (2023)

2.4 Microplásticos

Los (MP) son pequeñas partículas de plástico menores a 5 mm en todas sus dimensiones (largo, ancho y diámetro) (UNEP, 2014). La contaminación marina por MP se ha convertido en un foco de investigación ambiental con estudios que abordan su presencia en diferentes zonas incluida la columna de agua, sedimentos y organismos que se alimentan por filtración (Anderson et al., 2016; Ostiategui-Francia et al., 2017).

Los MP tienen dos orígenes, el primero corresponde a aquellas piezas de plástico (pellets y microbeads) fabricadas de un tamaño pequeño para emplearlos en diferentes aplicaciones industriales (GESAMP, 2016), mientras que el segundo hace referencia a los microplásticos que resultan de la fragmentación de los plásticos de mayor tamaño (envases, bolsas, platos,

vasos, cubiertos, contenedores, entre otros), ya sea por fotodegradación, biodegradación, oxidación o esfuerzos mecánicos, una vez que se encuentran en el ambiente (GESAMP, 2016; UNEP, 2016).

2.4.1 Fuentes de microplásticos

Las fuentes de los MP son variadas, sin embargo, la mayoría de estos proviene de las actividades llevadas a cabo en tierra y cada una de estas contribuye a que los distintos tipos de MP lleguen a los entornos naturales, incluido el medio marino. A continuación, se describen cada una de las fuentes de MP, las cuales también se resumen en las

Tabla 2.2 y 2.3.

- **Agricultura**

El uso del plástico en la agricultura es cada vez más común, generalmente se emplean películas o mallas plásticas para construir invernaderos, túneles de plástico y acolchado. Algunas de las ventajas de usar estos materiales son la conservación del agua y temperatura, reducción de la evaporación, y poco o nulo contacto entre los cultivos y otras hierbas o malezas que absorben el agua y los nutrientes (PlasticsEurope, 2020a).

A pesar de los beneficios de los plásticos en la agricultura se considera que estos, especialmente los empleados como acolchado, también son una fuente importante de microplásticos (Huang et al., 2020). Los plásticos al utilizarse al aire libre están expuestos a lluvia, viento, radiación solar y productos químicos, esto promueve su fragmentación a piezas más pequeñas entre las que se encuentran los MP (Serrano-Ruiz et al., 2021), los cuales posteriormente se transportan, mediante el viento o escorrentías, hacia otros entornos naturales (Kumar M & Sheela A, 2020).

- **Pesca y acuicultura**

La industria del plástico ha influido en el desarrollo de las actividades involucradas en la pesca y acuicultura. En la pesca es frecuente el uso de redes (de arrastre o no), cuerdas, flotadores, trampas, señuelos, líneas y cajas de plástico (para almacenar y transportar el

producto obtenido) (Lusher et al., 2017), mientras que en la acuicultura es común el empleo de las boyas, cuerdas, redes y tubos (INAPESCA, 2018).

Estos artículos de plástico en ocasiones terminan abandonados, perdidos o descartados al medio marino y costero, se desgastan durante su uso y posteriormente se fragmentan hasta dar lugar a MP. Con base en lo anterior se tiene la conjetura de que estos sectores son una fuente potencial de MP, sin embargo, aún no se tienen datos concretos sobre qué tanto contribuyen con respecto al total de MP que hay en el ambiente marino (ONUAA, 2019).

- **Vehículos: degaste de llantas**

Las llantas de vehículos están fabricadas con caucho de estireno butadieno (aproximadamente 60 %) mezclado con caucho natural y muchos otros aditivos (CW, 2019). En la medida en que las llantas ruedan por la carretera y se efectúa el frenado o aceleración se generan MP (Knight et al., 2020); se considera que la emisión de MP de llantas de automóviles es mayor comparada con lo que se genera del desgaste de llantas de aviones, el césped artificial, el desgaste de los frenos y marcas viales (Kole et al., 2017).

Estas partículas son esparcidas por el viento o arrastradas por las lluvias hacia otros sitios. Se ha estimado que los MP del desgaste de llantas contribuyen entre el 5 y 10 % del total de plásticos presentes en océano y que en el aire representa del 3 al 7 % de las partículas PM_{2.5}. Esto supone no sólo un riesgo ambiental, sino también un riesgo a la salud por la contaminación del aire (Kole et al., 2017).

- **Industria del plástico (pellets)**

Los pellets (resinas vírgenes esféricas o cilíndricas) son la materia prima para la fabricación de plásticos nuevos o reciclados (UNEP, 2014). Su entrada al ambiente se ha relacionado con derrames alrededor de las áreas empresas de producción, empresas subcontratadas involucradas en el transporte (vía marítima o terrestre), almacenamiento, limpieza y gestión de residuos. En 2018 se estimó que de una empresa Sueca productora de pellets se liberaron al ambiente circundante, incluidas las vialidades y playas, entre 3 y 36 millones de pellets al año (Karlsson et al., 2018).

- **Turismo costero**

El turismo es una actividad socioeconómica importante para el desarrollo de las comunidades costeras, sin embargo, cuando ésta no se realiza de manera eficiente causa contaminación debido a la presencia de residuos sólidos, lo cual a su vez deteriora el ecosistema marino-costero (Garcés-Ordóñez et al., 2020). Particularmente en las playas se ha observado que la alta presencia de residuos está ligada a la alta densidad de visitantes, la cual puede variar en temporada dependiendo de la zona o región (Grelaud & Ziveri, 2020; Santos et al., 2005). De los residuos más comunes en las playas destacan los plásticos (bolsas, botellas, empaques, popotes, taparrosas, película, entre otros) (Santos et al., 2005; Shamsiry et al., 2011). Si estos no se manejan adecuadamente permanecerán en el aire libre por tiempo prolongado en donde se fragmentarán y originarán MP.

- **Sitios de disposición final**

Entre los residuos que se depositan en estos sitios se encuentran los plásticos provenientes de la industria o de los domicilios, los cuales al estar enterrados experimentan algún tipo de degradación y originan pequeñas partículas, es por ello que los sitios de disposición final son considerados como una fuente potencial de MP (He et al., 2019). Hasta el momento las investigaciones realizadas en estos sitios se han enfocado a estudiar a los lixiviados, con base en esto se ha encontrado que los tipos de MP incluyen fibras, películas, fragmentos, espumados y pellets y que los patrones de abundancia y distribución del tamaño varían según el tiempo de operación del sitio de disposición final (He et al., 2019; Su et al., 2019).

- **Industria textil**

En la actualidad, cerca de dos tercios de todos los textiles son sintéticos, provienen de plásticos a base de petróleo (poliéster, poliamida y acrílico). Estas prendas liberan pequeñas fibras al ambiente durante su producción, uso y al final de su vida útil (Henry et al., 2019), no obstante, se cree que la mayor parte entra al ambiente a través de la descarga de aguas del lavado a los cuerpos de agua (De Falco et al., 2019). Se ha estimado que las microfibras comprenden cerca del 35 % de los MP secundarios en entornos marinos y que una proporción importante se encuentra en las zonas costeras (Henry et al., 2019).

- **Productos de cuidado personal (PCP)**

Las partículas de plástico esféricas o amorfas (conocidas como microbeads o microesferas) se utilizan como ingredientes para distintos productos cosméticos y de cuidado personal, por ejemplo, desodorante, shampoo, gel de ducha, lápiz labial, tinte para el cabello, protector solar, repelente, exfoliantes, sombras y rímel, entre otros (UNEP, 2015). Estos materiales han reemplazado a los ingredientes naturales, tales como semillas, conchas de piedra pómez o de tierra (UNEP, 2014). Estas partículas están presentes en diferentes proporciones en cada uno de los productos, pueden ir desde menos 1 % hasta más del 90 %. Según datos del 2012, en ese entonces se empleó un total de 4,360 toneladas de microbeads de PE para la fabricación de productos de cuidado personal en todos los países de la Unión Europea, además de Noruega y Suiza (UNEP, 2015).

Tanto los MP de los PCP y como los textiles entran al ambiente a través de las aguas residuales, debido a que los filtros generalmente no están diseñados para retener partículas pequeñas como las microfibras y los microbeads y por lo tanto hay una fuga de estos al ambiente (Salvador et al., 2017; Shahnawaz et al., 2019).

Tabla 2.2. Resumen de las fuentes de MP

Fuente	Artículos empleados	MP originados	Medios de entrada a ecosistemas
Agricultura	Películas y mallas	Secundarios: película	Escorrentías y vientos
Pesca	Redes, cuerdas, flotadores, señuelos, líneas y cajas de plástico	Secundarios: fibras, fragmentos rígidos y semirrígidos	Desgaste durante su uso o al descartarse al ambiente marino y/o costero
Acuicultura	Boyas, cuerdas, redes y tubos	Secundarios: fibras y fragmentos	
Vehículos	Llantas de caucho	Secundarios: fragmentos semirrígidos	Viento y lluvias
Industria del plástico	Pellets	Primarios: pellets	Derrames y fugas
Turismo costero	En su mayoría plásticos de un solo uso	Secundarios: fragmentos, película, fibras y espumados	Viento y oleaje
Sitios de disposición final	Residuos plásticos de industrias y domicilios	Primarios: pellets y microbeads Secundarios: fibras, películas, fragmentos y espumados	Escorrentías y viento

Tabla 2.3. Resumen de las fuentes de MP. Continuación de la Tabla 2.2

Fuente	Artículos empleados	MP originados	Medios de entrada a ecosistemas
Industria textil	Textiles sintéticos	Secundarios: fibras	Descarga de aguas residuales
Productos de cuidado personal	Microbeads	Primarios: microbeads	Descarga de aguas residuales

2.4.2 Presencia de microplásticos en diferentes compartimientos ambientales

Los MP se encuentran distribuidos en diferentes compartimientos ambientales del medio marino y/o costero, sin embargo, los más investigados hasta el momento han sido aguas superficiales, columna de agua, playas, biota y ríos. La transferencia de MP entre compartimientos depende de diferentes factores ambientales (por ejemplo, corrientes marinas, viento, lluvias, formación de biopelícula), las propiedades y fuentes de los MP (Lusher, 2015).

En cuanto a la biopelícula (agregado de comunidades microbianas) como factor ambiental se ha evidenciado que ésta provoca un aumento en la densidad de la partícula, y que por lo tanto es una vía importante para el transporte vertical de MP desde la superficie de agua hasta los sedimentos del fondo marino (Lagarde et al., 2016), por su parte las corrientes costeras y los ríos promueven un transporte horizontal de MP (Coyle et al., 2020).

Los estudios sobre la distribución de MP en diferentes compartimientos ambientales que hay en una zona marina y/o costera específica no han sido muy abordados, pues a menudo se centran en alguno(s) de los compartimientos ambientales, en los que se evalúa la presencia de MP en la matriz agua, sedimento, o ambas. En las Tablas 2.4 y 2.5 se presentan de ejemplo de ocho investigaciones en las que se ha documentado la presencia de MP en algunos compartimientos ambientales y sus matrices de ciertas zonas marinas y/o costeras.

En primera instancia se observa que las regiones más estudiadas son las Bahías (tres estudios) seguido de mares continentales (dos estudios), dos islas (dos estudios) y un Golfo (un estudio). Luego se aprecia que los compartimientos ambientales que más se abordan son el mar (siete estudios) y la biota (seis estudios); respecto al primero, en cinco estudios

se investigó tanto la matriz de agua superficial como la de sedimentos y en el segundo la especie que se estudia con mayor frecuencia son los peces.

La selección de un compartimento ambiental o matriz en particular muchas veces está relacionada con la disponibilidad de materiales, tiempo o recursos económicos para realizar los muestreos, por lo tanto, se opta por lo que esté dentro de las posibilidades del equipo de investigación. Con relación a las especies de fauna marina hay ocasiones en las que se busca estudiar aquellas que están más relacionadas con el consumo humano, para así analizar el posible riesgo al que se expondrían los consumidores.

Los resultados de los estudios sobre las concentraciones de MP presentan variaciones dependiendo de la región y del compartimento ambiental. Para el agua superficial, las mayores concentraciones se reportaron en el Golfo de Orosei con un intervalo aproximado de 18,000 – 22,000 MP/m³, mientras que las menores concentraciones se evidenciaron en la Isla de Giglio en Italia con una media 0.12 MP/m³. En el caso de los sedimentos, las mayores concentraciones se reportaron en las Bahías Vila y Mele con un intervalo de 0 a 33,000 MP/kg_{ss} y las menores concentraciones en el Golfo de Orosei con un intervalo de 10 – 27 MP/kg. Finalmente, para la fauna marina, en donde encontró mayor abundancia de MP fue en peces del Puerto de Suva y Bahía Laucala (0 – 49 MP/espécimen), la menor concentración de estas partículas fue para peces de la Isla de Giglio (media de 1.6 MP/espécimen). Para hacer un análisis más detallado de las concentraciones entre los mismos compartimentos y matrices de diferentes regiones es importante tomar en cuenta otros aspectos, tales como el tiempo (días, semanas, meses o años) durante el cual se recolectaron muestras, número de muestras, temporada y especies (en el caso de la biota), que pueden influir en el resultado final.

Con respecto a los polímeros más frecuentes, estos no siempre se reportan y en los estudios en los que sí se documentan también hay variaciones entre compartimentos y regiones, como en el caso de las concentraciones. De manera general se observa que los dos más reportados son PE (27 – 65 %) y PS (18 – 72 %), pero si se analiza por compartimento se creería que los MP de densidad menor que la del agua de mar se encontrarían en el agua

superficial y que los de mayor densidad estarían en los sedimentos, sin embargo, no siempre es así. Un ejemplo de lo anterior es el PE y PP (con densidades de 0.91 – 0.94 g/cm³ y 0.90 – 0.92 g/cm³, correspondientemente) (Avio et al., 2017), ambos materiales tienen densidades menores que la del agua de mar (1.025 g/cm³) (Long et al., 2015), pero se encontraron en sedimentos de Puerto de Suva, Bahía Laucala y Mar Mediterráneo; a través de esto se establece la hipótesis de que un factor que posiblemente influyó en el cambio de densidad fue la formación de biopelícula en la superficie de los MP, ocasionando así un transporte vertical.

Para la forma y tamaño común de los MP se observa que en casi todos los estudios los más reportados fueron fibras (32 – 97.4 %) y tamaños pequeños de MP (menores a 1 mm). Por último, en las posibles fuentes se han identificado con mayor frecuencia aquellas derivadas de las actividades terrestres (manejo inadecuado de residuos, aguas residuales domésticas y municipales, áreas densamente pobladas, actividades comerciales, esorrentías superficiales, polvo y rellenos sanitarios), que las actividades marinas (pesca, acuicultura y transporte marítimo). El reconocimiento de las fuentes potenciales en ocasiones se relaciona con las formas de MP, esto permite establecer diferentes medidas para prevenir la contaminación.

Tabla 2.4. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de regiones marinas y/costeras

Lugar	Compartimento ambiental	Matriz	Concentraciones	Polímero de MP más frecuente	Forma de MP más común	Tamaño recurrente (mm)	Posibles fuentes	Referencias
Isla Sri Lanka	Arrecifes de coral	Agua superficial	9.8 ± 7.6 MP/m ³	PEBD (60 %)	Fibras (92.3 %)	1 - 5 (61.79 %)	Actividades turísticas y pesqueras, urbanización	(Hansani et al., 2023)
	Arrecifes de coral	Corales	546.7 ± 170.3 MP/kg	PEBD y PS (40 % cada uno)	Fibras (97.4 %)	1 - 5 (52.22 %)		
	Arrecifes de coral	Sedimentos	46.3 ± 29.7 MP/kg	PEBD (74.8 %)	Fibras (92 %)	1 - 5 (58.2 %)		
Italia, El Golfo de Orosei	Mar	Sedimentos	10 - 27 MP/kg	Espumas de PS (18 %), películas de PP (9 %) y fragmentos de PE (27 %)	Fragmentos (44 %) y fibras (32 %)	0.1 - 0.5 (~45 %)	Elevada afluencia turística y transporte de residuos plásticos a través del mar	(Romano et al., 2023)
	Mar	Agua superficial	18,000 - 22,000 MP/m ³					
Italia, Isla de Giglio (Mar Tirreno del Norte)	Mar	Agua superficial	0.12 MP/m ³ (media)	PE (65 %)	Fragmentos (89 %)	1 - 3 (~47 %)	Intensa actividad turística en verano	(Pittura et al., 2022)
	Biota: peces	N.A.	1.6 MP/espécimen (media)	PE (~34 %)	Fragmentos (53 %)	0.01 - 0.2 (57 %)		
Oceanía, Puerto de Suva y Bahía Laucala	Mar	Agua superficial	0 - 0.16 MP/m ³	PE (39 %), PP (39 %)	Fibras (50 %)	N.E.	Aguas residuales domésticas y pesca	(Ferreira et al., 2020)
	Mar	Sedimentos	0 - 0.1 MP/g _{ms}	PE (24 %)	Fibras (64 %)	N.E.		
	Biota: peces	N.A.	0 - 49 MP/espécimen	Látex y PE (27 % cada uno)	Fibras (74 %)	N.E.		
Oceanía, Bahías Vila y Mele	Mar	Agua superficial	0.05 - 0.55 MP/m ³	PS (72 %)	N.E.	N.E.	Áreas densamente pobladas, actividades comerciales, escorrentías superficiales y polvo	(Bakir et al., 2020)
	Mar	Sedimentos	0 - 33,000 MP/kg _{ss}	N.E.	N.E.	N.E.		
	Biota: peces	N.A.	2.9 MP/espécimen	N.E.	N.E.	N.E.		
	Biota: cangrejos	N.A.	1.71 MP/espécimen	N.E.	N.E.	N.E.		
China, Mar Amarillo	Mar	Agua superficial	~ 2,500 - 5,500 MP/m ³	N.E.	Fibras	0.005 (~36 %)	Acuicultura	(Sui et al., 2020)
	Biota: moluscos bivalvos	N.A.	8 - 13 MP/espécimen	N.E.	Fibras	N.E.		

PEBD = polietileno de baja densidad, PS = poliestireno, PE = polietileno, PP = polipropileno, N.A. = no aplica, g_{ms} = gramo de masa seca, N.E. = no especificado

Tabla 2.5. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de regiones marinas y/costeras. Continuación de la Tabla 2.4

Lugar	Compartimento ambiental	Matriz	Concentraciones	Polímero de MP más frecuente	Forma de MP más común	Tamaño recurrente (mm)	Posibles fuentes	Referencias
India, Bahía Port Blair	Mar	Sedimentos	45 MP/kg	Acrílico (21 %), Nylon (18 %)	Fibra (78 %)	0.5-0.75 (31 %)	Manejo inadecuado de residuos, aguas residuales domésticas y municipales, pesca y transporte marítimo	(Goswami et al., 2020)
	Mar	Agua superficial	0.93 MP/m ³	Nylon (27 %), acrílico (25 %)	Fibra (82 %)	1-2 (21 %)		
	Biota: Zooplancton	N.A.	0.12 MP/espécimen	Nylon (33 %), acrílico (23 %)	Fragmentos (51%) y fibras (42 %)	Fibras: < 0.25 (75 %), fragmentos: < 0.5 (84 %)		
	Biota: peces	N.A.	10.65 MP/espécimen	Nylon (26 %), acrílico (23 %)	Fibras (49 %) y fragmentos (46 %)	Fibras: 1-2 (38 %), fragmentos: > 0.75 (64 %)		
Líbano, Mar Mediterráneo Oriental	Mar	Agua superficial	4.3 MP/m ³	PE (56 %)	Fragmentos (77.5 %)	< 0.2 (~38 %)	Rellenos sanitarios costeros	(Kazour et al., 2019)
	Mar	Sedimentos	2,433 MP/kg _{ms}	PP (49 %)	Fragmentos	>1 (> 70 %)		
	Biota: ostras	N.A.	7.2 MP/espécimen	PS (> 25 %)	Fibras	< 0.2 (~38 %)		
	Biota: peces	N.A.	2.5 MP/espécimen	PS (> 25 %)	Fragmentos	< 0.2 (~41 %)		

N.A. = no aplica, Kg_{ss} = kilogramo se sólido seco, PE = polietileno, PP = polipropileno, PS = poliestireno, k_{ms} = kilogramo de masa seca

2.4.3 Impactos de la presencia de microplásticos en el medio marino

Los MP se han convertido en un contaminante marino emergente y debido a ello es necesario conocer cuáles son las implicaciones de su presencia en los hábitats y las especies que ahí habitan ya que existe la probabilidad de que causen un riesgo ecológico (Lusher, 2015). Éste se define como el conjunto de efectos a los que se enfrenta un ambiente natural, incluida la biota y sus funciones, por la exposición a uno o más factores estresantes, por ejemplo, productos químicos, enfermedades e especies invasoras (US EPA, 2016).

- **Sorción de contaminantes**

La sorción de un compuesto se define como el proceso de transferencia de contaminantes de una fase fluida (agua) a una fase sólida (residuos plásticos). Está relacionado con las propiedades fisicoquímicas tanto del contaminante (hidrofobicidad, peso molecular y constante de disociación ácida) como de la superficie a la cual se adhiere, en este caso los MP (tamaño, área superficial, densidad, polímero, forma, grado de envejecimiento, aditivos y peso molecular) y las del medio (salinidad, temperatura, pH o biopelícula) (Menéndez-Pedriza & Jaumot, 2020).

Para el caso del tamaño y el envejecimiento de los MP se ha encontrado que la capacidad de sorción aumenta en partículas de tamaño más pequeño y de mayor grado de degradación, esto es debido a que ambos factores propician que haya mayor área superficial en las partículas y por lo tanto mayor afinidad por los contaminantes (Guo & Wang, 2019).

Algunos contaminantes de los que se ha reportado la sorción en MP recolectados de agua superficial o sedimentos de playa son los orgánicos persistentes (hidrocarburos aromáticos policíclicos - HAPs, plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados - BPC) (Shi et al., 2020; Syberg et al., 2020) y metales pesados (arsénico, zinc, cadmio, níquel, hierro, manganeso, cobre, plomo) (Gao et al., 2019; Li et al., 2020).

- **Ingesta**

Una vez que los MP entran a los diferentes compartimentos ambientales del medio marino se encuentran biodisponibles para organismos de diferentes niveles tróficos (Prinz & Korez, 2020). La interacción más probable entre la fauna marina y los MP es la ingesta, la cual ocurre cuando los organismos identifican, por error, a estas partículas como una de sus presas o cuando por accidente las consumen (Lusher, 2015).

La ingesta de MP se ha evidenciado en diferentes especies, por ejemplo, zooplancton, organismos bentónicos, pescado, aves, mamíferos, tortugas, crustáceos y moluscos (Ajith et al., 2020; Sharma & Chatterjee, 2017). En el caso de los organismos de nivel trófico inferior que hayan consumido MP existe la probabilidad de que las partículas se transfieran en la cadena alimenticia cuando tales especies son consumidas por organismos superiores (Lusher, 2015).

Efectos secundarios de la ingestión

La fauna marina que ingiere MP está propensa a tener efectos posteriores, los cuales van desde efectos físicos (falta de movilidad, bloqueo intestinal, dificultad para respirar, retardo de la ovulación, reducción del crecimiento y las actividades de alimentación) hasta efectos tóxicos (daño en el sistema nervioso central, estrés oxidativo, cáncer, alteración de la frecuencia cardíaca y muerte) (Sharma & Chatterjee, 2017). Estos últimos están asociados a los compuestos químicos contenidos en los MP: aditivos empleados durante la fabricación de los MP o plásticos y contaminantes sorbidos del agua circundante (Prinz & Korez, 2020).

Cuando los organismos marinos ingieren MP contaminados existe la posibilidad de que estas sustancias se liberen y se acumulen en los tejidos. Por ejemplo, en un estudio se expusieron mejillones *Mytilus galloprovincialis* a MP de PE y PS con pireno se encontró que el contaminante se transfirió y se acumuló en los tejidos digestivos. Algunos de los efectos observados fueron alteraciones de las respuestas inmunológicas, efectos neurotóxicos, inicio de genotoxicidad y cambios en el perfil de expresión génica (Avio et al., 2015).

En otra investigación se estudiaron peces medaka japonesa (*Oryzias latipes*) con MP de PE y HAP, BPC y bifenilos polibromados (PBB) como contaminantes. Se concluyó que todos los contaminantes se transfirieron y bioacumularon en los tejidos de los peces. En este caso los efectos que se presentaron incluyen estrés en el hígado, agotamiento del glucógeno, necrosis unicelular y tumor (en un pez) (Rochman et al., 2013).

Posible daño a la salud humana

Aunado a lo anterior, otra de las preocupaciones derivadas de la ingesta de MP (contaminados o no) por la fauna marina es el posible daño a la salud humana a través del consumo de mariscos como mejillones, almejas y camarones, ya que estos se comen enteros (Galloway, 2015). Si bien se han publicado estudios que evidencian la presencia de microplásticos en algunas partes del

cuerpo humano como la sangre (Leslie et al., 2022), la placenta (Ragusa et al., 2021), las heces (Yan et al., 2022) y las arterias carótidas (Marfella et al., 2024), aún no hay claridad sobre sus implicaciones en la salud humana. En el caso de la investigación de las heces fecales se encontró una correlación positiva entre la concentración de MP y la gravedad de la enfermedad inflamatoria intestinal (Yan et al., 2022). Por su parte, en el estudio de las arterias carótidas, los pacientes en los que se detectaron MP tenían más riesgos de sufrir un infarto de miocardio, accidente cerebrovascular o muerte que los pacientes en cuyas arterias no se detectaron MP (Marfella et al., 2024).

- **Transporte de especies invasoras**

Se ha evidenciado que el contacto de los MP con el agua de mar propicia que en su superficie se desarrolle una capa conocida como biopelícula, la cual está conformada por comunidades complejas de microorganismos (Zettler et al., 2013). Estudios sugieren que la tasa de crecimiento de la biopelícula depende en gran medida de las condiciones ambientales del agua de mar, por ejemplo, la salinidad, los nutrientes y la temperatura del agua (Li et al., 2019; Oberbeckmann et al., 2018).

Dentro de los microorganismos que se encuentran en la biopelícula de microplásticos se ha reportado la existencia de patógenos, como reportan Zettler et al., (2013), quienes encontraron que los MP muestreados de agua de mar del Atlántico Norte estaban colonizados por bacterias del género *Vibrio* las cuales tienen la capacidad de dañar el tejido de los corales *Montipora capitata* (Bourne et al., 2015). Otro ejemplo corresponde a las bacterias patógenas de peces *Aeromonas salmonicida*, que se encontraron en microplásticos recolectados de aguas del mar Adriático del Norte (Viršek et al., 2017).

Debido a que los MP se transportan a otras partes del medio marino a través de las corrientes marinas existe la probabilidad de que en los nuevos lugares a donde lleguen pongan en riesgo al ecosistema en general, la salud humana y que incluso causen pérdidas económicas al sector de la pesca y acuicultura (Bowley et al., 2020).

2.4.4 Legislación sobre microplásticos

El interés sobre la presencia de los residuos plásticos y MP en el ambiente ha aumentado debido a su omnipresencia y a los efectos negativos que causan. Derivado de esto se han implementado

algunas regulaciones con el fin de mitigar esta problemática y por lo tanto evitar, en la medida que sea posible, que se sigan generando y lleguen a otros entornos (Bonanno & Orlando-Bonaca, 2020; da Costa et al., 2020). No obstante, es complejo aplicar la legislación debido a la dispersión, persistencia y movilidad de los MP, así como al incremento de la producción de plásticos, su consumo global, la diversificación de las fuentes de contaminación y la evasión de responsabilidad por parte del comercio internacional (Dauvergne, 2018).

A continuación, se dan a conocer algunos instrumentos regulatorios relacionados con el tema de MP, los cuales en gran parte se han abordado a nivel internacional y en menor medida a nivel nacional. En primer lugar, se presentan aquellos que tienen prohibiciones sobre el uso directo de los MP y en segundo lugar aquellas regulaciones relacionadas a la problemática de MP en ambientes marinos.

- **Legislación sobre el uso de microplásticos añadidos intencionalmente**

Hasta la fecha, aproximadamente 16 países (Tabla 2.6), dentro de los cuales se encuentra México, han adoptado leyes o reglamentos relacionados al tema de MP. Sin embargo, todos están enfocados a la prohibición de la fabricación, venta o importación de productos que contengan microbeads, es decir, no se incluyen otros tipos de MP. La mayoría de estos países (7 países) son europeos en los cuales ya se aplicaron dichas prohibiciones. No obstante, hay otros países en los que ya entraron en vigor, pero se desconoce cuál es el estado actual de esas prohibiciones (Australia y Sudáfrica).

En el caso de México esta prohibición no es para todo el país, sino que sólo se incorporó a la Ley de Residuos del Distrito Federal, es decir, aplica para la Ciudad de México (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019). Hasta el momento no hay alguna prohibición que abarque todo el territorio nacional, lo único que se tiene son tres iniciativas con proyecto de decreto para reformar artículos de la Ley General de Salud los cuales se relacionan a la restricción en el uso de microbeads en productos cosméticos (Cámara de Diputados, 2020).

Tabla 2.6. Prohibiciones sobre microplásticos en diversos países

País o ciudad	Tipo de prohibición	Fecha de aplicación	Referencia
Australia	Eliminación voluntaria de microbeads en productos de cuidado personal, cosméticos y de limpieza	2016 -2018 Estado actual: desconocido	(Australian Government, 2018)
Canadá	Manufactura, importación y venta de artículos de tocador que contengan microbeads	01/07/2018	(EC, 2019; Senado de la República, 2019; UNEP, 2018)
Estados Unidos	Fabricación, importación, envasado y venta de productos cosméticos enjuagables que contengan microbeads	Fabricación: 01/07/2017 Introducción: 01/07/2018	
Francia	Venta de productos de cosméticos enjuagables para limpieza y exfoliación a los que se hayan agregado microbeads intencionalmente	01/01/2018	
India	Uso de microbeads en cosméticos	Previsto para 2020	(Plastics soup foundation, 2020)
Italia	Venta de cosméticos con acción exfoliante o detergente que contengan microbeads	01/01/2020	(EC, 2019; Senado de la República, 2019; UNEP, 2018)
México	Comercialización, distribución y entrega de productos que contengan microplásticos	01/01/2021	(Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2019)
Nueva Zelanda	Manufactura y venta de productos enjuagables	07 /06/ 2018	(EC, 2019; Senado de la República, 2019; UNEP, 2018)
Reino Unido: - Irlanda del Norte - Inglaterra - Escocia - Gales	Fabricación y venta de productos enjuagables para el cuidado personal que contengan microbeads como ingrediente	- Septiembre de 2018 - 09/01/2018 - 09/07/2018 - 30/06/2018	
República de Corea	Uso de microplásticos en la fabricación de cosméticos y accesorios sanitarios. Las restricciones de su uso deben estar especificadas	Accesorios sanitarios: 19/05/2017 Cosméticos: 01/07/2017	
Suecia	Venta de productos cosméticos en el mercado	01/07/2018	
Sudáfrica	Propuesta de prohibición de microbeads	2018 Estado actual: desconocido	(Plastics soup foundation, 2020)
Taiwán	Importación y fabricación de cosméticos enjuagables que tengan microbeads	01/01/2018	

- **Legislación sobre microplásticos en entornos marinos**

La legislación relacionada con microplásticos en entornos marinos se centra básicamente en convenios o planes estratégicos para tratar de prevenir la contaminación marina por residuos, algunos de ellos son a nivel internacional y otros a nivel regional. En la Figura 2.7 se presentan a modo resumen los convenios o planes que se abordan en este apartado.



Figura 2.7. Legislación de MP en ambientes marinos

Regulación a nivel internacional

1. Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, MARPOL

MARPOL se adoptó el 2 de noviembre de 1973 en la Organización Marítima Internacional (OMI), es el principal convenio internacional que aborda la prevención de la contaminación del medio marino por los buques debido a causas operacionales o accidentales. Este instrumento está conformado por reglamentos organizados en seis anexos técnicos, en la mayoría de ellos se incluyen áreas especiales con controles estrictos sobre descargas operativas (IMO, 2020).

En lo que respecta al tema de MP este se relaciona con el Anexo V “prevención de la contaminación por basura procedente de los buques”. En la regulación 3 de este anexo se prohíbe la descarga de todos los *plásticos*, incluidos las *cuerdas sintéticas*, *artes de pesca*,

bolsas de plástico y *cenizas* provenientes de incineradoras para residuos plásticos. Sin embargo, hay algunas excepciones en las regulaciones 4, 5 y 6 las cuales se enfocan a los residuos de alimentos, residuos de carga, agentes y aditivos de limpieza, y cadáveres de animales, así como la regulación 7 que se refiere a la seguridad de un buque y a los que se encuentran a bordo y la pérdida accidental (IMO, 2017).

2. Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias 1972, convenio de Londres

El convenio de Londres es uno de los primeros convenios mundiales para proteger el medio marino de las actividades humanas. Entró en vigor en 1975 y actualmente 83 países forman parte de él. Su objetivo es promover el control efectivo de todas las fuentes de contaminación marina y tomar las medidas necesarias para prevenir la contaminación del mar mediante el vertimiento de desechos y otros materiales. En 1996 se agregó el Protocolo de Londres con la finalidad de actualizar la Convención, éste entró en vigor el 24 de marzo de 2006 y actualmente lo han adoptado 53 países, incluido México (IMO, 2020a).

Los países que han adoptado alguna de estas regulaciones tienen prohibida la descarga de residuos sólidos y sustancias al mar excepto material dragado, lodos de aguas residuales, residuos de pescado, material orgánico natural, material geológico inorgánico inerte (residuos mineros), residuos de embarcaciones y plataformas, corrientes de dióxido de carbono (de los procesos de captura de dióxido de carbono para su secuestro) y artículos voluminosos que contienen principalmente hierro, acero y hormigón (IMO, n.d.).

3. Operación barrido limpio

El programa operación de barrido limpio (Operation Clean Sweep en inglés) se creó en los 90s con la finalidad de ayudar a la industria del plástico a poner en práctica la adecuada contención de pellets, escamas y polvo, para así evitar su fuga hacia el ambiente. Este programa es voluntario y es administrado en conjunto por la Asociación Nacional de Industrias del Plástico (PLASTICS) y el Consejo Norteamericano de Química (ACC), ambos establecidos en Estados Unidos (PLASTICS & ACC, 2017). Hasta la fecha, el programa lo han firmado 54 organizaciones de plásticos en 33 países (ACC, 2020).

4. Programa de mares regionales del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Este programa se lanzó en 1974 y tiene como objetivo evitar la degradación acelerada de los océanos y las zonas costeras del mundo mediante un enfoque de mares compartidos para lo cual se involucran a los países vecinos en acciones integrales y específicas para proteger el ambiente marino. Actualmente cerca de 143 países se han adherido a 18 convenios y planes de acción sobre mares regionales para la gestión y el uso sostenibles del medio marino y costero, sólo 8 los administra el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Todos los convenios y planes de acción individuales tienen un enfoque similar, sin embargo, cada uno ha sido diseñado por sus propios gobiernos e instituciones para adaptarse a sus desafíos ambientales particulares (UNEP, 2020c).

Dentro de los 18 planes de acción se encuentra el Plan de Acción Regional para la Gestión de los Residuos Marinos para la Región del Gran Caribe (RAPMaLi por sus siglas en inglés), éste se estableció en 2007 debido a la problemática mundial sobre la acumulación de residuos en el océano. La versión más actual es la del 2014, la cual fue firmada por 20 países entre los cuales se encuentra México (CEP & UNEP, 2014).

Este plan funciona de manera integral para ayudar a los pequeños estados insulares en desarrollo a gestionar de manera adecuada los residuos en todos los sectores. Los principales aspectos que contempla este documento son la legislación, las políticas y aplicación; marcos institucionales y participación de las partes interesadas; programas de monitoreo e investigación; educación y divulgación; y gestión de residuos sólidos (CEP & UNEP, 2014).

5. Tratado Internacional para Prevenir la Contaminación Plástica

Del 22 al 25 de febrero de 2021, en Nairobi, Kenia, y del 28 de febrero al 2 de marzo de 2022, en formato híbrido y virtual, respectivamente, se llevó a cabo la quinta sesión de la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA, por sus siglas en inglés). Como resultado de esta sesión se adoptó una resolución encaminada a elaborar un acuerdo

internacional jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, incluido el medio marino, hacia finales del 2024 (PNUMA, 2023a).

Derivado de lo anterior, hasta el momento ha habido tres rondas de negociaciones, a través del Comité Intergubernamental de Negociación (CIN), con el objetivo de desarrollar el documento del instrumento internacional. La tercera sesión, llevada a cabo del 13 al 19 de noviembre en la sede del PNUMA en Nairobi, Kenia, se centró en discutir el borrador cero del instrumento el cual consta de seis apartados y siete posibles anexos (PNUMA, 2023b).

Regulación a nivel Nacional

1. Política Nacional de Mares y Costas de México

La Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas (CIMARES) es una instancia de carácter permanente que se creó por acuerdo presidencial el 13 de junio de 2008 (CIMARES, 2012). Su objetivo es coordinar las acciones de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, relativas a la formulación e instrumentación de las políticas nacionales para la planeación, ordenación y desarrollo sustentable de los mares y las costas del territorio nacional (CIMARES, 2020).

CIMARES está integrada por las Secretarías de Marina; Gobernación; Relaciones Exteriores; Medio Ambiente y Recursos Naturales; Energía; Economía; Agricultura y Desarrollo Rural; Comunicaciones y Transportes; Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano; y Turismo (CIMARES, 2020). Los miembros de esta comisión elaboraron la Política Nacional de Mares y Costas de México (PNMC), su contenido se aprobó en 2011, posteriormente en 2012 se aprobó su publicación en los medios de difusión (CIMARES, 2012) y finalmente el 30 de noviembre de 2018 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el acuerdo por el cual se expide (DOF, 2018).

El objetivo general 1 de la PNMC plantea como estrategia fomentar y apoyar que la mayoría de los municipios costeros con grados de marginación "alto" y "muy alto", operen plantas

para el tratamiento de aguas residuales y de sitios de disposición final de residuos (DOF, 2018).

2. Programa Playas Limpias y Ambientes Seguros (PROPLAYAS)

Con la finalidad de disminuir las presiones antropogénicas en los litorales mexicanos y alcanzar un desarrollo sostenible en los mismos, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) propuso a la Oficina de la Presidencia en Políticas Públicas la creación de PROPLAYAS; fue así como este programa dio inicio el 30 de abril de 2003 (CONAGUA, 2018). El objetivo de PROPLAYAS es proteger la salud de los usuarios, mejorar la calidad ambiental de las playas y elevar los niveles de competitividad de los destinos turísticos a través de acciones coordinadas por los tres órdenes de gobierno y los sectores privado, social y académico (Arreguín-Cortés & Mejía-Maravilla, 2010).

Las actividades de PROPLAYAS se distribuyen en seis líneas estratégicas: organización, normatividad, monitoreo, saneamiento, investigación, concurrencia de recursos. Con relación a la organización, ésta existe tanto a nivel institucional como local. En el primero el encargado es el Consejo Nacional de Playas Limpias (auxiliado por el Comité Interinstitucional de Playas Limpias) el cual ha asignado tareas específicas a las diferentes dependencias: SEMARNAT - normatividad y certificación de playas; SEMAR - vigilancia, monitoreo de residuos y educación ambiental; SALUD - lineamientos y monitoreo de calidad del agua en playas; SECTUR - imagen urbana y promoción de los destinos turísticos y CONAGUA - organización, saneamiento, investigación y coordinación (CONAGUA, 2018).

Por su parte, a nivel local CONAGUA es quién promueve la instalación de comités locales en diversas playas del país para integrar a representantes de los gobiernos estatales y municipales, de los prestadores de servicios turísticos y de los usuarios de aguas nacionales y así consolidar el concepto de Playas Limpias (CONAGUA, 2018). El objetivo de los comités de playas limpias es promover y realizar los trabajos comprendidos en las seis líneas estratégicas del PROPLAYAS (Arreguín-Cortés & Mejía-Maravilla, 2010). Hasta la fecha se han establecido 40 comités en los 17 estados costeros (CONAGUA, 2018).

Como se mencionó anteriormente, una de las tareas de la SEMARNAT en PROPLAYAS es promover la certificación de las playas para lo cual se cuenta con la norma mexicana NMX-AA-120-SCFI-2016, de carácter voluntario, que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas de uso recreativo o prioritarias para la conservación. Dentro de los requisitos de certificación para ambas modalidades se encuentra el tema de residuos sólidos para el cual se especifica que el límite máximo permisible de RSU en la superficie de una playa es de máximo 5 unidades por cada transecto de 100 m, las cuales no deben rebasar los 5 kg de peso o 0.25 m³ de volumen (DOF, 2016).

La información más actual sobre el número de playas con certificado vigente es la de 2022 en la cual se señala que hasta el 31 de julio de ese año había 29 playas localizadas en 15 municipios de nueve estados mexicanos con frente litoral (Tablas 2.7 y 2.8). Los dos estados con más playas certificadas son Nayarit y Baja California Sur (CONAGUA, 2022).

Tabla 2.7. Playas mexicanas con certificado vigente hasta 2022. Elaborada a partir de datos de CONAGUA (2022)

ID	Playa	Municipio	Estado
1	Nuevo Vallarta Sur	Bahía de Banderas	Nayarit
2	Nuevo Vallarta Norte	Bahía de Banderas	Nayarit
3	Bucerías	Bahía de Banderas	Nayarit
4	Los Muertos	Bahía de Banderas	Nayarit
5	Nuevo Vallarta Norte II	Bahía de Banderas	Nayarit
6	Guayabitos	Compostela	Nayarit
7	Isla del Coral	Compostela	Nayarit
8	Chacala	Compostela	Nayarit
9	Platanitos	Compostela	Nayarit
10	Miramar	Cd. Madero	Tamaulipas
11	El Chileno	Los Cabos	Baja California Sur
12	Palmilla	Los Cabos	Baja California Sur
13	Santa María	Los Cabos	Baja California Sur
14	Las Viudas	Los Cabos	Baja California Sur
15	Acapulquito	Los Cabos	Baja California Sur

Tabla 2.8. Playas mexicanas con certificado vigente hasta 2022. Elaborada a partir de datos de CONAGUA (2022). Continuación de la Tabla 2.7

ID	Playa	Municipio	Estado
16	Hotel Grand Velas	Solidaridad	Quintana Roo
17	Aventuras del DIF	Tulum	Quintana Roo
18	Las Perlas	Benito Juárez	Quintana Roo
19	Delfines	Benito Juárez	Quintana Roo
20	Sandy Beach	Puerto Peñasco	Sonora
21	Holi	Puerto Vallarta	Jalisco
22	Santuario El Verde Camacho	Mazatlán	Sinaloa
23	Gaviotas	Mazatlán	Sinaloa
24	Ceuta	Elota	Sinaloa
25	Zicatela	Santa María Colotepec / Puerto Escondido	Oaxaca
26	Chahué	Huatulco	Oaxaca
27	El Órgano	Huatulco	Oaxaca
28	Bacocho	San Pedro Mixtepec	Oaxaca
29	Islas del Mar	Puerto Peñasco	Sonora

3. Programa Cero Pellets

En octubre de 2010 la Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C. (ANIPAC) firmó el convenio Marine Litter derivado del cual se adhirió al programa “Cero Pellets” que forma parte del programa internacional Operation Clean Sweep antes abordado. El objetivo de dicho programa es fomentar el manejo adecuado de los pellets en las empresas, de modo que todas las operaciones donde se empleen pellets de plástico tengan buenas prácticas de limpieza y contención de este material, a fin de llevar a cero la pérdida del mismo (ANIPAC, 2018).

El programa Cero pellets ha sido impulsado desde 2013 por ANIPAC, a través de la implementación de talleres para capacitar a los responsables de operaciones y logística en la industria del plástico. Desde ese entonces se han realizado 22 talleres en los que se ha capacitado a 136 empresas, las cuales cuentan con un manual de operación del programa

que permite aplicar acciones y medidas para alcanzar los objetivos que cada una de ellas ha establecido para prevenir la pérdida de pellets. De todas las empresas, 84 continúan adheridas al programa y 7 han obtenido el distintito azul (ANIPAC, 2020).

4. Plan Nacional de Acción sobre Residuos Marinos y Contaminación Plástica

El 27 de julio de 2022 se anunció que iniciarían los trabajos para conformar el Plan Nacional de Acción para Residuos Marinos y Contaminación Plástica (PLAN REMAR) cuyo objetivo es prevenir y mitigar los efectos ambientales de los residuos marinos, incluida la contaminación por plásticos (Plastics Technology México, 2022). Como base del PLAN REMAR se desarrolló un Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica (INFCP), con el objetivo de que las políticas públicas se sustenten en el conocimiento científico. Con el INFCP se estimó que el consumo per cápita de plásticos en México es de 66 kg/habitante/año, la generación de residuos plásticos es de 59 kg/habitante/año, la proporción de residuos mal manejados ronda entre 38 y 58 % y que hay de entre 7 y 15 % de fuga de residuos plásticos al ambiente (Vázquez-Morillas et al., 2023). Actualmente el PLAN REMAR no se ha culminado.

3 METODOLOGÍA



Microplásticos en ambientes marinos©

*El mar me hace sentir verdaderamente pequeña y pone mi vida entera en perspectiva. Me vuelve humilde. **Beyoncé Knowles***

En este apartado se presenta la metodología (Figura 3.1) que se siguió en la presente investigación, la cual se dividió en cinco etapas. En la primera, se seleccionó el ANP con base en diversos criterios; en la segunda, se llevó a cabo la identificación de los diferentes compartimentos ambientales y sus matrices. En la tercera etapa se realizaron los muestreos de microplásticos y residuos sólidos en las zonas previamente identificadas en el ANP. Posteriormente, se procesaron las muestras en el laboratorio para extraer los MP presentes y clasificarlos, al igual que los residuos sólidos. En la etapa cinco se realizó la identificación de las inconsistencias en la operatividad del programa de manejo. Finalmente, en la etapa seis se propuso una metodología para el estudio de microplásticos y residuos sólidos en ANPs marinas y/o costeras.



Figura 3.1. Etapas de la metodología de estudio

3.1 Selección del Área Natural Protegida

Como primer paso se revisaron el listado (CONANP, 2021) y el mapa (CONANP, 2019) de las ANP de carácter federal publicado por la CONANP, posteriormente se identificaron aquellas ANP que se localizaban en ecosistemas marinos y/o costeros (APMC), se seleccionó al menos una APMC por región marina y todas se representaron en un mapa.

Se investigaron aspectos relevantes de cada APMC (localización, superficie, seguridad pública, compartimentos ambientales y relevancia ambiental) para hacer una primera selección. En esas APMC seleccionadas se hizo un recorrido de campo para determinar la viabilidad de ser estudiadas y elegir finalmente una para realizar la investigación.

3.1.1 Selección del sitio de estudio

Una vez que se seleccionó el APMC se hizo una investigación detallada de la misma, para ello se tomó en cuenta la información recabada durante el recorrido de campo y lo publicado en documentos oficiales, tales como el decreto y el programa de manejo. A partir de esta información se seleccionó una zona del APMC para estudiar la presencia de microplásticos en diferentes compartimentos ambientales.

3.2 Identificación de compartimentos y matrices ambientales

La APMC y su sitio de estudio seleccionados, para el estudio de MP en diferentes compartimentos ambientales, fueron **Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan** e **Isla Lobos**, respectivamente. A partir del recorrido de campo realizado en la etapa anterior (apartado 3.1), la revisión del decreto (DOF, 2009a) y el programa de manejo (SEMARNAT & CONANP, 2014a) del ANP se registró información relevante del sitio de estudio para definir cinco zonas de muestreo (Figura 3.2).



Figura 3.2. Sitio de estudio y ubicación de las zonas a muestrear

En la Tabla 3.1 se presenta la información relevante sobre las cinco zonas seleccionadas para el estudio de MP y residuos sólidos. A partir de esto se determinó que los compartimentos ambientales ideales para el muestreo de microplásticos eran playa

(sedimentos), fauna y mar (agua y sedimento), mientras el análisis de residuos sólidos únicamente se realizó en la playa.

Tabla 3.1. Información relevante de las cinco zonas de muestreo

Zona	Nombre	Observaciones
1	Terraplén	Presencia de una cantidad considerable de residuos sólidos, en especial plásticos, traídos por las corrientes marinas. El acceso a esta zona es sólo a través de una embarcación y el acceso a visitantes es restringido
2	Alimentación de tortugas	Presencia de sargazo y MP, así como residuos plásticos traídos por las corrientes marinas. Esta zona además de ser un área de alimentación para las tortugas también sirve como refugio para juveniles
3	De uso público o turística	Presencia de sargazo, MP y algunos residuos plásticos, se permiten las actividades turísticas de bajo impacto, no cuenta con contenedores de RSU
4	Contigua a la de uso público	Presencia de sargazo, MP y algunos residuos plásticos, en esta zona es común la anidación de tortugas como Carey y lora
5	Contigua al helipuerto	Presencia de sargazo y MP, así como algunos residuos plásticos traídos por las corrientes marinas

3.3 Muestreos en campo

En esta sección se describen las metodologías empleadas para el muestreo de microplásticos y residuos sólidos en Isla Lobos.

3.3.1 Muestreo de microplásticos

Se recolectaron muestras de tres medios diferentes para estudiar la presencia de microplásticos, en el caso de la fauna marina ésta no se muestreó, sino que se compró directamente a los pescadores. Durante los muestreos en campo se tomaron medidas para evitar la contaminación cruzada, tales como corrida de blancos (membrana de nitrato de celulosa de apertura de poro de 0.45 µm y agua destilada), enjuague del muestreador entre la toma de cada muestra y uso de materiales y utensilios de vidrio o metal. En la Figura 3.3 se especifican los puntos muestreados en cada medio.

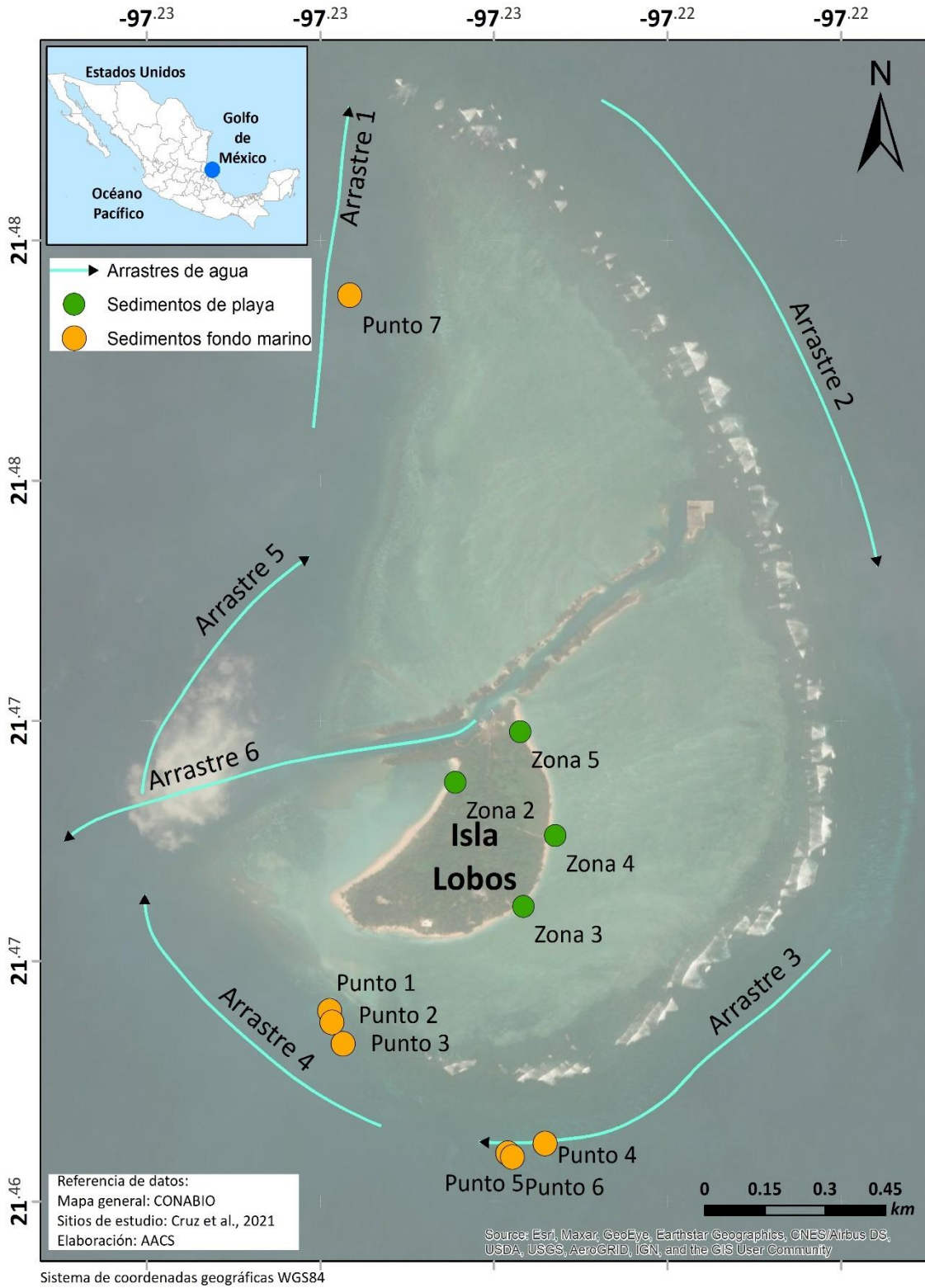


Figura 3.3. Localización de los puntos muestreados por entorno marino

- **Sedimentos de playa**

Las muestras de sedimentos se recolectaron en la línea pleamar (línea de marea más reciente) en las zonas 2 a 5. Se delimitó en cada zona un transecto de 100 m (Figura 3.4a), sobre la línea pleamar, con ayuda de una cuerda fijada en sus extremos y se registraron sus coordenadas. Se seleccionaron aleatoriamente 10 puntos de muestreo a lo largo del transecto y en cada uno de ellos se hundió un muestreador cilíndrico de acero inoxidable (20 cm de diámetro y 5 cm de altura) hasta que el borde superior coincidió con la superficie de la arena; se deslizó una lámina metálica en la parte inferior para extraer la muestra, la cual se depositó en una charola de aluminio (Figura 3.4b). Posteriormente se determinó la masa de cada muestra y se llevó a cabo la reducción de volumen in situ, con un juego de tamices de apertura de malla de 5.00 mm y 1.00 mm (Figura 3.4c). El material retenido en el tamiz de 1.00 mm se envolvió en papel aluminio, se etiquetó y se colocó en bolsa hermética (Figura 3.4d) para su traslado al laboratorio (Alvarez-Zeferino, et al., 2020).



Figura 3.4 Muestreo de microplásticos en sedimentos de playa: c) depósito de muestras en charolas y d) almacenamiento de la muestra

- **Agua superficial**

Las muestras se obtuvieron mediante el método de arrastre, se utilizó una red de nylon para plancton (LaMotte 1063) con una malla de apertura de 153 μm , con diámetros en las bases inferior y superior de 0.032 y 0.3 m, respectivamente, y 0.9 m de largo (Figura 3.5). La red se colocó a un costado de la embarcación sujeta con un cabo (cuerda) de 30 metros. En total se realizaron seis arrastres superficiales a una velocidad promedio de 3 nudos, por 15 minutos en cada arrastre (Ripken et al., 2021). Cinco de los arrastres se llevaron a cabo alrededor de la isla en la zona donde la profundidad era mayor a 1-2 m (aproximadamente a 620 m de la costa) con el objetivo de evitar algún daño posible en los pastos marinos o arrecifes de coral y el sexto arrastre se realizó a largo canal del embarcadero.



Figura 3.5. Red usada para la toma de muestras de agua superficial (Amazon, 2021)

La apertura de la red estuvo sumergida todo el tiempo (Figura 3.6a), una vez que terminó el arrastre se recogió (Figura 3.6b), se enjuagó de arriba hacia abajo y el material retenido se colectó en tubos removibles de 50 ml localizados en la parte inferior de la red. Posteriormente, el material retenido se depositó en un tamiz de acero inoxidable con apertura de malla de 0.12 mm (Figura 3.6c) para reducir volumen (Ripken et al., 2021). Lo retenido en el tamiz se depositó en papel aluminio (Figura 3.6d) y se almacenó para su análisis en laboratorio (Alvarez-Zeferino et al., 2020). Para cada arrastre se registraron las coordenadas, así como la hora de inicio y término.

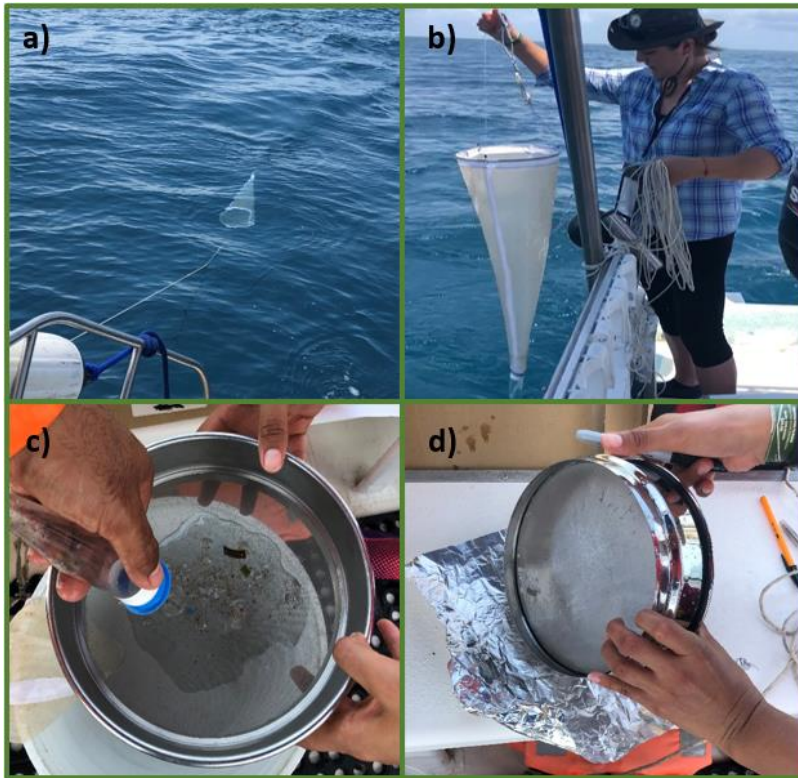


Figura 3.6 Procedimiento de toma de muestra de agua: a) arrastre de la red, b) extracción de la red, c) tamizado de la muestra y d) almacenamiento de muestra

- **Sedimentos del fondo marino**

Se recolectaron siete muestras superficiales de sedimentos marinos, aproximadamente a 620 m de la costa, con un muestreador Van Veen (Figura 3.7).



Figura 3.7. Muestreador Van Veen empleado para la toma de muestras de sedimentos del fondo marino

Las mandíbulas del muestreador se abrieron y quedaron soportadas por un gancho sujeto en su parte superior a una cuerda de 20 m de largo. Posteriormente, el muestreador se bajó lentamente en el agua (Figura 3.8a) hasta que tocó el fondo, una vez ahí se tiró de la cuerda y se soltó el gancho, las mandíbulas se cerraron y la muestra quedó retenida (Eijkelkamp Soil & Water, 2001). Una vez que la muestra se recolectó (Figura 3.8b) se pasó a través de un tamiz con apertura de malla de 0.12 mm (Figura 3.8c) para hacer una reducción de volumen. Lo retenido en la malla se colocó en papel aluminio, se almacenó en bolsas de cierre hermético, se etiquetó y se transportó al laboratorio para su procesamiento (Alvarez-Zeferino et al., 2020). En cada toma de muestra se registraron las coordenadas.



Figura 3.8. Toma de muestras de sedimentos del fondo marino: a) introducción del muestreador Van Veen, b) recolección de la muestra y c) tamizado de la muestra

- **Fauna marina**

Se adquirieron en total ocho especies de pescados comerciales, de las cuales una se repitió en dos sitios. Cuatro especies se adquirieron en una pescadería localizada en Tamiahua (Figura 3.9a,b) los cuales provenían de la laguna costera del mismo nombre (Figura 3.9c,d), tres especies con pescadores autorizados por la CONANP, que los obtuvieron de las aguas donde terminan los arrecifes de isla Lobos, y dos especies que provenían de la isla Los Pájaros, perteneciente a la Laguna de Tamiahua (Figura 3.9e,f).



Figura 3.9. Fotografías de los sitios donde se adquirieron los pescados: a) y b) pescadería de Tamiahua, c) y d) Laguna de Tamiahua y e) y f) Isla Los Pájaros

Las especies de la pescadería correspondieron a *Centropomus robalito* (Chocomite o Robalo Aleta Amarilla), *Archosargus probatocephalus* (Sargo), *Caranx hippos* (Jurel común o furel) y *Lutjanus griseus* (Pargo mulato). Las especies de la zona aledaña a los arrecifes fueron

Conodon nobilis (Ronco amarillo), *Lutjanus synagris* (Rojo Villajaiba) y *Haemulon parra* (Boquilla) y las especies de la Isla Los Pájaros estuvieron constituidas por *Archosargus probatocephalus* (Sargo) y *Diapterus sp.* (Mojarra) (Figura 3.10). Se adquirieron cinco organismos por especie y todos se almacenaron en una hielera y se trasportaron al laboratorio para el análisis correspondiente.



Figura 3.10. Pescados comerciales: a) Chocomite, b) Sargo, c) Jurel o furel, d) Pargo, e) Ronco, f) Rojo villajaiba, g) Boquilla y h) Mojarra

3.3.2 Muestreos de residuos sólidos

Los muestreos de residuos sólidos se realizaron en cuatro zonas de playa y en una zona del terraplén. En la Figura 3.11 se muestra el mapa donde se localizan las cinco zonas de muestreo.



Figura 3.11. Muestreo de residuos: a) división de secciones y b) delimitación del ancho

En cada una de las zonas se delimitó un transecto de 100 m de largo (Figura 3.12a), éste se dividió en 20 secciones, de cinco metros cada una, de las cuales se eligieron aleatoriamente cinco; en ellos se recolectaron todos los residuos presentes desde la línea de agua hasta llegar a una infraestructura fija, dunas o vegetación (Cruz-Salas, 2020) cuyo ancho se delimitó con ayuda de cuerdas (Figura 3.12b). Todos los residuos se almacenaron en bolsas grandes y posteriormente se trasladaron al laboratorio para clasificarlos.

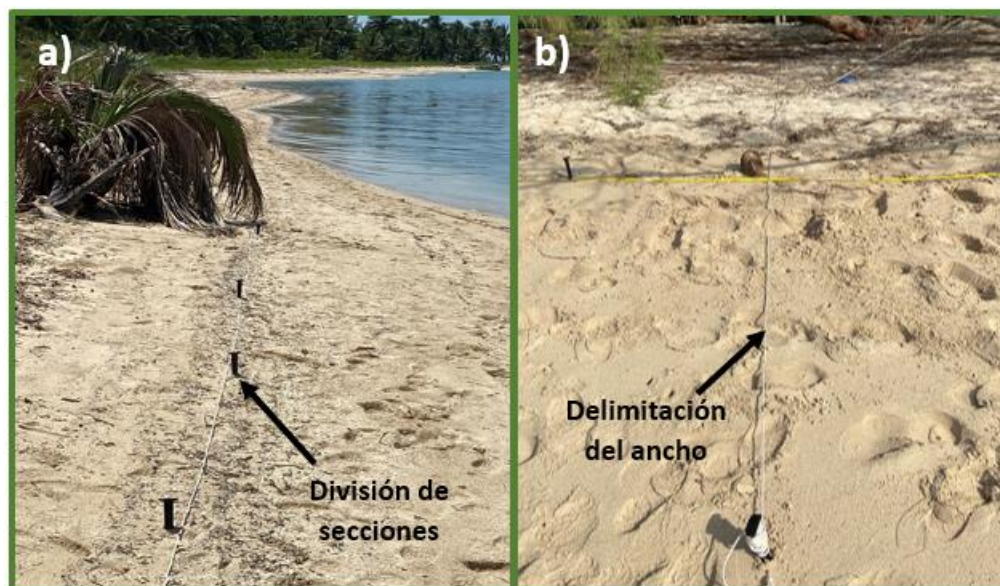


Figura 3.12. Muestreo de residuos: a) división de secciones y b) delimitación del ancho

3.4 Procesamiento de muestras en laboratorio

En este apartado se explican los procedimientos que se aplicaron para extraer, cuantificar y clasificar los microplásticos y residuos sólidos de las diferentes muestras tomadas en Isla Lobos.

3.4.1 Medidas para evitar la contaminación cruzada en el tratamiento de muestras de microplásticos

En los estudios de MP uno de los grandes retos es garantizar que los resultados sean confiables para que puedan tomarse en cuenta en el establecimiento de ciertas medidas de prevención y mitigación de la contaminación. En este trabajo, con el objetivo de evitar contaminación cruzada (por deposición de MP presentes en polvo o en el aire) en las

muestras de microplásticos y por ende una sobreestimación de los resultados, se tomaron las siguientes medidas durante el procesamiento, con base en lo realizado por Athapaththu et al. (2020) y Perez-Venegas et al. (2020):

- Uso de materiales y utensilios de vidrio y metal
- Lavado y enjuague del material antes de su uso
- Secado del material en una estufa a 200 °C por 3 h
- Cobertura del material con papel aluminio hasta antes y durante su uso
- Cobertura de las muestras con papel aluminio
- Procesamiento de las muestras en un cuarto cerrado, bajo una campana de flujo laminar
- Corrida de un blanco, por entorno, durante todo el procesamiento de las muestras
- Limpieza del área de trabajo con franelas de algodón
- Uso de bata de algodón

3.4.2 Pruebas preliminares para eliminación de falsos positivos en muestras de microplásticos

Con el objetivo de seleccionar reactivos adecuados que no dañaran a los microplásticos y que a la vez digirieran lo mejor posible el material orgánico, el material calcáreo y los tejidos blandos, se hicieron pruebas preliminares. Las pruebas incluyeron el uso de MP vírgenes (obtenidos de plásticos más grandes), sargazo, conchas, órganos interiores de pescados y diferentes reactivos. A continuación, se describen cada una de estas pruebas.

- **Microplásticos vírgenes y reactivos**

Para el procesamiento de las muestras se tomó como base la revisión bibliográfica realizada por Cruz-Salas et al. (2022) sobre estudios de microplásticos en los cuáles identificaron y analizaron los métodos empleados tanto para la toma de muestras como para el procesamiento de las mismas. En el procesamiento de las muestras encontraron que los reactivos más empleados para la digestión de materia orgánica en muestras de agua o sedimentos de playa y fondo marino y la digestión de tejidos blandos de fauna son H₂O₂

(generalmente al 30 %), KOH (comúnmente al 10 %) y HNO₃. A partir de esto se decidió trabajar con H₂O₂ al 30 %, KOH al 10 % y HNO₃ al 10 %, 60 % y 69 %.

Para el caso de los microplásticos vírgenes se trabajó con PEAD, PEBD, PP, PVC, EPS, PET y fibras. El PEBD y el PP se obtuvieron de bolsas rectas de plástico, los MP de PVC se obtuvieron a partir de película transparente, los MP de EPS correspondieron a esferas que se adquirieron en una papelería, los MP de PET y PEAD se cortaron de botellas de plástico y las fibras se obtuvieron de colillas de cigarro (Figura 3.13a). Las pruebas se realizaron en vasos de precipitados, en los que se adicionaron 40 ml del reactivo correspondiente y tres piezas de cada tipo de MP (Figura 3.13b).

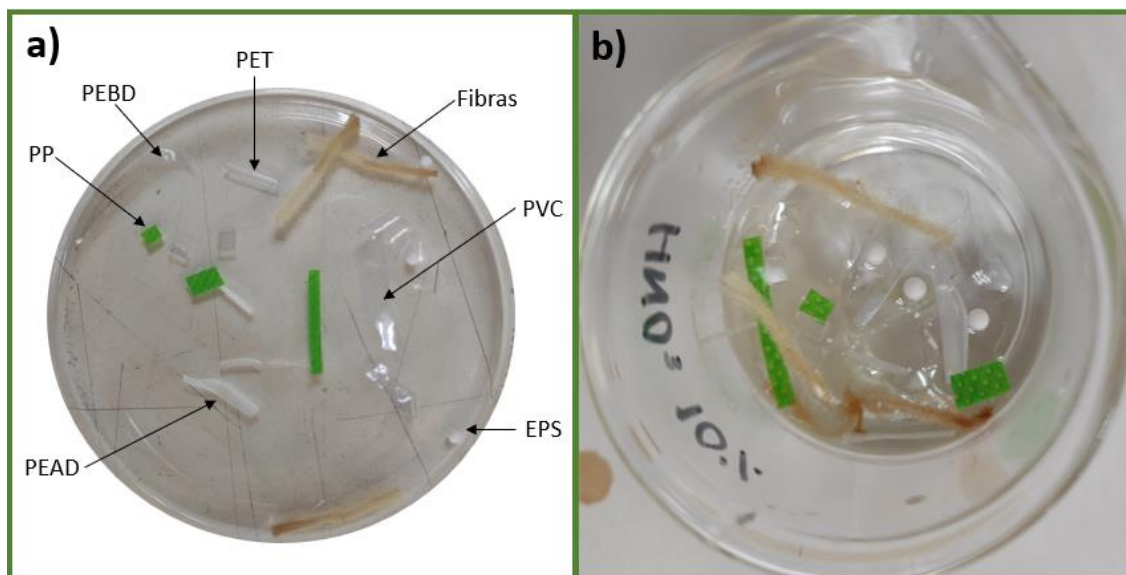


Figura 3.13. Pruebas preliminares de MP y reactivos: a) MP vírgenes y b) ejemplo de vaso de precipitados con reactivo y MP

Se observaron los cambios producidos en los MP a los 5 minutos y pasadas las 24 h (Tabla 3.2) y con base en ello se encontró que los reactivos H₂O₂ al 30 % y HNO₃ al 10 % no causaban daños en los MP estudiados, mientras que el KOH al 10 % únicamente afectó a las fibras al fragmentarlas. Por lo tanto, se decidió utilizar estos tres reactivos para las pruebas de digestión de los diferentes materiales.

Tabla 3.2. Observaciones de las pruebas de MP con reactivos

Reactivo Tiempo	H ₂ O ₂ 30 %	KOH 10 %	HNO ₃ 10 %	HNO ₃ 60 %	HNO ₃ 69 %
5 minutos	No hubo cambios	No hubo cambios	No hubo cambios	Las fibras comenzaron a disolverse	Las fibras comenzaron a disolverse
24 h	Hubo decoloración de las fibras	Hubo decoloración y fragmentación de las fibras al manipularlas con las pinzas	Hubo decoloración de las fibras	Las fibras se disolvieron completamente	Las fibras se disolvieron completamente

- **Digestión de materia orgánica y material calcáreo con microplásticos vírgenes**

A partir de lo anterior se seleccionaron los reactivos H₂O₂ al 30 %, KOH al 10 % y HNO₃ al 10 % para las pruebas preliminares de digestión de materia orgánica y material calcáreo. El proceso que se siguió fue adaptado de Frias et al. (2020) y Wang et al. (2020). Las pruebas se realizaron en tres vasos de vidrio, en cada vaso se agregó sargazo, conchas y restos de coral en una relación másica 1:1:1. Posteriormente se adicionaron 21 MP en total (tres de cada tipo como en el caso anterior) y la solución de digestión, hasta que ésta cubrió la muestra por completo. Cada vaso se tapó con papel aluminio.

Las muestras se sometieron a agitación máxima y calentamiento a 60 °C, en una parrilla, por 1 h y después se incubaron a 60 °C por 24 h. Esta parte de la agitación, calentamiento e incubación se repitió dos veces más, hasta que la mayoría del contenido a tratar se disolvió. A cada muestra se les agregó una solución salina de CaCl₂ ($\rho=1.6 \text{ g/cm}^3$), en un volumen de dos veces el volumen de la muestra digerida, se agitó por 5 minutos y se dejó reposar por 24 h; el sobrenadante se filtró al vacío en con membranas de celulosa de un tamaño de poro de 8 μm y finalmente se contaron los MP extraídos. Las observaciones del proceso, así como la proporción de MP extraídos se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Observaciones de las digestiones de materia orgánica y material calcáreo

Reactivo / Etapas	H ₂ O ₂ 30%	KOH 10%	HNO ₃ 10%
1er ciclo de digestión	- El sargazo cambió de color	- El coral se fragmentó	- Las conchas comenzaron a disolverse - El sargazo y coral cambiaron de color
2do ciclo de digestión	- El sargazo empezó a disolverse - El coral y las conchas comenzaron a fragmentarse	- Había restos de coral, conchas y sargazo en menor proporción que en el primer ciclo	- El sargazo continuó disolviéndose
3er ciclo de digestión	- Aún había restos de sargazo - El coral y las conchas se encontraban un poco más fragmentados	- Ya no había restos de sargazo - Había pocos restos de coral y conchas	- Se disolvió todo el sargazo, coral y conchas
% de recuperación de MP	85.71 %	85.71 %	80.95 %

Con estas pruebas se observó que, aunque el H₂O₂ 30 % tuvo una elevada tasa de recuperación de MP, también fue el que tuvo menos éxito en la digestión de la materia orgánica. La presencia de la materia orgánica no impidió la identificación visual de los MP debido a que estos eran grandes de aproximadamente 5 mm, sin embargo, si se considera un problema al tener MP de menor tamaño. Por lo tanto, se decidió emplear los otros dos métodos, KOH 10 % para cuando se tengan restos vegetales y poco material calcáreo y el HNO₃ 10 % cuando la muestra contenga presencia significativa de ambos materiales.

- **Digestión de órganos de peces con microplásticos vírgenes**

A partir de lo obtenido en la prueba preliminar de *microplásticos vírgenes* y *reactivos* se eligieron como reactivos al H₂O₂ 30 %, KOH 10 % y HNO₃ 10 % los cuales se probaron para digerir los órganos interiores y branquias del pez Boquilla (*Haemulon parra*), una especie de consumo humano que se adquirió en una pescadería de Tuxpan, Veracruz. Para las pruebas también se utilizaron los microplásticos vírgenes que se emplearon en los casos anteriores.

La digestión se complementó con otras etapas para procurar que se extrajeran los MP presentes en las muestras, dichas etapas se establecieron con base en la revisión

bibliográfica de seis investigaciones científicas sobre la presencia de microplásticos en fauna marina. La información relevante de dichos trabajos se extrajo y se organizó en una tabla (Tabla 3.4) la cual permitió identificar las etapas, así como las condiciones experimentales de las mismas.

Tabla 3.4. Investigaciones sobre la presencia de microplásticos en fauna marina

Tipo de fauna marina y órganos	Reactivo para digestión	Condiciones experimentales de digestión	Etapas adicionales y condiciones experimentales	Referencia
Mejillones: músculo, riñón, hepatopáncreas, intestino, gónada, ano, hemolinfa, manto y branquias	H ₂ O ₂ 30 %	60 °C por 24 h	Flotación: ZnCl (1.5 g/ml), agitación 3 veces por 6 - 8 h/ vez Filtración: al vacío	(Sui et al., 2020)
Cangrejos y peces: branquias y tractos gastrointestinales completos	200 ml H ₂ O ₂ 30 %	Más de 72 h	Filtración: al vacío	(Zhang et al., 2020)
Peces y camarones: intestino, estómago y músculo Cangrejos: branquias, intestinos y estómago	180 m KOH 10 % + 20 ml H ₂ O ₂ 30 %	60 °C por al menos 24 h, con agitación cada 6 h	Filtración: al vacío	(Wang et al., 2020a)
Peces: tracto gastrointestinal y branquias	10 ml HNO ₃ 68 %	Durante toda la noche, seguido de 2h a 80 °C	Dilución: 1:10 con agua desionizada caliente (60 °C) y filtrada Filtración: al vacío	(Mak et al., 2020)
Caracoles marinos: individuo completo	KOH 10 %	No especificado	Filtración: al vacío	(Li et al., 2020a)
Peces: branquias, estómago, intestino e hígado	200 ml KOH 10 %	60 °C por al menos 24 h	Flotación: 500 ml de NaCl (1.2 g/ml), con reposo durante toda la noche Filtración: al vacío	(Huang et al., 2020)

Con base en lo anterior se corrieron los siguientes tratamientos:

1. Tratamiento 1. Digestión con H₂O₂ 30 % más pruebas de flotación con CaCl₂ ($\rho=1.6$ g/cm³) y filtración al vacío
2. Tratamiento 2. Digestión con KOH 10 % más pruebas de flotación con CaCl₂ ($\rho=1.6$ g/cm³) y filtración al vacío

3. Tratamiento 3. Digestión con HNO₃ 10 % más pruebas de flotación con CaCl₂ ($\rho=1.6$ g/cm³) y filtración al vacío

4. Tratamiento 4. Digestión con KOH 10 % más dilución y filtración al vacío

En todos los casos, los órganos se transfirieron a un vaso de precipitados de vidrio, se les agregó 21 MP, tres de cada tipo, y el reactivo correspondiente en un volumen de 50 ml, hasta que la muestra quedara sumergida. Las condiciones de digestión fueron las mismas para todos los tratamientos: agitación a 250 rpm y calentamiento a 45 ± 2 °C por 1 h, seguido de incubación a la misma temperatura por 24 h. Tanto la agitación con calentamiento como la incubación se repitió tantas veces como fue necesario, hasta que la mayoría de los órganos se encontraban digeridos.

Para las pruebas de flotación, se agregó solución de CaCl₂ a la muestra digerida en un volumen de dos veces el volumen de la digestión, las condiciones para esta etapa fueron agitación a 250 rpm por 5 minutos y reposo por 24 h. En el tratamiento 4 la dilución se realizó agregando agua desionizada caliente en un volumen de dos veces el volumen de la digestión. Respecto a la filtración, ésta se hizo al vacío empleando membranas de celulosa con diferente apertura de poro (0.45 y 8 μ m). La tasa de recuperación de MP se calculó conforme a la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de recuperación de MP (\%)} = \left(\frac{\text{\# de MP recuperados}}{\text{\# total de MP añadidos a la prueba}} \right) * 100 \%$$

Los principales hallazgos de esta prueba, así como las tasas de recuperación de MP se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Principales hallazgos de los tratamientos estudiados para la extracción de microplásticos presentes en peces

Tipo de tratamiento	Principales hallazgos	Conclusión
1) Digestión con H ₂ O ₂ 30 % más flotación con CaCl ₂ (ρ=1.6 g/cm ³) y filtración al vacío	<ul style="list-style-type: none"> - Durante la digestión se formó una cantidad considerable de espuma la cual ocasionó que la muestra casi se desbordara - Gran parte de los órganos se digirió, sólo quedaron pocos restos óseos de las branquias - Al agregar la solución de CaCl₂, para la prueba de flotación, se originó una emulsión por lo que fue imposible realizar la filtración al vacío - Algunos microplásticos quedaron atrapados en la espuma, el resto no eran visibles - No se calculó la tasa de recuperación de microplásticos 	El tratamiento no es apto para la digestión de órganos ni para la prueba de flotación
2) Digestión con KOH 10 % más flotación con CaCl ₂ (ρ=1.6 g/cm ³) y filtración al vacío	<ul style="list-style-type: none"> - Ambos tipos de órganos se digirieron completamente - Al agregar la solución de CaCl₂, para la prueba de flotación, se creó una emulsión la cual impidió filtrar la muestra al vacío - Algunos microplásticos quedaron atrapados en la espuma, el resto no eran visibles - No se calculó la tasa de recuperación de microplásticos 	El tratamiento no es apropiado para la prueba de flotación
3) Digestión con HNO ₃ 10 % más flotación con CaCl ₂ (ρ=1.6 g/cm ³) y filtración al vacío	<ul style="list-style-type: none"> - Ambos tipos de órganos digirieron completamente, pero en la superficie se formó una capa de grasa - Al agregar la solución de CaCl₂, no hubo formación de dos capas que permitieran diferenciar el sobrenadante para someterlo a filtración al vacío - Los microplásticos de la superficie estaban rodeados de grasa - La filtración de la muestra fue más fluida con la membrana de 8 μm de poro - La tasa de recuperación de microplásticos fue de 69 % 	El tratamiento no es adecuado para la extracción de MP
3) Digestión con KOH 10 % más dilución y filtración al vacío	<ul style="list-style-type: none"> - Ambos tipos de órganos se digirieron completamente - La filtración de la muestra fue más fluida con la membrana de 8 μm de poro - La tasa de recuperación de microplásticos fue de 76 % 	El tratamiento es apto para la digestión de órganos y la extracción de MP

A partir de estas pruebas preliminares para la digestión de órganos interiores y branquias de peces se llegó a la conclusión de que el tratamiento cuatro fue el mejor debido a que

permitió una digestión completa de ambos tipos de órganos y la dilución con agua desionizada facilitó la filtración de las muestras. Además, presentó la mayor tasa de recuperación de microplásticos (76 %). No obstante, se recomienda que caso de analizar microplásticos pequeños, la solución se someta a tinción antes de filtrarla para tener una mejor identificación de los mismos al observar las membranas al microscopio, ya que los microplásticos se encontrarán teñidos.

En la Figura 3.14 se muestran fotografías de cada uno de los tratamientos que se corrieron.

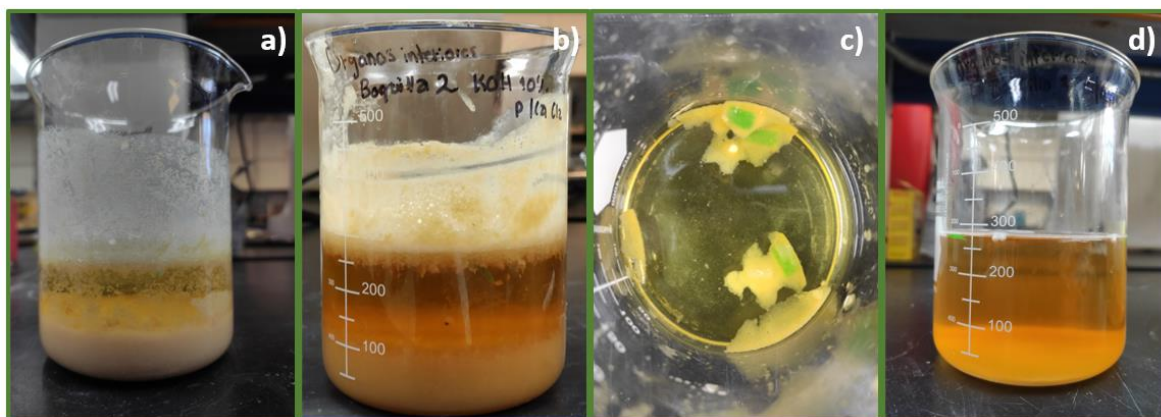


Figura 3.14. Fotografías de los tratamientos probados: a) tratamiento 1, b) tratamiento 2, c) tratamiento 3 d) tratamiento 4

3.4.3 Muestras de Isla Lobos para análisis de microplásticos

A continuación, se describen las metodologías que se siguieron para el procesamiento de las muestras de microplásticos. Para esta parte se tomó en cuenta lo llevado a cabo en las pruebas preliminares.

- **Agua superficial**

Las muestras obtenidas de la reducción de volumen en campo se trataron en el laboratorio a través de un proceso secuencial de digestiones con KOH 10 % (debido a la baja cantidad de materia orgánica y nula presencia de material calcáreo), tinción y filtración al vacío (Figura 3.15). Este proceso se adaptó de las pruebas preliminares de *digestión de materia orgánica* y *material calcáreo* basadas en Frias et al. (2020) y Wang et al. (2020). Para las digestiones, cada muestra se colocó en un vaso de vidrio y se le agregó KOH 10 % hasta dos veces su volumen con el objetivo de que quedaran sumergidas. Posteriormente se

cubrieron con papel aluminio, se sometieron a agitación máxima y calentamiento a 60 °C, en una parrilla, por 2 h y después se incubaron a 60 °C por 48 h. Para la tinción, a cada muestra se agregaron aproximadamente siete gotas de colorante rojo Nilo, con una concentración de 500 µg/ml, disuelto en acetona (Cole, 2016) y se dejaron reposar por 24 h.

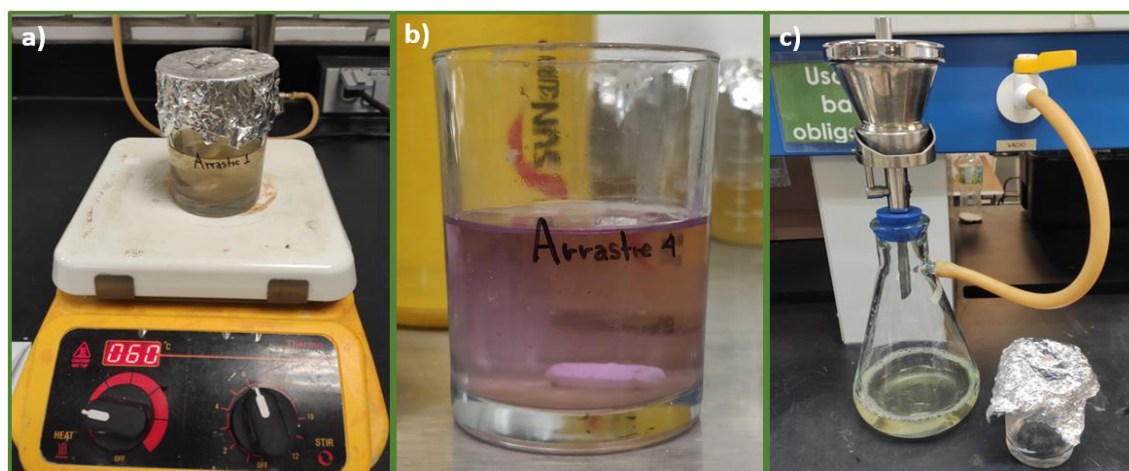


Figura 3.15. Procesamiento de muestras de agua superficial: a) digestión, b) tinción con rojo Nilo y c) filtración al vacío

Pasadas 24 h, cada muestra se filtró al vacío a través de un equipo millipore con membranas de ésteres mixtos de celulosa (EMC) con un diámetro de 47 mm y un tamaño de poro de 0.45 µm. Después de la filtración las membranas se colocaron en cajas Petri de vidrio, se secaron a temperatura y se observaron al microscopio óptico, con el objetivo 4X y una lámpara de luz UV adaptada al microscopio, para identificar los MP presentes, sus tipos y tamaño. En el caso de los MP grandes (1.00 - 5.00 mm) presentes en las muestras, estos se observaron bajo un microscopio digital para determinar su tamaño.

En la Figura 3.16 se presenta un diagrama de flujo con las etapas que se siguieron para el procesamiento de las muestras de agua superficial.

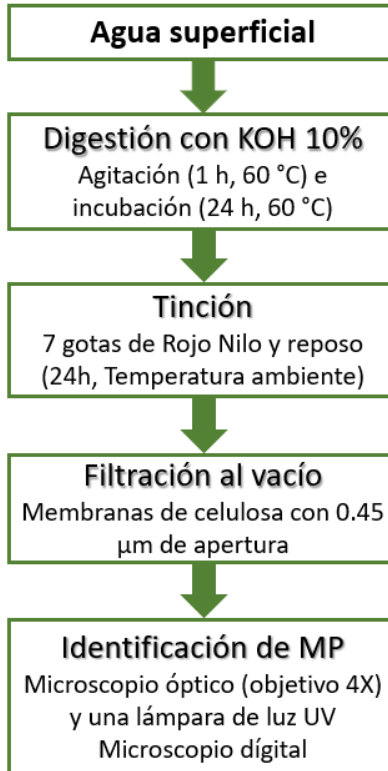


Figura 3.16. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de agua superficial

- **Sedimentos del fondo marino**

Debido a que las muestras no contenían materia orgánica y los sedimentos no eran de tipo calcáreo se empleó un proceso secuencial diferente que comprendió las etapas de secado, separación por densidad, tinción y filtración, lo cual fue adaptado de Godoy et al. (2020); Nel et al. (2020); Patchaiyappan et al. (2020). Para el secado, a cada muestra húmeda se le determinó su masa, posteriormente se colocó en una charola forrada de aluminio (Figura 3.17a) y se secó en una estufa a 60 °C por 48 h; pasado ese tiempo se volvió a pesar. La masa seca se sometió a extracción por flotación con una solución de CaCl_2 ($\rho=1.6 \text{ g/cm}^3$), se agitó por 7 minutos (Figura 3.17b) y se dejó reposar por 24 h; después de ese tiempo se extrajo el sobrenadante y se colocó en un vaso de precipitados de vidrio.

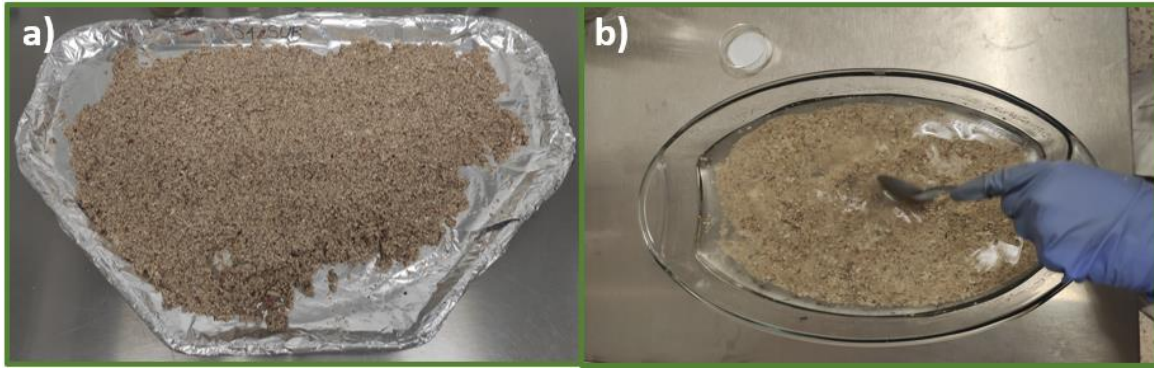


Figura 3.17. Procesamiento de muestras de sedimentos del fondo marino: a) determinación de masa y b) separación por densidad

El sobrenadante se tiñó con 7 gotas de colorante rojo Nilo, con una concentración de 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ (Cole, 2016) y se dejó reposar por 24 h, esa solución teñida se filtró al vacío con un equipo Millipore mediante el uso de membranas de ésteres mixtos de celulosa (EMC) con un diámetro de 47 mm y un tamaño de poro de 0.45 μm . Las membranas obtenidas de la filtración al vacío se colocaron en cajas Petri de vidrio, se secaron a temperatura ambiente y se observaron al microscopio óptico, con el objetivo 4X y una lámpara de luz UV adaptada al microscopio, para identificar los MP presentes, sus tipos y tamaño.

En la Figura 3.18 se muestra un diagrama de flujo con el proceso empleado para el procesamiento de las muestras de sedimentos del fondo marino.

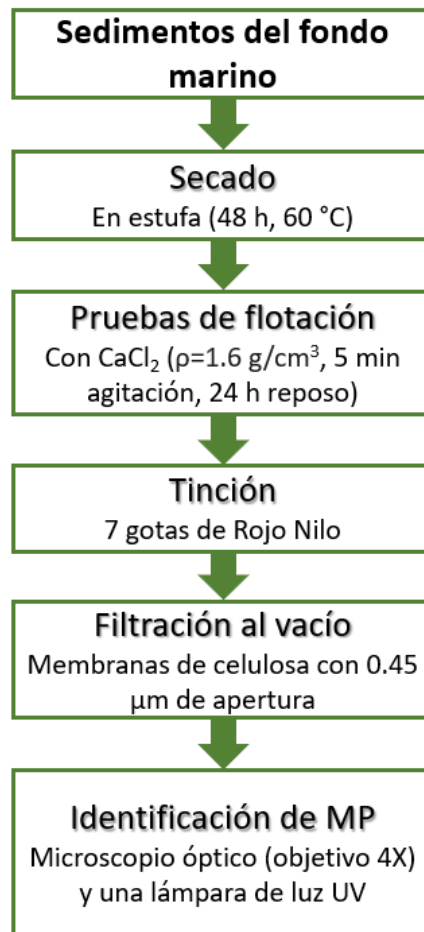


Figura 3.18. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de sedimentos del fondo marino

- **Sedimentos de playa**

Las muestras de sedimentos de playa, provenientes de la reducción de volumen, se procesaron mediante un tren de tratamiento que constó de cuatro etapas: secado, digestión, tinción y filtración al vacío, este proceso fue adaptado de lo realizado en las pruebas preliminares de *digestión de materia orgánica y material calcáreo* lo cual se complementó con lo propuesto por Nel et al. (2020). Para el secado, primero a todas las muestras de sedimentos se les determinó su masa húmeda, posteriormente se sometieron a secado en una estufa a 60 °C por 48 h y después de ese tiempo se volvieron a pesar para tener su masa en base seca.

Como segundo paso, se llevó a cabo la digestión de la muestra la cual estaba constituida principalmente por sedimentos de tipo calcáreo, para ello los sedimentos se transfirieron a

vasos de precipitados de vidrio y se les agregó HNO_3 al 10 % hasta dos veces su volumen (Figura 3.19a) con el objetivo de que toda la muestra quedara sumergida. Los vasos se cubrieron con papel aluminio (Figura 3.19b) y se incubaron a $60\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h, pasado este tiempo las muestras se revisaron para evaluar el grado de digestión del material calcáreo, en las muestras en las que aún no se había digerido todo el material calcáreo se les volvió a agregar entre 15 y 20 ml de HNO_3 al 10 % y se incubaron a $60\text{ }^\circ\text{C}$ por 24 h. Este paso de la incubación y adición del reactivo se repitió tantas veces como fue necesario, hasta que el material calcáreo se disolvió por completo.

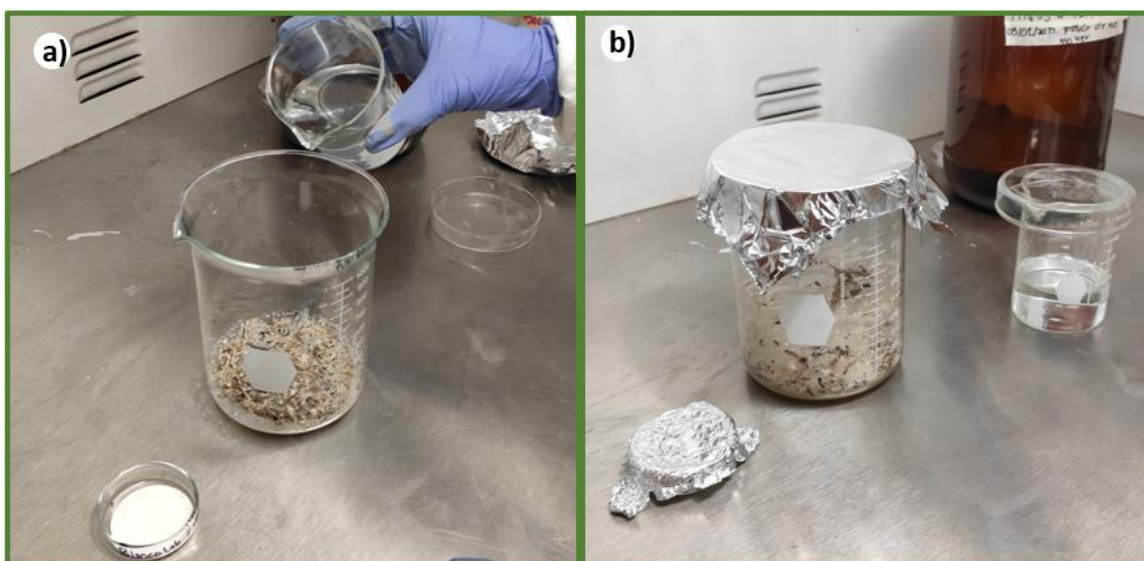


Figura 3.19. Procesamiento de sedimentos de playa: a) adición de HNO_3 y b) cobertura de la muestra, blanco y el reactivo

Una vez que el material calcáreo se disolvió por completo se llevó a cabo la tinción, a la muestra digerida se le agregaron siete gotas de colorante rojo Nilo, con una concentración de $500\text{ }\mu\text{g/ml}$ (Cole, 2016) y se dejó reposar por 24 h. Posteriormente la solución teñida se filtró al vacío, con equipo millipore, con membranas de ésteres mixtos de celulosa (EMC) de un diámetro de 47 mm y un tamaño de poro de $0.45\text{ }\mu\text{m}$. Después de la filtración, las membranas se colocaron en cajas Petri de vidrio, se secaron a temperatura ambiente y se

observaron al microscopio óptico, con el objetivo 4X y una lámpara de luz UV, para identificar los MP presentes, sus tipos y tamaños. La Figura 3.20 presenta un diagrama de flujo con el resumen de la metodología empleada para el procesamiento de las muestras de sedimentos de playa.



Figura 3.20. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de sedimentos de playa

- **Fauna marina: peces de consumo**

En todas las especies se aplicó un procedimiento secuencial de seis etapas: 1) determinación de masa y medidas básicas, 2) extracción de órganos internos y branquias y determinación de su masa, 3) digestión de las muestras, 4) tinción, 5) filtración al vacío y 6) observación al microscopio. La metodología empleada se adaptó de lo obtenido en las

pruebas preliminares de *digestión de órganos interiores de peces con microplásticos vírgenes*.

En primer lugar, a todos los peces se les determinó su masa total, así como su largo y ancho. Posteriormente, se procedió a hacer la extracción de sus órganos interiores y branquias, para ello se retiraron las escamas con ayuda de un descamador a lo largo del abdomen, y seguido de esto se hizo una incisión al abdomen para extraer los órganos (estómago, hígado, riñón, intestino, gónada y huevera). Para las branquias, se abrió la una parte del opérculo y se extrajeron. Ambas muestras se colocaron, por separado, en vasos de precipitado de vidrio y se determinó su masa.

Como tercer paso, se realizó la digestión de las muestras, a cada vaso de precipitado con la muestra se le agregó KOH al 10 % hasta dos veces su volumen original para que toda la muestra quedara sumergida. Los vasos se cubrieron con papel aluminio y se sometieron a calentamiento a 60 °C con agitación a 500 rpm por 1 h y después se incubaron a 60 °C por 24 h. Tanto el calentamiento y agitación como la incubación se repitieron varias veces hasta que la mayoría de los órganos se disolvió. En la Figura 3.21 se presentan algunas fotografías de los pasos mencionados.

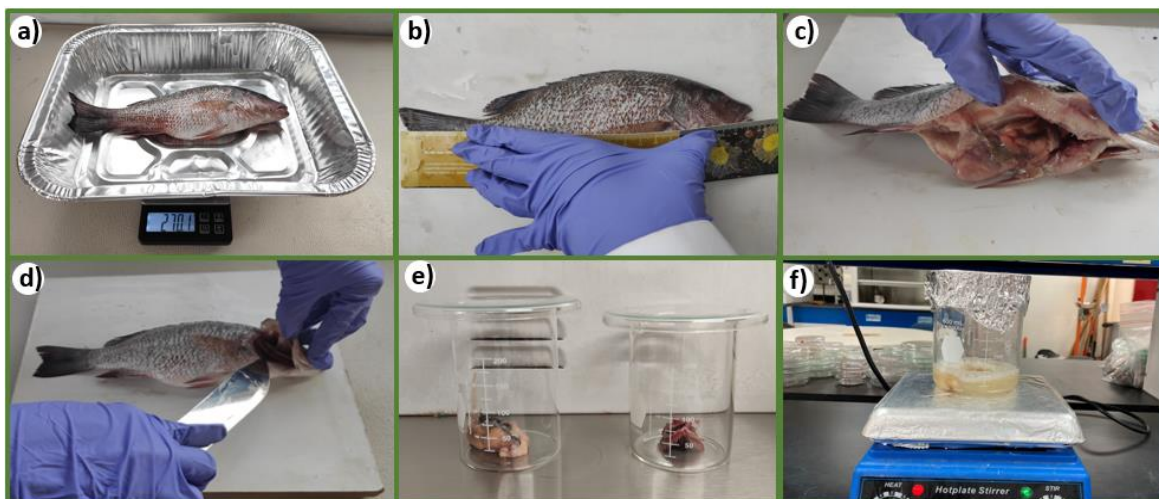


Figura 3.21. Fotografías de la metodología: a) determinación de masa del pez, b) determinación del ancho, c) extracción de órganos interiores, d) extracción de branquias, e) almacenamiento de las muestras y f) digestión de las muestras

Una vez que las muestras se encontraban disueltas se les añadió agua desionizada tibia, el doble del volumen de KOH 10 % previamente agregado, para diluir la solución y así retardar la saturación del filtro. Posteriormente se realizó la tinción, a cada muestra se agregaron 4 gotas de colorante Rojo Nilo con una concentración de 500 µg/ml (Cole, 2016), se dejaron reposar por 24 h y se filtraron al vacío con membranas de celulosa ($\varnothing= 47$ mm y apertura de poro de 8 µm). Las membranas se guardaron en cajas Petri, se secaron a temperatura ambiente y finalmente se observaron al microscopio óptico con el objetivo 4X y una lámpara de luz UV, para contabilizar los MP presentes y determinar sus tipos y tamaños. En la Figura 3.22 se presenta un resumen del proceso implementado.

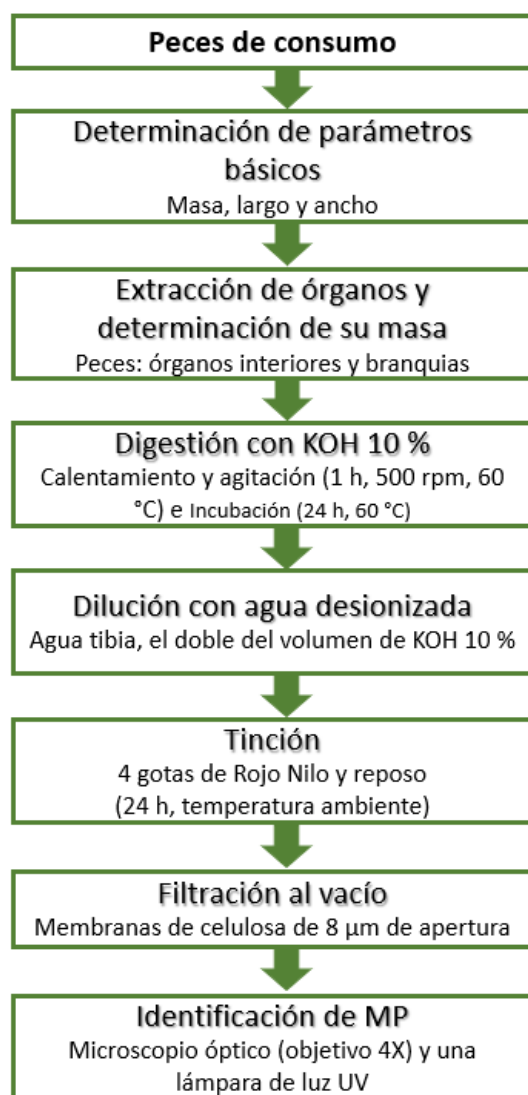


Figura 3.22. Diagrama de flujo del procesamiento de muestras de órganos de peces de consumo

3.4.4 Muestras de Isla Lobos para análisis de residuos sólidos

Los residuos recolectados en campo se contaron y se pesaron, posteriormente se clasificaron en categorías de macrorresiduos (MR) y fragmentos (FRAG) como lo sugieren Cruz-Salas (2020) y Cruz-Salas et al. (2022). En los MR se contemplaron las piezas que podían identificarse fácilmente como un tipo específico de residuo (por ejemplo, botellas de plástico o de vidrio, envolturas de dulces, tapas de botellas de plástico, entre otros), mientras que los FRAG se incluyeron a las piezas de tamaño superior a los MP (5 mm) en las que no se pudo identificar el residuo específico del cual procedían. Los tipos de residuos contemplados en las categorías MR y FRAG (por ejemplo, plásticos rígidos y semirrígidos, plásticos espumados, tela, vidrio y cerámica, metal, papel y cartón, madera y otros) se seleccionaron de la lista de residuos marinos publicada por el PNUMA, en la guía para el monitoreo de residuos marinos (Cheshire et al., 2009).

Además de la cuantificación e identificación de los tipos de residuos encontrados en las zonas de playa y el terraplén también se calculó el índice de contaminación (IC) por zona muestreada y por grupo de residuos (MR y FRAG) tanto por separado como la suma de ambos, mediante el uso de la Ecuación 3.1 propuesta por Alkalay et al. (2007).

$$IC = \frac{\# \text{ Piezas}}{\# \text{ Secciones} * L * A} * 20 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

IC = índice de contaminación (piezas/m²)

Piezas = total de piezas recolectadas

Secciones = total de secciones muestreadas

L = Longitud de cada sección (m) = 5 m

A = ancho de playa (m)

Los IC obtenidos se emplearon para clasificar las zonas de playa y el terraplén, en términos de limpieza, de acuerdo con los grupos mostrados en la Tabla 3.6 (Alkalay et al., 2007; Álvarez-Zeferino, 2020).

Tabla 3.6. Categorías de clasificación del índice de contaminación

IC (piezas/m ²)	Categoría	Significado
0.0 – 1.0	Muy limpia (ML)	No se observan residuos
1.1 – 2.0	Limpia (L)	No se observan residuos en un área grande
2.1 – 3.0	Moderada (L)	Se observan algunos residuos
3.1 – 4.0	Sucia (S)	Presencia de muchos residuos
> 4.0	Muy sucia (MS)	La mayor parte de la playa está cubierta con residuos

3.5 Identificación de inconsistencias de la operatividad del programa de manejo del área natural protegida

Para esta parte se revisó el programa de manejo del ANP Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (DOF, 2014; SEMARNAT & CONANP, 2014a) con el objetivo de identificar qué regulaciones se establecen para la conservación del ANP, es decir, que actividades públicas o privadas están permitidas o no. Todo lo señalado en el documento se contrastó con lo observado durante el trabajo campo y se determinó en donde había inconsistencias. Asimismo, se señalaron aspectos que no estaban contenidos en el programa de manejo, pero que se consideran relevantes para ser contemplados en el mismo, en un futuro.

3.6 Propuesta de guía metodológica para el estudio de microplásticos y residuos en áreas naturales protegidas marinas y/o costeras

Con base en las experiencias obtenidas de lo realizado durante el trabajo de campo y el trabajo de escritorio, enfocado a la revisión del decreto por el cual se creó el área natural protegida (DOF, 2009a) y su programa de manejo establecido (DOF, 2014; SEMARNAT & CONANP, 2014a), se propuso una guía metodológica para el estudio de microplásticos y residuos sólidos en diferentes compartimentos ambientales de las áreas naturales protegidas marinas y/o costeras.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN



*Te encantará el océano, te hace sentir pequeño, pero no en el mal sentido. Pequeño, porque te das cuenta de que formas parte de algo más grande. **Lauren Myracle***

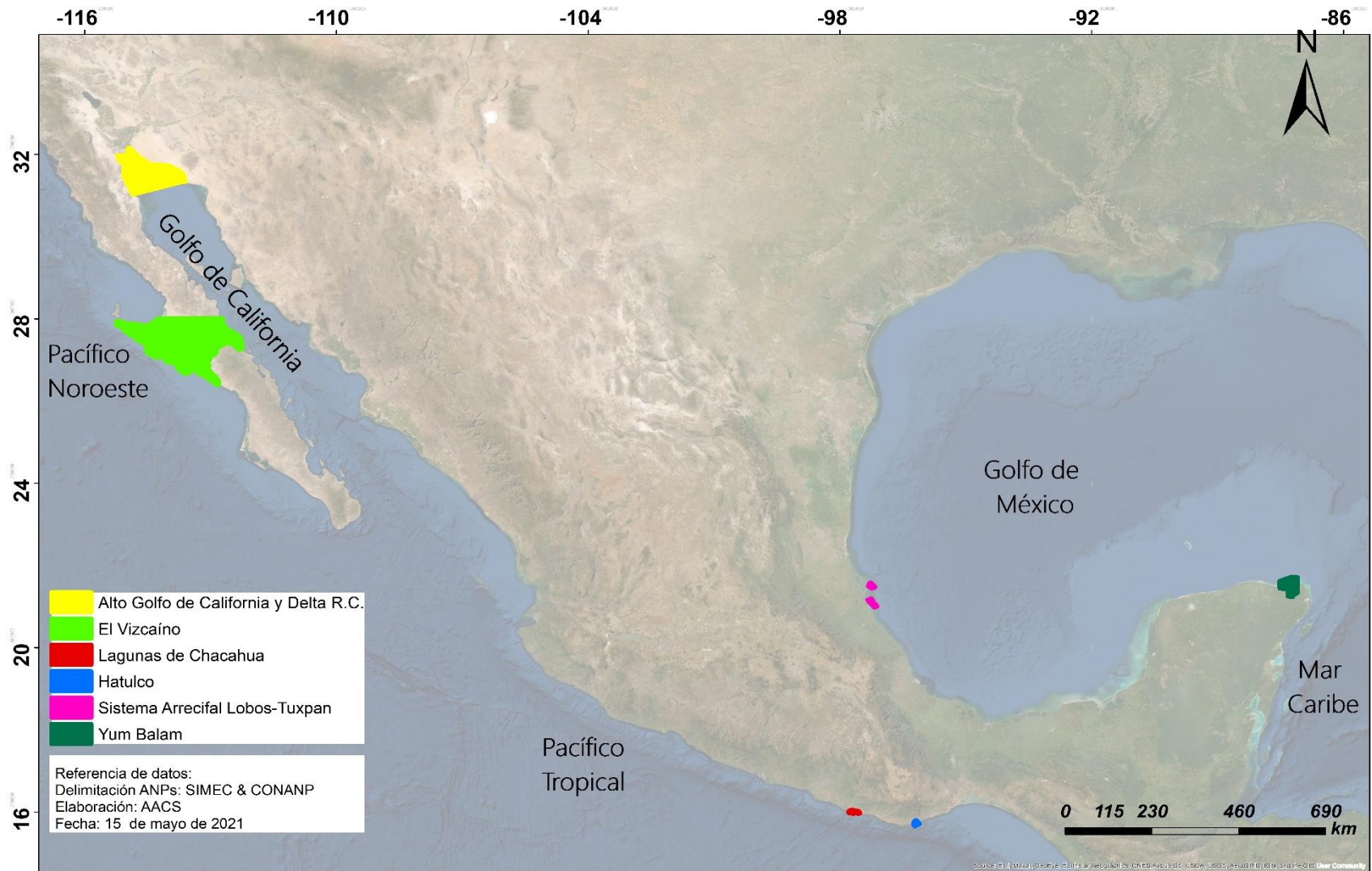
En la presente sección se muestran los resultados obtenidos de la presente investigación.

4.1 Selección del Área Natural Protegida

De acuerdo con lo explicado en el apartado 3.1, las seis APMC seleccionadas fueron Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado, El Vizcaíno, Lagunas de Chacahua, Huatulco, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan y Yum Balam (Figura 4.1). La información relevante de cada una de ellas se muestra en la Tabla 4.1, se aprecia que casi todas ellas cuentan con designaciones internacionales. Asimismo, se observa que la mayoría de las APMC tienen tanto superficie terrestre como marina y que los compartimentos ambientales presentes son variados.

A partir de lo anterior se hizo una primera selección de APMC quedando en el listado Yum Balam y el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Estas se eligieron por su relevancia en cuanto a los diferentes problemas ambientales y sociales que enfrentan, así como por la seguridad pública con la que cuentan y los diferentes compartimentos ambientales que se encuentran en ellas. Con base en el recorrido de campo realizado en cada APMC (en marzo de 2021 para Yum Balam y en mayo de 2021 para el Sistema Arrecifal) se eligió finalmente el APMC **Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan** para el estudio de microplásticos en diferentes matrices ambientales. Los criterios que se tomaron en cuenta para su selección fueron los siguientes:

- Variedad de compartimentos ambientales para tener un mayor conocimiento de cómo se comporta la presencia de microplásticos en distintos medios marinos
- Diferentes vías de acceso, de tal modo que si en algún momento una no está disponible existan otras opciones para acceder a la zona
- Seguridad pública que garantice a los investigadores su bienestar al realizar el trabajo de campo correspondiente
- Presencia de actividades turístico-recreativas en la zona y aledaña a ésta para analizar que tanto influyen en la contaminación de microplásticos en un ANP
- Presencia de zona(s) insular(es) para estudiar que tan vulnerables son ante la presencia de microplásticos



Sistema de coordenadas geográficas WGS84

Figura 4.1. Mapa de ubicación de seis áreas protegidas marinas/costeras mexicanas. Fuente: elaboración propia a partir de información de CONANP, 2018

Tabla 4.1. Información relevante de seis áreas protegidas marinas/costeras mexicanas

Nombre del ANP	Categoría de manejo	Región Marina	Estado(s)	Municipio(s)	Designaciones internacionales	Superficie terrestre (ha)	Superficie marina (ha)	Compartimentos ambientales	Referencia
Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado	Reserva de la Biosfera	Golfo de California	Baja California y Sonora	Mexicali, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado	Sitio RAMSAR – convención de humedales, World heritage – patrimonio mundial, MaB – hombre y biosfera	407,147.55	527,608.70	Río, playa, fauna marina, humedales, esteros, lagunas costeras, mar	(DOF, 2009; SIMEC & CONANP, 2019a)
El Vizcaíno	Reserva de la Biosfera	Pacífico Noroeste y Golfo de California	Baja California Sur	Mulegé	Sitio RAMSAR – convención de humedales, World heritage – patrimonio mundial, MaB – hombre y biosfera	2,259,002.95	287,787.30	Playas, esteros, lagunas costeras, manglar	(DOF, 2000; SIMEC & CONANP, 2019b)
Huatulco ¹	Parque Nacional	Pacífico Tropical	Oaxaca	Santa María Huatulco	Sitio RAMSAR – convención de humedales, MaB – hombre y biosfera	6,374.98	5,516.00	Río, playa, fauna marina, humedales, esteros, lagunas costeras, mar, manglar, arrecifes de coral	(DOF, 2002; SIMEC & CONANP, 2020)
Lagunas de Chachahua ²	Parque Nacional	Pacífico Tropical	Oaxaca	Villa de Tututepec de Melchor Ocampo	Sitio RAMSAR – convención de humedales	14,896.07	0.0	Río, fauna marina y de agua dulce, lagunas costeras, humedales, playa	(SEMARNAT & CONANP, 2014; SIMEC & CONANP, 2019a)
Sistema Arrecifal Lobos – Tuxpan ³	Área de Protección de Flora y Fauna	Golfo de México	Veracruz	Tamiahua y Tuxpan	Aledaña a ella se encuentra el Sitio RAMSAR Laguna de Tamiahua	0.0	30,571.15	Arrecifes de coral, fauna marina, mar, playa ⁴ , flora	(DOF, 2014; SIMEC & CONANP, 2019b)
Yum Balam	Área de Protección de Flora y Fauna	Mar Caribe	Quintana Roo	Lázaro Cárdenas, Isla Mujeres	Sitio RAMSAR – convención de humedales	52,307.62	101,744.63	Playa, fauna marina, humedales, esteros, lagunas costeras, mar, manglar	(DOF, 2018; SIMEC & CONANP, 2019d)

1: Incluye 5 de las 9 principales bahías (San Agustín, Chachacual, Cacaluta, Maguey y Órgano); 2: está conformado por seis lagunas (La Pastoría, Chachahua, Salina o Tianguisto, Poza de los Corraleros, La Palizada y Poza del Mulato); 3: está integrado por seis arrecifes agrupados en dos unidades arrecifales (Lobos: Lobos, Medio y Blanquilla; Tuxpan: Tuxpan, En medio y Tanhuijo); 4: sólo para el arrecife Lobos ya que ahí también está la Isla Lobos

4.1.1 Selección del sitio de estudio

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan está comprendido por seis arrecifes y una isla, que se localizan en dos unidades arrecifales: polígono Lobos y polígono Tuxpan. De estos se eligió la isla Lobos como zona de estudio debido a su vasta biodiversidad y variados compartimentos ambientales (SEMARNAT & CONANP, 2014a). Aunado a lo anterior, otros puntos relevantes de la isla Lobos son los siguientes (SEMARNAT & CONANP, 2014a; SISR, 2005):

- Es la única zona del APMC que se encuentra habitada por marinos, el farero y una persona de mantenimiento
- Tanto en la isla como en el arrecife se permiten distintas actividades turísticas de bajo impacto ambiental, tales como campismo, snorkel, buceo libre, observación de vida silvestre y recorrido en embarcaciones
- Su localización es próxima a la costa, lo que la hace vulnerable ante las actividades antropogénicas desarrolladas en la misma
- Su zona de influencia comprende el sitio RAMSAR Laguna de Tamiahua cuya importancia radica en que es el límite norte de un manglar (el más grande del norte del Papaloapan) extenso y bien estructurado

4.2 Descripción del Área Protegida Marina/Costera

El **Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan** tiene una superficie total de 30,571.15 ha, se localiza en el estado de Veracruz frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan. Esta zona fue declarada ANP el 5 de junio de 2009 con la categoría de Área de Protección de Flora y Fauna (APFF). Los principales motivos por los que se decidió proteger esta zona fueron su gran potencial biológico, la existencia de especies de corales pétreos (cuerno de alce, *Acropora palmata* y cuerno de venado, *Acropora cervicornis*) catalogadas en riesgo por la NOM-059-SEMARNAT-2001 y la presencia, en la zona contigua a la ANP, de actividades de extracción de hidrocarburos, abastecimiento de una planta de generación termoeléctrica,

así como las relativas al tránsito náutico del Puerto de Tuxpan, las cuales representan una amenaza para los arrecifes coralinos (DOF, 2009a).

Este complejo arrecifal (Figura 4.2) se integra por seis arrecifes tipo plataforma agrupados en dos unidades que se encuentran a una profundidad de entre uno y 30 m: 1) polígono Lobos, conformado por los arrecifes Lobos, Medio y Blanquilla y la Isla Lobos, y 2) polígono Tuxpan, integrado por los arrecifes Tuxpan, En medio y Tanhuijo (SEMARNAT & CONANP, 2014a). Entre ambas unidades hay cerca de 40 km de distancia sin estructuras arrecifales intermedias relevantes (DOF, 2014).

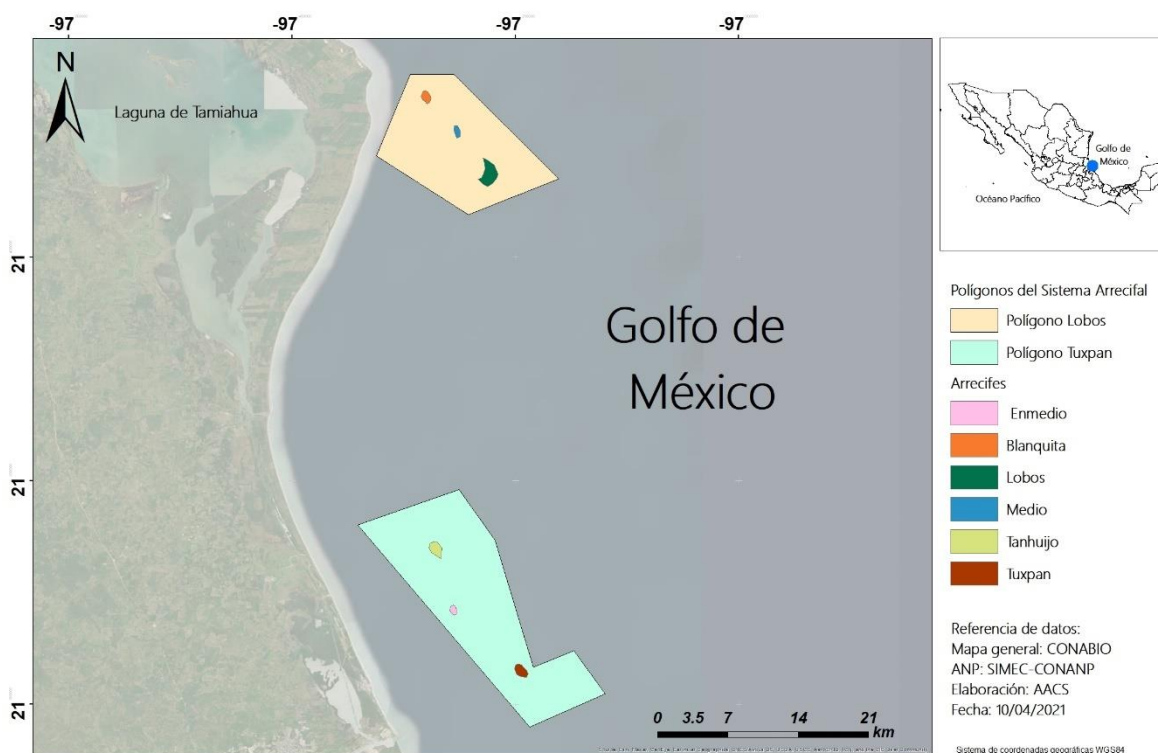


Figura 4.2. Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Con base en su programa de manejo, el APFF se divide a su vez en cinco subzonas, con la finalidad de que en cada una de ellas el territorio se ordene de la manera más adecuada

tomando en cuenta su grado de conservación, representatividad de sus ecosistemas, vocación natural del terreno, su uso actual y potencial. Las cinco subzonas son (DOF, 2014):

- **De preservación.** Son zonas con buen estado de conservación con presencia de ecosistemas relevantes o frágiles. Las actividades realizadas requieren de un manejo específico para seguirlas conservando
- **De aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.** La principal actividad que se realiza es la pesca ribereña de escama de especies que viven o transitan en las lagunas costeras
- **De aprovechamiento especial.** Está comprendida por las instalaciones e infraestructura existente antes de la declaratoria del ANP con el objetivo de asegurar su mantenimiento y reducir cualquier riesgo a la salud y a los ecosistemas
- **De uso público.** Tienen atractivos naturales ideales para realizar actividades de recreación y esparcimiento. En estas zonas es posible mantener la densidad de visitantes en los límites que se determinen de acuerdo con la capacidad de carga de los ecosistemas
- **De recuperación.** En estas áreas los recursos naturales se encuentran severamente alterados o modificados y por lo tanto necesitan serán de programas de recuperación y rehabilitación, por lo que se prohíbe la práctica de actividades que llevaron a dicha alteración

4.2.1 Isla Lobos

El nombre de la isla Lobos hace honor a la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*) que hace muchos años habitó en la isla y a la que se considera una pérdida irreparable ocurrida en fecha desconocida. Isla Lobos tiene una elevación máxima de 2.5 m y una superficie de aproximadamente 600 m x 500 m, forma parte de cuatro de las subzonas antes mencionadas y es una zona rica en biodiversidad, ya que cuenta con distintas especies de flora y fauna tanto en la isla como en el arrecife. En la isla Lobos habitan una partida de

marinos, el farero y una persona que da mantenimiento a la casa construida por Petróleos Mexicanos, que actualmente está deshabitada (SEMARNAT & CONANP, 2014a).

La vegetación terrestre de isla Lobos está conformada por 78 especies distribuidas en 66 géneros y 37 familias. De manera general se clasifica en siete grupos (Tabla 4.2), compuestos mayormente por especies introducidas (SEMARNAT & CONANP, 2014a).

Tabla 4.2. Vegetación terrestre en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Grupo	Especies	Observaciones
Palma de coco	<i>Cocos nucifera</i>	Especie introducida
Casuarinas	<i>Casuarina equisetifolia</i>	Especie introducida como cortina rompevientos
Manglar	<i>Rhizophora mangle</i> , <i>Laguncularia racemosa</i> , <i>Conocarpus erectus</i> y <i>Avicennia germinans</i>	Se localiza en la parte suroeste y sureste de la isla
Acahual	<i>Ficus obtusifolia</i> , <i>Bursera simaruba</i> , <i>Guazuma ulmifolia</i> y <i>Rivina humilis</i>	Localizado en el norte de la isla
Carrizal	<i>Arundo donax</i>	Se encuentra cerca del muelle y junto a las instalaciones habitacionales de PEMEX
Vegetación de la playa y duna costera	incluyen <i>Canavalia rosea</i> , <i>Ipomoea pes-caprae</i> , <i>Portulaca oleracea</i> y <i>Randia laetevirens</i>	Son típicas en las franjas oeste-suroeste y noreste de la isla
Plantas ornamentales	<i>Hibiscus rosasinerencis</i> y <i>Crinum asiaticum</i>	Se ubican en la parte central de la isla

En lo que respecta a la vegetación acuática, ésta se conforma por diferentes especies de algas y pastos marinos. Las algas están constituidas por 126 especies que se distribuyen en cuatro grupos, las especies que destacan son *Halimeda opuntia*, *Penicillus pyriformis*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa cupressoides*, *Ventricaria ventricosa*, *Microdictyon sp.*, *Galaxaura sp.* y *Sargassum fluitans*; de todas éstas la última tiende a presentarse en grandes masas y a acumularse en la costa durante el verano. Por su parte los pastos marinos se caracterizan por la presencia de la especie *Thalassia testudinum* cuya función es refugiar y proteger a más del 50 % de especies de peces y crustáceos, entre otros (SEMARNAT & CONANP, 2014a).

La fauna presente en el complejo arrecifal se muestra en la Tabla 4.3, se aprecia que ésta es muy variada y que algunas especies de reptiles, mamíferos y aves han sido identificadas en categoría de riesgo en la normatividad mexicana. Además, en el Libro Rojo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) el cual brinda información sobre las especies vegetales y animales en peligro de extinción se incluyen ocho especies de peces (*Aetobatus narinari*, *Epinephelus striatus*, *Mycteroperca rubra*, *Lutjanus analis*, *Lutjanus cyanopterus*, *Lachnolaimus maximus*, *Scarus guacamaia*, *Balistes vetula*) que se encuentran Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SEMARNAT & CONANP, 2014a).

Tabla 4.3. Distintas especies de fauna presentes en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan

Tipo de fauna	Descripción
Corales pétreos	31 especies de escleractinios y dos hidrocorales presentes en zonas de talud, someras (menos de 12 m de profundidad) y profundas (más de 15 m de profundidad)
Equinodermos	18 especies, principalmente estrellas, erizos y pepinos de mar
Espojas	Presencia de 10 especies comunes
Anélidos	Al menos 30 especies
Moluscos	25 especies conformadas por caracoles y pulpo
Gasterópodos	171 especies correspondientes a 120 géneros y 61 familias
Artrópodos	Más de 60 especies de crustáceos
Peces	247 especies en la zona de arrecifes
Reptiles	Tortugas caguama, blanca o verde, lora y carey (<i>Caretta caretta</i> , <i>Chelonia mydas</i> , <i>Lepidochelys kemp</i> y <i>Eretmochelys imbricata</i> , respectivamente), todas incluidas en la categoría de peligro de extinción*
Mamíferos	Toninas negras (<i>Tursiops truncatus</i>), delfín de dientes rugosos (<i>Steno bredanensis</i>) y delfín moteado <i>Stenella attenuata</i> incluidas en la categoría de protección especial*
Aves	36 especies de diferentes aves. El charrán mínimo (<i>Sternula antillarum</i>) se encuentra en la categoría de protección especial*

* = en la NOM-059-SEMARNAT-2010

4.3 Presencia de microplásticos y residuos sólidos

A continuación, se describen los principales hallazgos sobre la presencia de microplásticos y de residuos sólidos de Isla Lobos, así como el análisis de los mismos.

4.3.1 Microplásticos

Esta sección presenta los resultados de microplásticos por tipo de muestra estudiada.

- **Agua superficial**

Los resultados (Tabla 4.4) evidenciaron una concentración promedio de 2.3 piezas/m³ en agua superficial con un intervalo de 0.86 piezas/m³ a 5.54 piezas/m³. Todos los MP presentes fueron del tipo secundario, de los cuales el 99.57 % correspondió a fibras con longitudes de entre 0.002 mm y 0.94 mm y el resto fueron fragmentos con un tamaño de entre 0.45 mm y 4.28 mm.

Tabla 4.4. Valores estadísticos por muestra en piezas/m³

Arrastre o valor estadístico	piezas/m ³
Arrastre 1	0.86
Arrastre 2	5.54
Arrastre 3	2.65
Arrastre 4	1.46
Arrastre 5	1.18
Arrastre 6	1.87
Total	13.6
Promedio	2.3
Desviación estándar	1.7
Varianza	3.0
Mediana	1.7

En la Figura 4.3 se muestran ejemplos de las fibras y fragmentos encontrados en las muestras de agua.

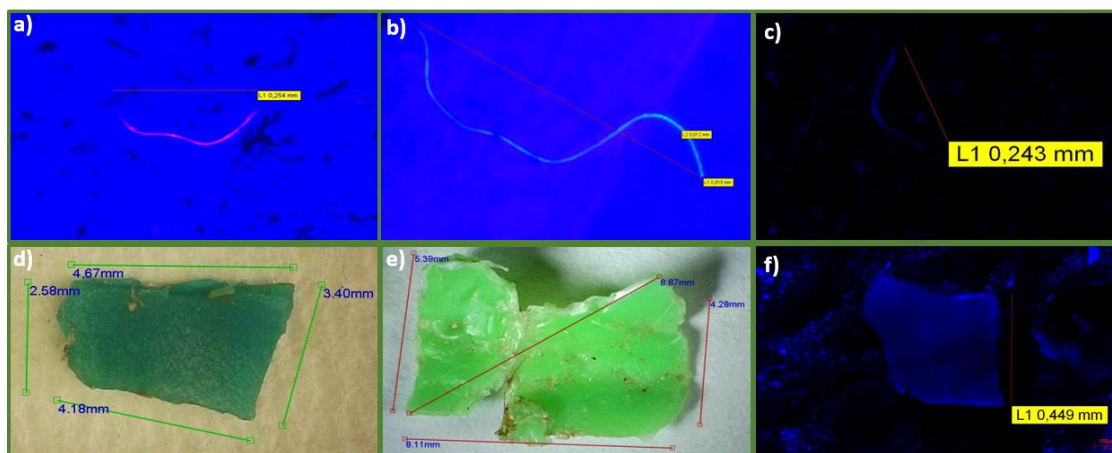


Figura 4.3. a)-c) fibras observadas en microscopio óptico, d) y e) fragmentos observados con microscopio digital y f) fragmentos observados con microscopio óptico

- **Sedimentos del fondo marino**

Los resultados obtenidos (Tabla 4.5) arrojaron una concentración promedio de 50.7 piezas/kg de sedimento húmedo, equivalente a 63.3 piezas/kg sedimento seco. El intervalo de concentraciones va de 6.83 a 89.42 piezas/kg de sedimento húmedo (equivalente al intervalo de 10.04 a 128.77 piezas/kg de sedimento seco). Los MP presentes fueron del tipo secundario: 96.8 % fueron fibras con un intervalo de tamaño de 0.066 - 1.285 mm y 3.2 % fragmentos con un intervalo de tamaño de 0.028 - 0.064 mm.

Tabla 4.5. Valores estadísticos por muestra en piezas/sedimento húmedo y piezas/sedimento seco

Muestra - Valor estadístico	# MP/kg sedimento húmedo	# MP/kg sedimento seco
Muestra 1	8.59	11.95
Muestra 2	6.83	10.04
Muestra 3	30.35	43.27
Muestra 4	53.31	69.17
Muestra 5	85.63	107.04
Muestra 6	80.80	73.13
Muestra 7	89.42	128.77
Suma	354.90	443.40
Promedio	50.70	63.30
Desviación estándar	35.90	45.1
Varianza	1,290.60	2,034.10
Mediana	53.3	69.20

En la Figura 4.4 se muestran ejemplos de los microplásticos encontrados en las muestras de sedimentos del fondo marino.

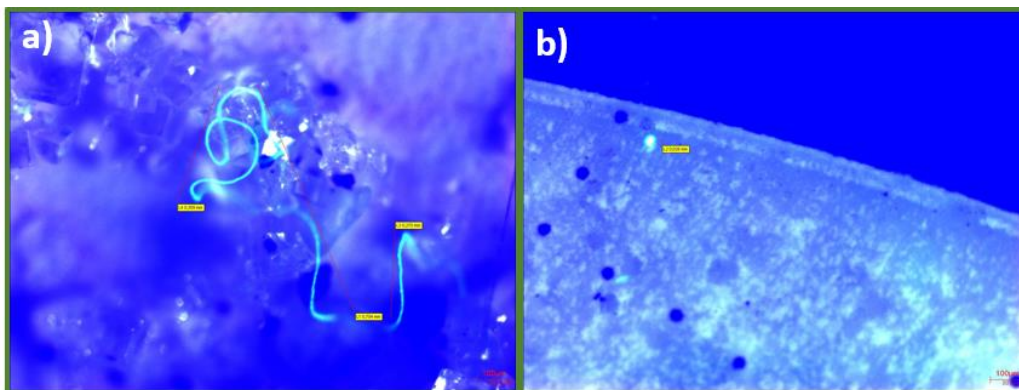


Figura 4.4. Ejemplos de microplásticos: a) fibras y b) fragmento

- **Sedimentos de playa**

Los resultados obtenidos de las concentraciones de microplásticos en unidades de # MP/kg_{ss} se presentan en la Tabla 4.6, se observa que la zona con mayor concentración promedio de MP fue la zona 5 (contigua al aeropuerto) con una media de 37.63 MP/kg_{ss}, mientras que la que presentó menores concentraciones fue la zona 4 (contigua a la zona turística) con un promedio de 7.75 MP/kg_{ss}. La alta concentración en la zona 5 podría deberse a que, además del helipuerto, ésta se encuentra cerca de la zona de embarcadero en la cual arriban varias lanchas prestadoras de servicios turísticos y de pescadores, cuyo personal en ocasiones permanece en esa zona con fines de descanso, pero existe la probabilidad de que en dicha zona dispongan inadecuadamente los residuos y por ende haya un desgaste de los plásticos y con ello la formación de microplásticos.

Tabla 4.6. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/kg_{ss}

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	0.00 – 154.15	28.27	19.17	45.57	2,076.30
3 - Turística	1.47 – 28.26	9.88	7.41	9.00	80.93
4 - Contigua a la turística	0.54 – 16.01	7.75	8.02	4.50	20.25
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 113.21	37.63	30.53	35.37	1,251.35

ss = sedimento seco

En el Anexo 1 se presentan las concentraciones de microplásticos en arena de playa en unidades de # MP/kg_{ss}, # MP/litro, # MP/m² y # MP/m (Tablas 8.1 a la 8.4).

El tipo de MP encontrado en las diferentes zonas de playa, se representa en la gráfica de la Figura 4.5. Se aprecia que las fibras fueron el tipo de MP más abundante en todas las playas, seguido de los fragmentos con una proporción promedio de 78.20 % y 16.82 %, respectivamente.

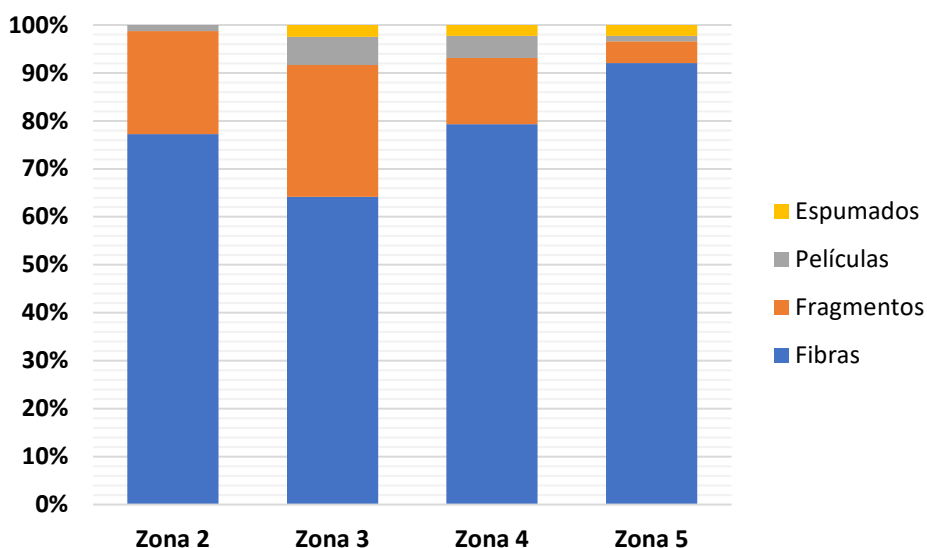


Figura 4.5. Proporción de los tipos de plástico por zona de playa

En cuanto al tamaño de los MP encontrados se presenta en la Tabla 4.7. En general los tamaños fueron muy variados tanto por tipo de MP como por zona, el tamaño más pequeño fue para las fibras con 0.032 mm y 0.033 mm en las zonas 3 y 4, en cambio el tamaño más alto fue para los MP de tipo fragmentos y espumados con un valor de 5.00 mm en todos los casos, los cuales también correspondieron a las zonas 3 y 4.

Tabla 4.7. Tamaño de los tipos de microplásticos, en mm, encontrados en cada zona

Zona de playa	Fibras	Fragmentos	Películas	Espumados
2 - Alimentación de tortugas	0.147 – 1.903	0.32 – 4.72	0.096 – 1.87	N.A.
3 - Turística	0.032 – 1.767	0.058 – 5.00	0.176 – 0.243	2.02 – 5.00
4 - Contigua a la turística	0.033 – 1.08	0.156 – 5.00	0.150 – 0.268	2.34 – 4.94
5 - Contigua al helipuerto	0.042 – 0.581	0.72 – 1.80	4.44*	0.2 – 0.7

N.A. = no aplica, *solo se encontró una película

En la Figura 4.6 se presentan ejemplos de microplásticos encontrados en la playa, los cuales incluyen espumados, fibras y fragmentos rígidos.

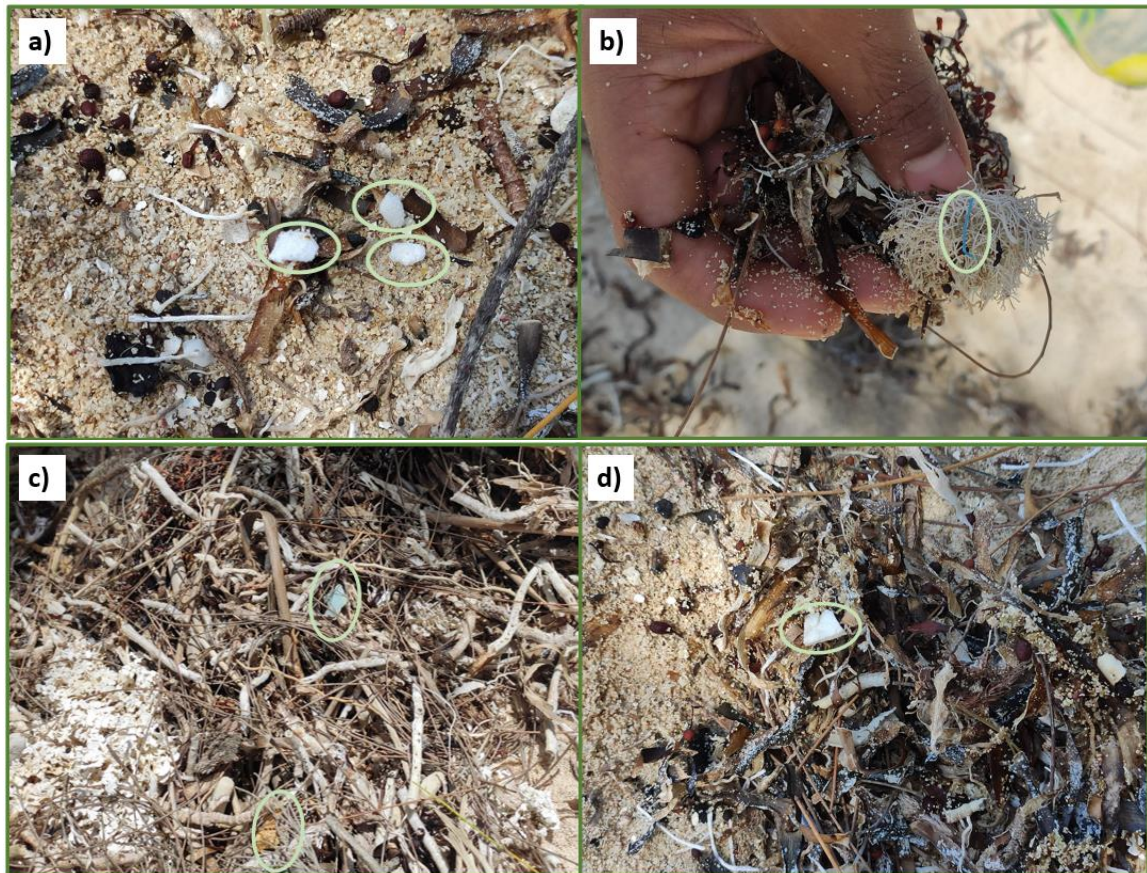


Figura 4.6. Ejemplos de microplásticos encontrados en la playa: a) espumados, b) fibra, c) y d) fragmentos rígidos

Por otro lado, en la Figura 4.7 incluyen ejemplos de residuos plásticos de mayor tamaño, encontrados en la playa durante el trabajo de campo, que se han ido desgastando como consecuencia de su exposición prolongada a la intemperie y que por lo tanto son fuentes de microplásticos.

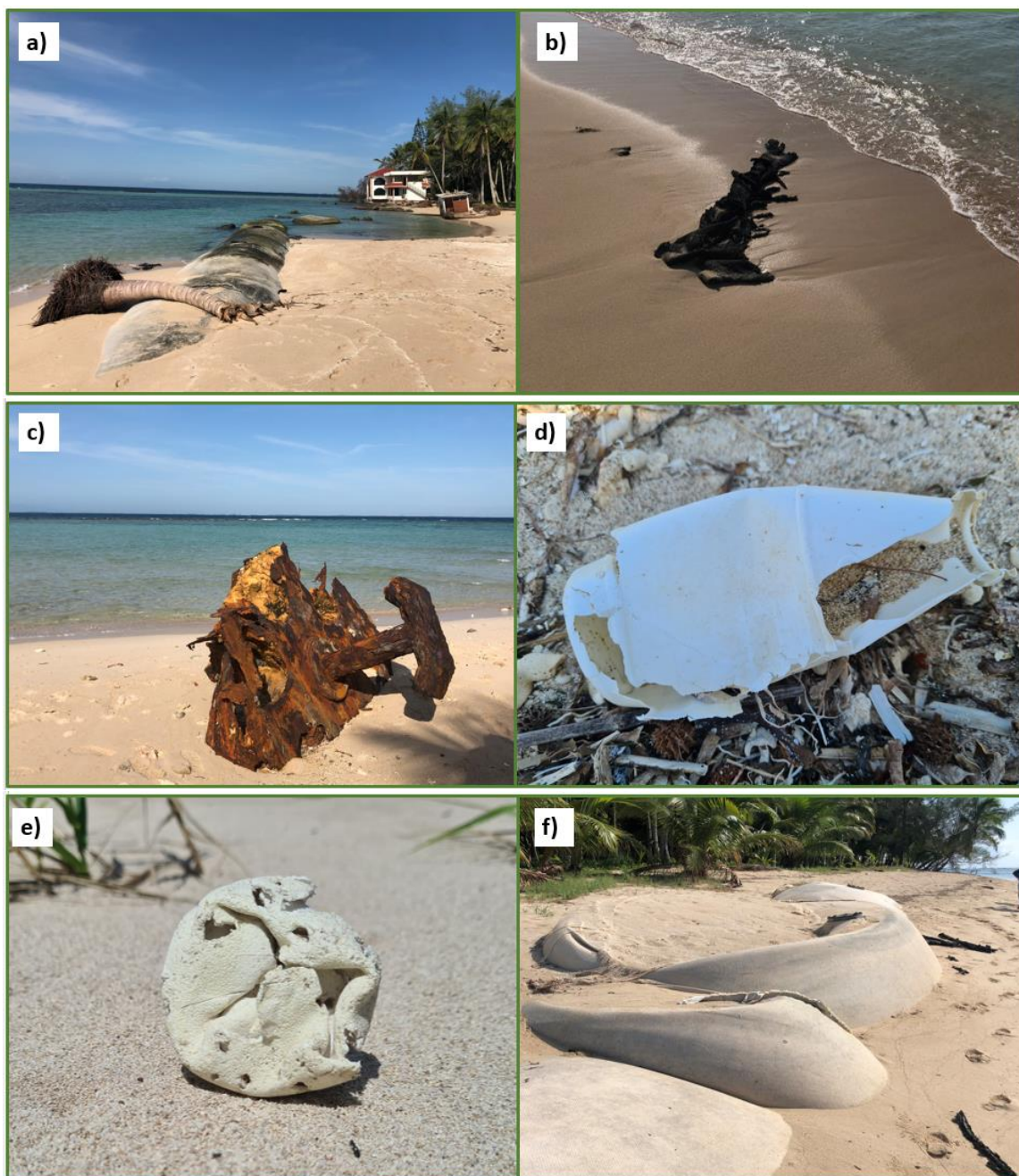


Figura 4.7. Fuentes potenciales de microplásticos en la playa: a) saco de arena, b) tela del saco de arena, c) parte de una embarcación, d) envase, e) plástico rígido y f) sacos de arena

Además de los microplásticos encontrados en las zonas de playa, también se encontraron partículas de chapopote en cada una de ellas, estas partículas se identificaron por su color negro, su consistencia viscosa y su olor similar al del petróleo. Las concentraciones de chapopote en unidades de # MP/kg_{ss} se presentan en la Tabla 4.8. En el Anexo 2 se presentan las concentraciones de chapopote en arena de playa en unidades de # MP/kg_{ss}, # MP/litro, # MP/m² y # MP/m (Tablas 8.5 a la 8.8).

Tabla 4.8. Valores estadísticos de la concentración de chapopote por zona de playa en términos de # piezas/kg_{ss}

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	152.37 – 711.56	377.94	331.21	158.43	25,100.60
3 - Turística	10.50 – 432.65	165.17	124.45	126.44	15,986.55
4 - Contigua a la turística	11.52 – 258.67	104.59	94.10	68.34	4,670.92
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 113.21	37.46	30.53	35.23	1,241.19

ss = sedimento seco

Las zonas 2, 3 y 4 presentan concentraciones en el mismo orden de magnitud (centenas), pero de todas ellas la mayor concentración fue para la zona 2 (zona de alimentación de tortugas) con una concentración media de 377.94 MP/kg_{ss}. Por su parte la menor concentración correspondió a la zona 5 (contigua al helipuerto) con un promedio de 30.53 MP/kg_{ss} que presenta un orden de magnitud de decenas.

Los tamaños de las partículas de chapopote se presentan en la Tabla 4.9 donde se aprecia no presentan variaciones significativas, ya que van desde 0.03 mm (en las zonas 3 y 4) hasta 5.00 mm (en las conas 3, 4 y 5).

Tabla 4.9. Tamaño de las partículas de chapopote encontradas

Zona de playa	Intervalo de tamaño (mm)
2 - Alimentación de tortugas	0.04 – 4.88
3 - Turística	0.03 – 5.00
4 - Contigua a la turística	0.03 – 5.00
5 - Contigua al helipuerto	0.04 – 5.00

La Figura 4.8 se muestran ejemplos del chapopote encontrado en la arena de playa de la Isla Lobos.



Figura 4.8. Chapopote encontrado en la arena de playa de la Isla Lobos

La presencia de este tipo de partículas en las diferentes zonas de playa de la isla se relaciona con que hace muchos años, en la década de 1960, en la isla se asentó el desarrollo petrolero. Para ser exactos, el 7 de junio de 1964 la empresa Petróleos Mexicanos inició la explotación petrolera en Isla Lobos en donde se perforaron siete pozos verticales, debido a esto un año antes se construyó una plataforma para los pozos y un canal de navegación para el acceso de las embarcaciones de tal manera que pudieran operar y dar mantenimiento a los pozos. Sin embargo, todas estas actividades causaron un severo daño al arrecife Lobos. Tanto la infraestructura, a excepción de la casa de PEMEX y algunos ductos (Figura 4.9), como las actividades de explotación petrolera se retiraron del arrecife y la isla Lobos (SEMARNAT & CONANP, 2014a).



Figura 4.9. Ductos de PEMEX presentes en la zona de playa de la Isla Lobos

Aunado a lo anterior, actualmente la zona de influencia del ANP “Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” presenta un elevado tránsito de buques cisterna y otros tipos de buques, que transportan diversas cargas o combustible y usan el Puerto de Tuxpan y las monoboyas (instalación marina con mangueras flotantes, que está sujeta con anclas al lecho marino) de la Terminal Marítima de Petróleos Mexicanos y del Complejo Termoeléctrico presidente Adolfo López Mateos. El problema surge cuando tales

embarcaciones no respetan las rutas de navegación y terminan varadas en los arrecifes, ya que dañan físicamente su estructura, aumentan la erosión y la degradación arrecifal, y afectan a la biota marina presente, además puede haber fugas de las cargas y combustibles hacia los arrecifes (SEMARNAT & CONANP, 2014a).

- **Fauna marina: peces de consumo**

Los resultados obtenidos de las concentraciones de microplásticos en los órganos interiores se presentan en la Tabla 4.10. Se observa que las especies que presentaron una mayor concentración media de MP fueron Mojarra (18.87 MP/g_h) y Rojo villajaiba (13.88 MP/g_h), las cuales provienen de la Isla Los Pájaros y la zona aledaña a la Isla Lobos, respectivamente. Por su parte, las dos especies con concentraciones más bajas fueron Pargo y Sargo con 4.81 y 5.88 MP/g_h, respectivamente, ambas especies corresponden a pescados de la Laguna de Tamiahua.

Tabla 4.10. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por especie de pescado en términos de MP/g_h órganos interiores

Pez	Lugar	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
Pargo	Laguna de Tamiahua	3.31 – 7.29	4.81	3.84	2.16	4.67
Furel		6.35 – 7.85	7.10	7.10	1.06	1.12
Sargo		0.00 – 12.86	5.88	4.79	6.50	42.21
Chocomite		3.40 – 8.86	6.14	6.17	2.73	7.44
Rojo villajaiba	Zona aledaña a arrecifes de Isla Lobos	8.84 – 23.23	13.88	9.56	8.11	65.83
Ronco		5.18 – 10.82	7.52	6.56	2.94	8.64
Boquilla		9.31 – 15.54	12.13	11.53	3.16	9.97
Sargo	Isla Los Pájaros	4.35 – 26.55	12.95	10.87	8.45	71.47
Mojarra		0.00 – 99.15	18.87	3.23	39.48	1,558.66

Las concentraciones medias de microplásticos en las branquias se muestran en la Tabla 4.11, para este caso se observa que el pescado Rojo villajaiba (de la zona aledaña a la Isla Lobos) presentó la mayor concentración con una media de 94.06 MP/g_h, seguido de la

especie Mojarra (proveniente de la Isla Los Pájaros) con 56.68 MP/g_h. En el caso de las menores concentraciones, éstas correspondieron a las especies Ronco y Boquilla con concentraciones promedio de 3.79 y 5.23 MP/g_h, respectivamente, ambas provenientes de la zona aledaña a la Isla Lobos.

Tabla 4.11. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por especie de pescado en términos de MP/g_h branquias

Pez	Lugar	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
Pargo	Laguna de Tamiahua	14.51 – 29.19	20.04	16.41	7.98	63.74
Furel		5.50 – 6.75	6.13	6.15	0.63	0.39
Sargo		3.60 – 8.86	6.07	5.75	2.65	7.01
Chocomite		1.76 – 27.17	14.47	14.48	12.70	161.41
Rojo villajaiba	Zona aledaña a arrecifes de Isla Lobos	41.36 – 180.64	94.06	60.17	75.57	5,710.74
Ronco		3.49 – 4.13	3.79	3.75	0.32	0.11
Boquilla		4.23 – 6.57	5.23	4.90	1.21	1.46
Sargo	Isla Los Pájaros	21.14 – 93.29	44.64	32.42	26.30	691.74
Mojarra		0.00 – 108.07	56.68	55.81	42.12	1,774.24

Al comparar las concentraciones de microplásticos entre las muestras de órganos interiores y de las branquias se aprecia que las de las branquias son mayores que las de los órganos interiores en casi todas las especies (excepto en las especies Ronco y Boquilla), esto indicaría que la respiración es el mecanismo principal de interacción entre los MP y las especies. Los peces, en su proceso de respiración, aspiran agua por la boca y la hacen pasar a través de las branquias, posteriormente capturan el oxígeno contenido en ella y liberan el dióxido de carbono (DNR, 2017; Instituto Apoyo, 2020). Sin embargo, en el agua aspirada puede haber MP presentes, y existe la probabilidad de que se queden atrapados entre los arcos branquiales al momento de que el pez aspira el agua. Esto podría explicar porque hay mayor presencia de MP en las branquias que en los órganos interiores.

En cuanto al análisis de las concentraciones de MP por especie y por ende el lugar de procedencia, no existe una relación clara, ya que en las concentraciones altas tanto para órganos interiores como para branquias las especies Rojo Villajaiba y Mojarra coincidieron. No obstante, no hubo coincidencia para las concentraciones bajas, ya que en el caso de los

órganos interiores éstos correspondieron a Pargo y Sargo y para las branquias fueron Ronco y Boquilla.

Aunado a las concentraciones, el tipo de MP también se clasificó por especie de pescado y por tipo de muestra analizada, es decir, órganos interiores y branquias. En la Figura 4.10 se presenta el gráfico de los diferentes tipos de MP encontrados en los órganos interiores, se observa que en todas las especies las fibras fueron las más predominantes con una proporción promedio de 76.79 % y un intervalo de 76.47 % en pez Sargo 2 (proveniente de Isla Los Pájaros) a 100 % en pez Rojo Villajaiba. Los fragmentos se encontraron en una proporción media de 23.21 %.

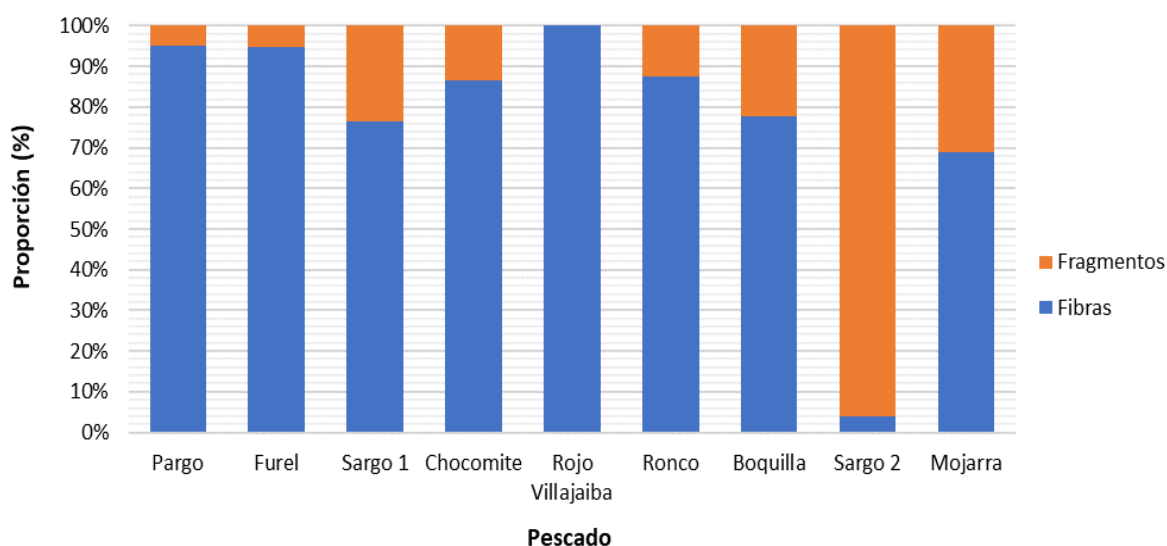


Figura 4.10. Proporción de tipos de MP en órganos interiores

Las proporciones de los tipos microplásticos encontrados en las branquias se presentan en la Figura 4.11. Se aprecia que al igual que en el caso anterior, el tipo de microplástico más abundante correspondió a las fibras con una proporción media de 73.31 %, seguido de los fragmentos con 26.14 % y las películas con 0.55 %. Las microfibras pueden ser ingeridas por los peces debido a la confusión con sus elemento presa, tal como es el caso del plancton que al ser de un tamaño pequeño (en especial el microplancton que se encuentra entre 0.05

y 1 mm y nanoplancton que es menor a 0.05 mm) puede confundirse con otros materiales suspendidos presentes en el agua que a simple vista tengan una apariencia similar (Britannica, 2022; Ríos, 2022).

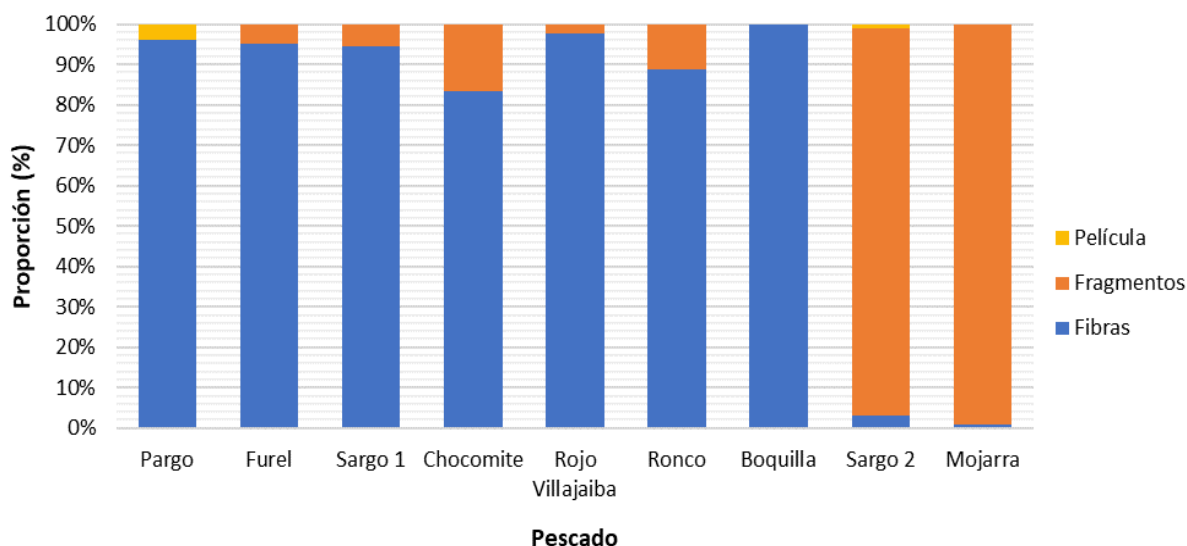


Figura 4.11. Proporción de tipos de MP en branquias

La alta proporción de fibras, tanto en los órganos interiores como en las branquias, podría deberse a que tanto la Laguna de Tamiahua (de la cual provienen las especies Chocomite, Sargo, Furel y Pargo) como la Isla Los Pájaros (lugar de origen de las especies Mojarra y Sargo) están rodeadas por localidades del municipio de Tamiahua y otros municipios (SEMAR, n.d.) en los cuales no hay plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) (Figura 4.12). Debido a ello se asume que hay descarga directa de aguas residuales, principalmente domésticas, hacia la laguna de Tamiahua, que podrían contener microfibras provenientes del lavado de textiles. Aunado a lo anterior, también hay que tener en cuenta que las aguas de la laguna de Tamiahua son zona de influencia de la Isla Lobos (SEMARNAT & CONANP, 2014a; SISR, 2005).

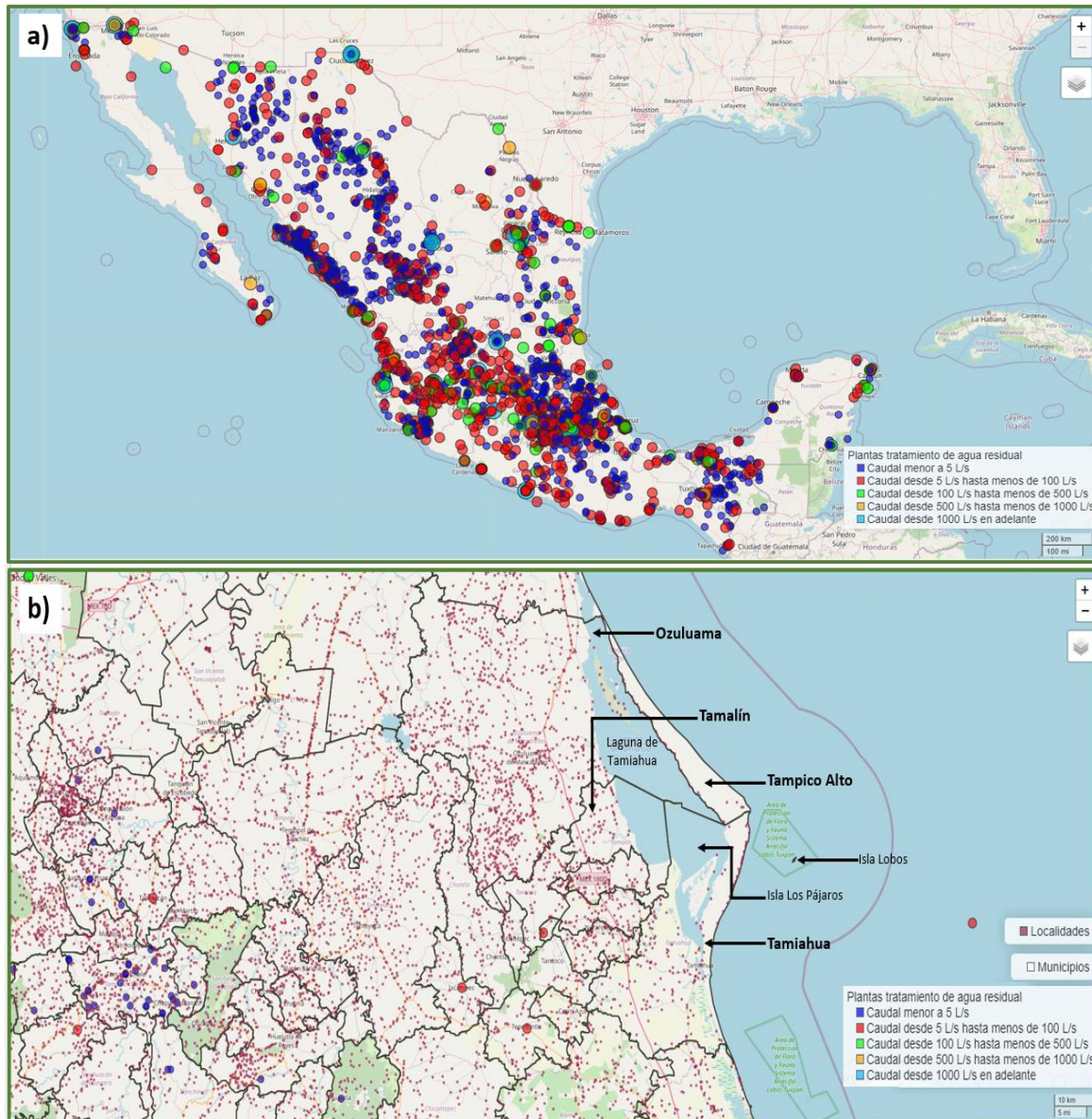


Figura 4.12. Plantas municipales de tratamiento de agua residual: a) panorama nacional y b) panorama de localidades aledañas a la Laguna de Tamiahua e Isla los Pájaros (CONAGUA, 2021)

En cuanto a la cabecera municipal de Tamiahua, ésta tiene una población de 4,908 habitantes (SEFIPLAN, 2023). En el 2005 se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de dicha localidad, con una capacidad de 12 litros/segundo, sin embargo, ésta nunca ha operado debido a la falta de colectores y estaciones de bombeo (El Heraldo de Tuxpan, 2017). El último cuadernillo municipal, publicado por la Secretaría de Finanzas y Planeación (SEFIPLAN) del estado de Veracruz, en el que se reportó la presencia y

funcionamiento de la PTAR fue en 2017 (SEFIPLAN, 2017). En los años siguientes (2018-2023) en esta región se han reportado 0 plantas instaladas y por ende sin capacidad instalada ni volumen de agua tratado (SEFIPLAN, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023).

Aunque ha habido intenciones en diferentes administraciones municipales por rehabilitar la PTAR (El Heraldo de Tuxpan, 2017; Gobierno de Tamiahua, 2022; Vanguardia Veracruz, 2020), aun no se ha concretado, es por ello por lo que actualmente las aguas residuales se descargan a la laguna. Aunado a lo anterior, la PTAR no figura en el mapa interactivo de PTARS municipales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (Figura 4.12).

Por otro lado, respecto a los tamaños de los microplásticos (Tabla 4.12), en general estos son pequeños, ya que las fibras presentaron un intervalo de tamaño de 0.030 a 1.405 mm, mientras que en los fragmentos este fue de 0.043 a 0.957 mm. En el caso de las películas, solo hubo una la cual midió 0.287 mm.

Tabla 4.12. Tamaño de los microplásticos encontrados

Muestra	Fibras	Fragmentos	Películas
Órganos interiores	0.030 – 0.874	0.274 – 0.675	N.A.
Branquias	0.057 – 1.405	0.043 – 0.957	0.287 – 0.295

N.A. = no aplica, no se encontró ese tipo de MP

- **Posibles fuentes de microplásticos**

Derivado de lo anterior, se tiene la conjetura de que los MP presentes en Isla Lobos pueden provenir de lo que transportan las corrientes marinas que a su vez son impulsadas por factores como el viento, las diferencias de la densidad del agua y las corrientes de marea (NOAA, 2023). Las corrientes de marea ocurren debido a la subida y bajada de la marea en donde el movimiento vertical de las mareas hace que el agua se mueva horizontalmente, creando corrientes las cuales son más fuertes cerca de la costa, por ejemplo, en las bahías y estuarios (NOAA, n.d.). Las corrientes de marea generalmente cambian con un patrón muy regular y pueden predecirse para fechas futuras (NOAA, 2023).

Particularmente para la Isla Lobos, las corrientes marinas se simularon del lunes 15 de abril a las 00:00 horas hasta el miércoles 17 de abril a las 17:00 horas y se encontró que su dirección va hacia el norte o nor-oeste la cual evidencia que entonces los MP (incluidas las fibras) no necesariamente pueden provenir de la región de Tamiahua sino también de la zona aledaña a la costa del Puerto de Veracruz (Figuras 4.13 y 4.14). Con respecto a las corrientes de marea, éstas también se simularon en el mismo periodo de fechas y horas antes mencionados (Figuras 4.15 y 4.16), pero en este caso se encontró que presentan diferentes direcciones entre los días y las horas, que a su vez apunta a que los MP tienen distintos orígenes. No obstante, lo ideal también sería realizar ambas simulaciones en el mes en el cual se tomaron las muestras para el análisis de MP, esto con la finalidad de evaluar si hay diferencias entre ambos tipos de corrientes y el mes o temporada.

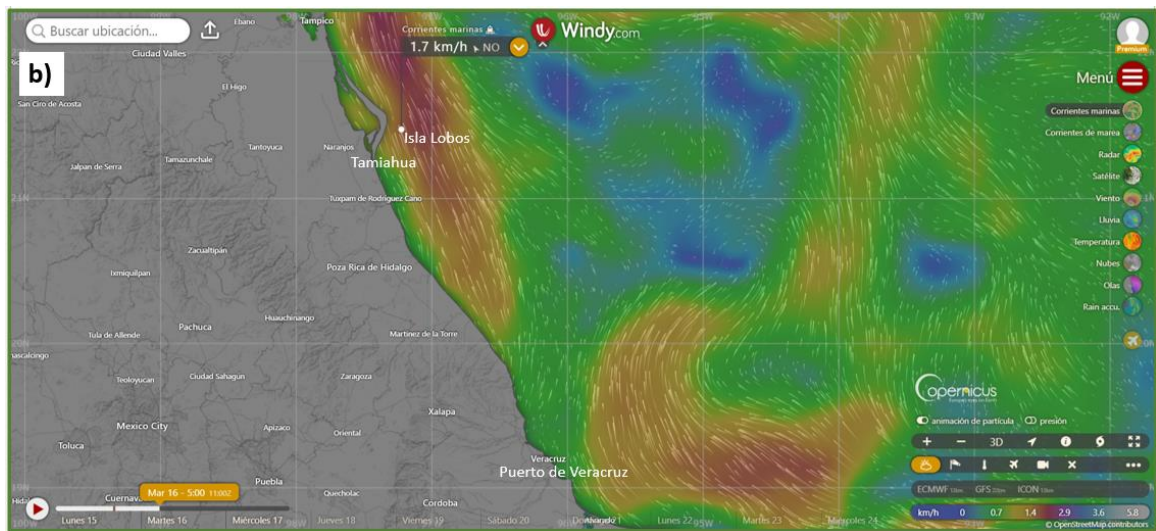
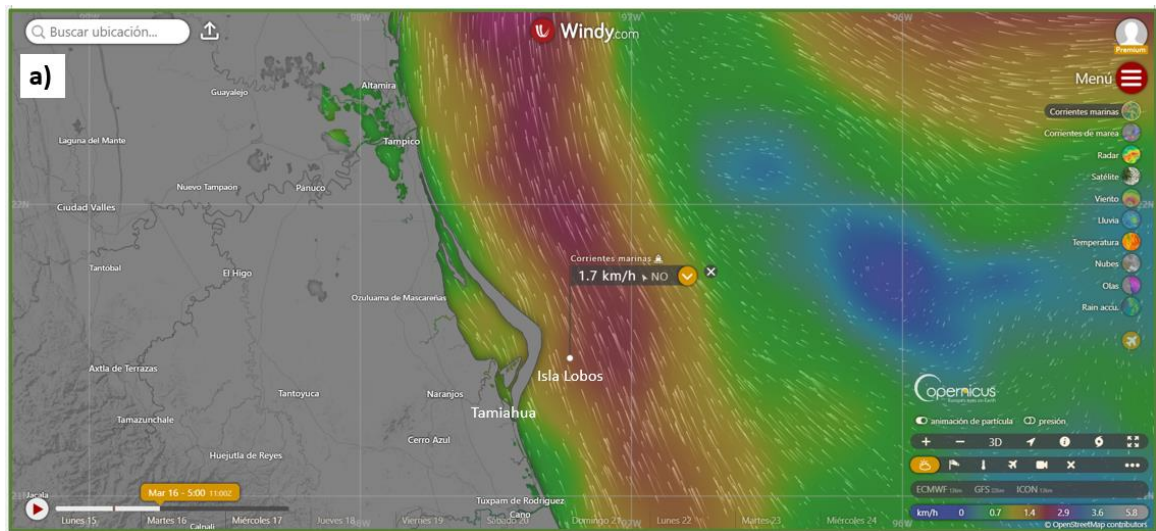


Figura 4.13. Ejemplo de simulación de corrientes marinas para Isla Lobos el martes 16 de marzo a las 05:00 horas: a) zoom cercano a la zona de Tamiahua e Isla Lobos y b) zona entre Tamiahua y el Puerto de Veracruz

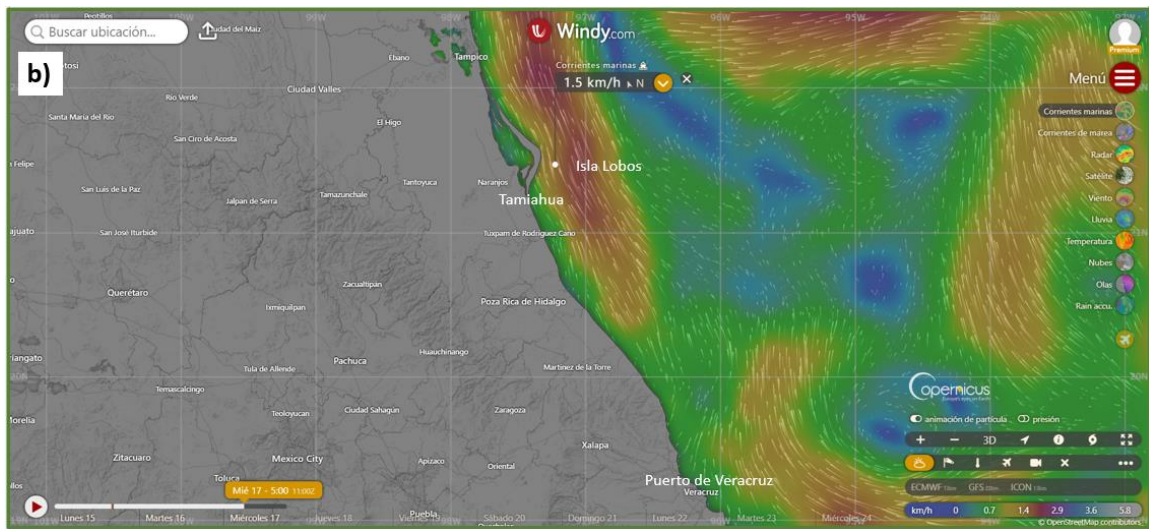
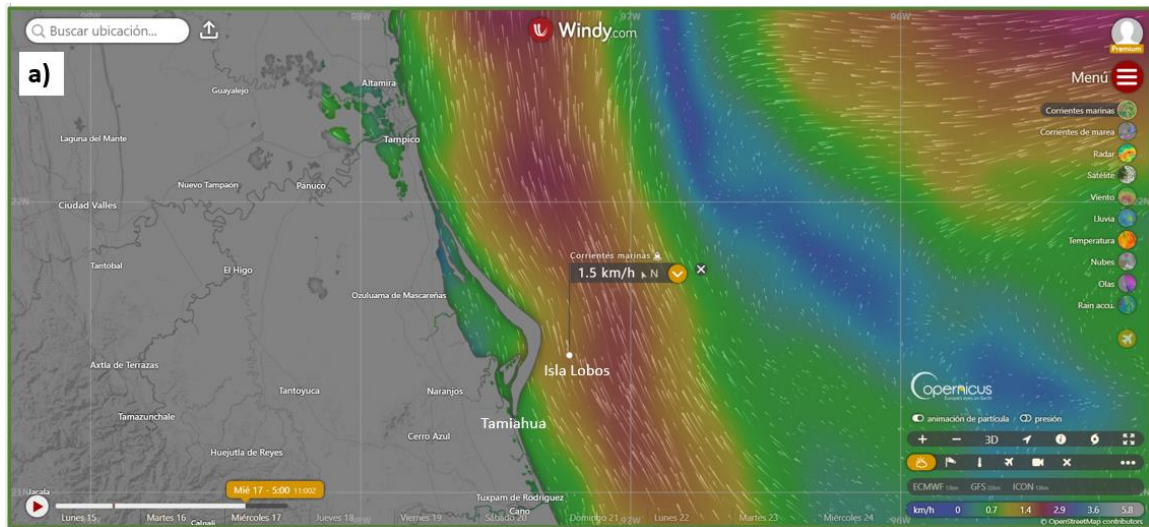


Figura 4.14. Ejemplo de simulación de corrientes marinas para Isla Lobos el miércoles 17 de marzo a las 17:00 horas: a) zoom cercano a la zona de Tamiahua e Isla Lobos y b) zona entre Tamiahua y el Puerto de Veracruz

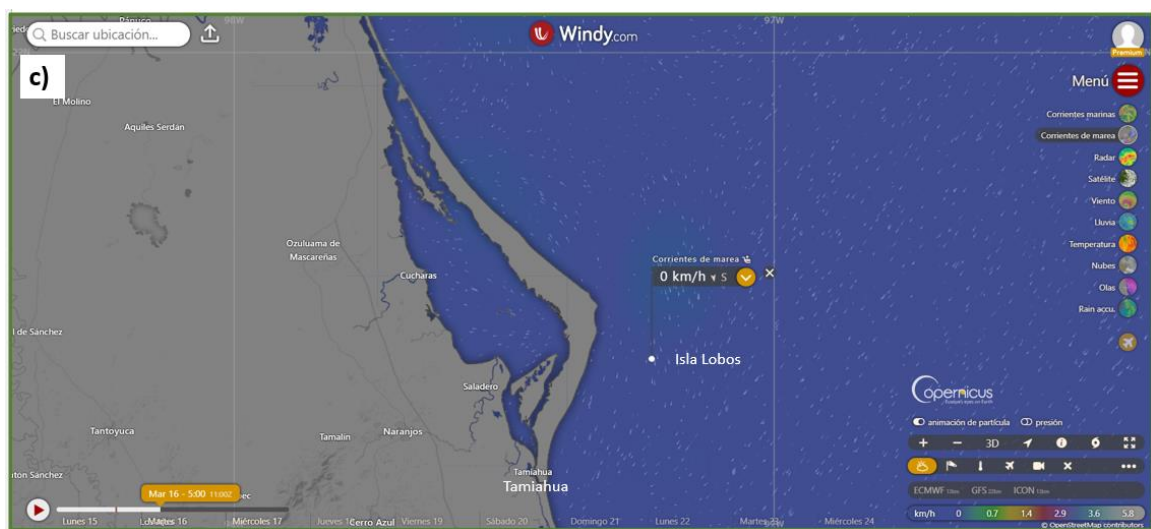
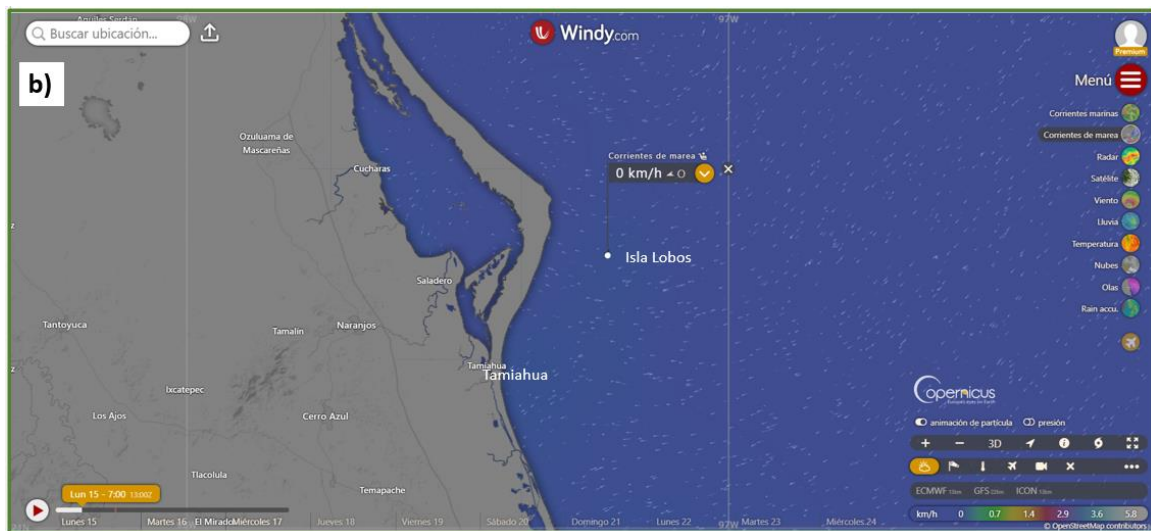
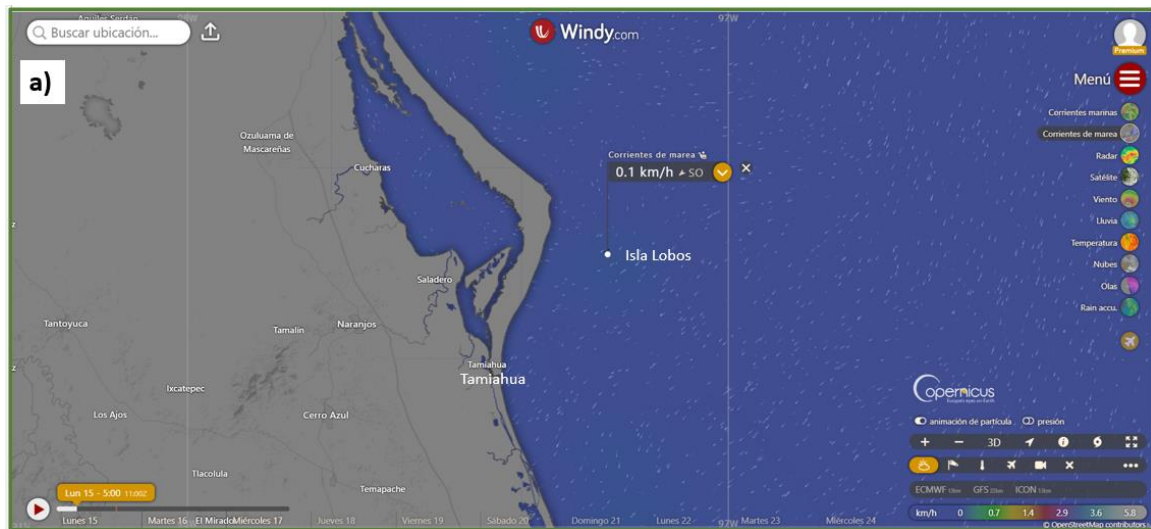


Figura 4.15. Ejemplo de simulación de corrientes de marea para Isla Lobos: a) lunes 15 de abril 05:00 horas, b) lunes 15 de abril 07:00 horas y martes 15 de abril 05:00 horas

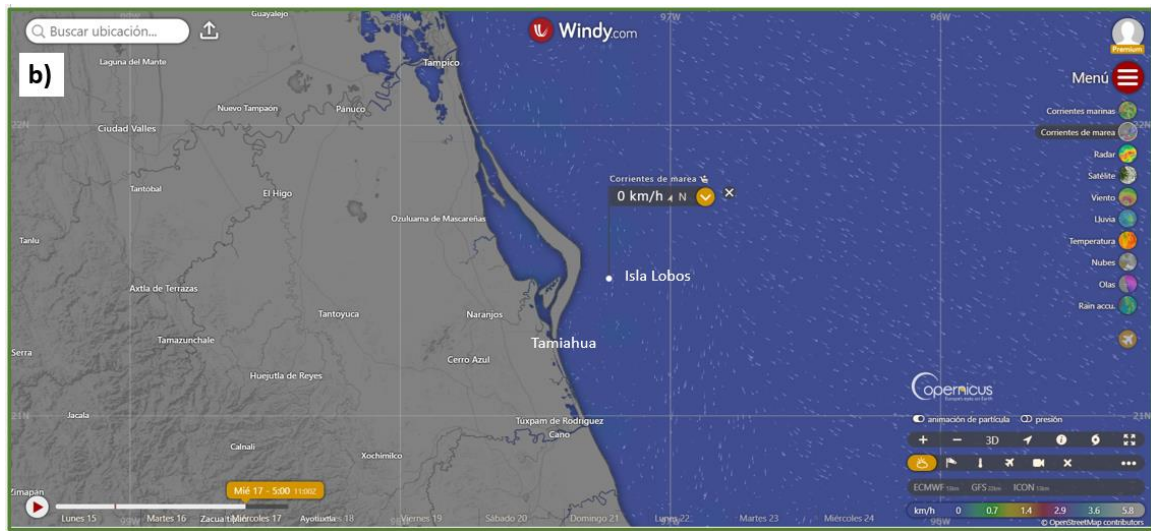
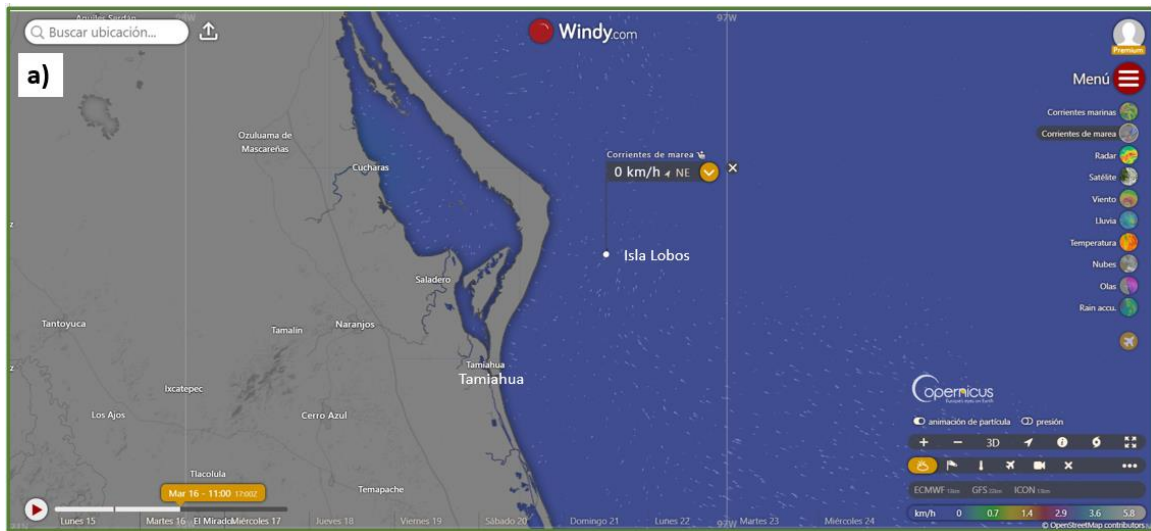


Figura 4.16. Ejemplo de simulación de corrientes de marea para Isla Lobos: a) martes 16 de abril 11:00 horas y b) miércoles 17 de abril 05:00 horas

Con base en lo encontrado en las simulaciones de la dirección de las corrientes marinas y de marea se tiene que las fuentes potenciales de generación de microplásticos pueden venir de la zona portuaria, las instalaciones de PEMEX y una planta de tratamiento de aguas residuales, todas ubicadas en el Puerto de Veracruz (Figura 4.17). Estas se encuentran a un radio de distancia de aproximadamente 269 km, de la Isla Lobos. Por otro lado, entre otras posibles fuentes potenciales se encuentran la termoeléctrica “Adolfo López Mateos” y la

zona portuaria de Tuxpan, así como la localidad aledaña a la Isla Lobos (Figura 4.17). En este caso el radio de distancia al que se encuentran del sitio de estudio es de 37 km.

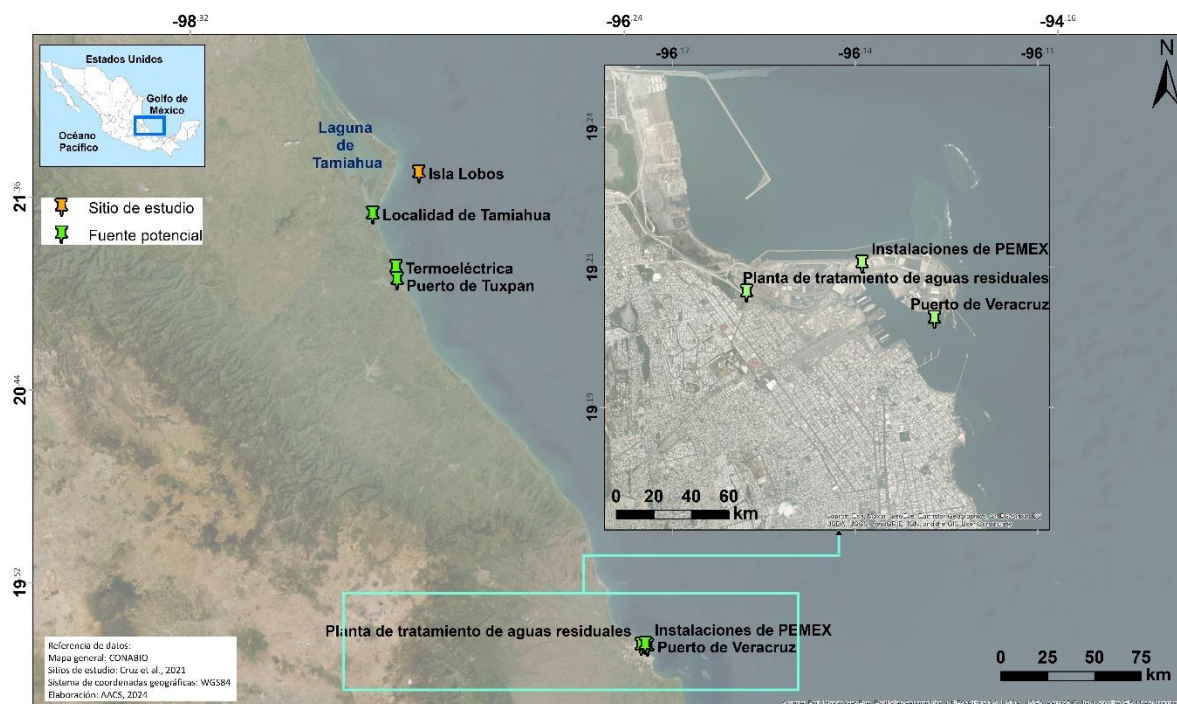


Figura 4.17. Ubicación del sitio de estudio y fuentes potenciales de microplásticos

- **Comparación de resultados con otros estudios**

En las Tablas 4.13 y 4.14 se muestran resultados de cinco investigaciones, además del presente estudio, sobre la presencia de microplásticos en diferentes matrices de islas localizadas en ANP de tipo marino y/o costero. Se aprecia que dos estudios son de países localizados en Europa, dos estudios de países asiáticos y dos investigaciones de países del continente americano. En cuanto a los tipos de ANP, gran parte de ellas son Parques Nacionales (cuatro estudios) y el resto áreas de protección de Flora y Fauna. Sin embargo, hay que tener presente que las categorías de ANP van a depender de lo que en cada país se haya establecido y no necesariamente siempre van a coincidir.

Respecto a las concentraciones por matriz ambiental, se aprecia que para agua superficial las medias encontradas en este estudio (2.3 MP/m^3) son mayores que las reportadas en el estudio de la Isla de Giglio, Italia (0.118 MP/m^3), pero menores que en la Isla Cerdeña ($20,000 \text{ MP/m}^3$), y la Isla de Paloma (15 MP/m^3). En los sedimentos del fondo, lo obtenido

en esta investigación es menor (50.7 MP/kg_{sh}) que lo reportado para Isla de Paloma y Ussangoda en Sri Lanka (media de 500 MP/kg), pero a su vez mayor que lo encontrado en Isla Cerdeña, en Italia (17.2 MP/kg).

Las investigaciones realizadas en sedimentos de playas únicamente son dos, sin embargo, solo es posible hacer la comparación de las concentraciones de MP entre este estudio (media de 21 MP/kg_{ss}) y una de las dos investigaciones, la correspondiente a las islas Pulau Harapan y Palau Pramuka, en Indonesia (media de 50 MP/kg), porque son las que se reportan en las mismas unidades. En ambos trabajos las concentraciones se encuentran en el mismo orden de magnitud, pero las de las islas Pulau Harapan y Palau Pramuka son lo doble de lo encontrado en isla Lobos. Para la biota, sólo un estudio analizó muestras de peces al igual que esta investigación, no obstante, evaluaron otras especies y las concentraciones no las reportaron por tipo de órganos sino por espécimen lo cual dificulta la comparación.

Por otro lado, las características de los MP que más se reportan en los estudios comprenden PE (intervalo de 27 a 65 %), del tipo fragmentos (intervalo de 33 – 89 %) y tamaños variables que incluyen tanto MP pequeños (menores a 1 mm) como grandes (intervalo 1.0 – 5.0 mm). De estas características, solo el tipo de MP coincide con lo encontrado en todas las matrices de este estudio, pues no fue posible su determinación del tipo de polímero. Es importante tener en cuenta que las características de los MP no necesariamente tienen que ser las mismas, ya que dependen de diferentes aspectos, tales como, las metodologías de muestreo, de detección en laboratorio, así como las posibles fuentes.

Tabla 4.13. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de islas localizadas en áreas marinas protegidas

Lugar	Compartimento ambiental	Matriz	Concentraciones	Polímero de MP más frecuente	Forma de MP más común	Tamaño recurrente (mm)	Posibles fuentes	Referencias
Isla de Giglio, Italia (Mar Tirreno del Norte) ¹	Mar	Agua superficial	0.048 – 0.195 MP/m ³ ; 0.118 MP/m ³ (media)	PE (65 %) PP (25 %)	Fragmentos (89 %) y películas (7 %)	1.0 – 3.0 (50 %) 0.33 – 1.0 (23 %)	Alta afluencia turística que trae consigo un mayor uso de ropa sintética y trajes de baño, bolsas y embalajes. Depósito por corrientes marinas	(Pittura et al., 2022)
	Biota: peces	NA	0.0 – 3.2 MP/espécimen; 1.6 MP/espécimen (media)	PE (33 %)	Fragmentos (53 %) y películas (28 %)	0.01 – 0.2 (67 %)		
Isla Cerdeña, Italia (cueva de Bue Marino) ²	Mar	Sedimentos del fondo	10 - 27 MP/kg; 17.2 MP/kg (media)	Espumas de PS (18 %), películas de PP (9 %) y fragmentos: PE y PVC (27 % cada uno) ³	Fragmentos (44 %)	1.0 – 2.5 (51 %) 0.1 – 0.5 (32 %)	Elevada afluencia turística y transporte de residuos plásticos a través del mar	(Romano et al., 2023)
	Mar	Agua superficial	18,000 – 22,000 MP/m ³ ; 20,000 MP/m ³ (media)		Fragmentos (51 %)	0.1 – 0.5 (70 %)		
Isla de Paloma y Ussangoda, Sri Lanka ⁴	Arrecifes de coral	Agua superficial	15 MP/m ³ (media)	PEBD	Fibras	MP grandes de 1.0 – 5.0	Actividades turísticas, incluidos los desechos de hoteles y residencias, y pesqueras	(Hansani et al., 2023)
	Arrecifes de coral	Corales	73 MP/kg (media)					
	Arrecifes de coral	Sedimentos del fondo	~500 MP/kg (media)					
Islas Pulau Harapan y Palau Pramuka, Indonesia ⁵	Playa	Sedimentos	~50 MP/kg (media)	PE	Fragmentos (33 %)	0.5 – 1.0 (44 %)	Fuentes terrestres, corrientes oceánicas, turismo marino y pesca	(Cordova et al., 2024)
Isla Holbox, México ⁶	Playa	Sedimentos	49 MP/m ² (media)	ND	Fragmentos (63 %)	1.0 – 2.0 (34 %)	Tiradero municipal de residuos, corrientes marinas y cruceros	(Cruz-Salas et al., 2022)

1 = forma parte del Parque Nacional del Archipiélago Toscano, NA = no aplica, 2 = pertenece al Parque Nacional Golfo de Orosei, 3 = no se hace distinción por matriz ambiental, sino por forma, PE = polietileno, PP = polipropileno, PVC = policloruro de vinilo, 4 = ambos sitios son Parques Nacionales, PEBD = polietileno de baja densidad, 5 = pertenece Parque Nacional Kepulauan Seribu, ND = información no disponible, 6 = forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam

Tabla 4.14. Estudios sobre la presencia de microplásticos en algunas matrices de islas localizadas en áreas marinas protegidas. Continuación de la Tabla 4.13

Lugar	Compartimento ambiental	Matriz	Concentraciones	Polímero de MP más frecuente	Forma de MP más común	Tamaño recurrente (mm)	Posibles fuentes	Referencias
Isla Lobos, México ⁷	Playa	Sedimentos	0.0 – 154.15 MP/kg _{ss} ; 21 MP/kg _{ss} (media)	ND	Fibras (78 %)	0.058 – 5.00 ⁸	Descarga de aguas residuales domésticas, transporte de corrientes marinas, residuos generados por los prestadores de servicios turísticos, usuarios, pescadores y la partida de marinos	Esta investigación
	Mar	Agua superficial	0.86 – 5.54 MP/m ³ ; 2.3 MP/m ³ (media)	ND	Fibras (99 %)	0.002 – 0.94 ⁸		
	Mar	Sedimentos del fondo	6.83 – 89.42 MP/kg _{sh} ; 50.7 MP/kg _{sh} (media)	ND	Fibras (96 %)	0.066 – 1.285 ⁸		
	Biota: peces	NA	Órganos interiores: 0.0 – 99.15 MP/g _{mh} ; 9.92 MP/g _{mh} (media) Branquias: 0.0 – 108.07 MP/g _{mh} ; 27.9 MP/g _{mh} (media)	ND	Fibras (75 %)	0.030 – 1.405 ⁸		

7 = forma parte del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, NA = no aplica, ND = no disponible, ss = sólido seco, sh = sólido húmedo, mh = masa húmeda, 8 = intervalo de tamaño sólo de las formas más comunes

4.3.2 Residuos sólidos

En todas las zonas estudiadas se encontraron tanto macrorresiduos como fragmentos (Tabla 4.14). El mayor número de piezas correspondió a la zona 1 “terraplén” con un total de 412 piezas de las cuales 295 piezas eran macrorresiduos y 117 piezas eran fragmentos, mientras que la zona con menor número de piezas fue la zona 4 “contigua a la zona de uso público” con 28 piezas en total (16 piezas de macrorresiduos y 12 piezas de fragmentos).

Sin embargo, analizando los resultados en términos de piezas/m², las mayores concentraciones de macrorresiduos y fragmentos se encontraron en las zonas 1 y 2: “terraplén” y “alimentación de tortugas” con 1.15 piezas/m² y 1.03 piezas/m², respectivamente. Las zonas con las concentraciones más bajas de ambos residuos fueron para las zonas 5 y 4: “contigua al helipuerto” y “contigua a la zona de uso público” cuya concentración de macrorresiduos y fragmentos fue de 0.02 piezas/m² en ambos casos.

Tabla 4.15. Macrorresiduos y fragmentos por zona de estudio en Isla Lobos

Zona	Macrorresiduos (MR)		Fragmentos (FRAG)		MR + FRAG	
	Piezas	Piezas/m ²	Piezas	Piezas/m ²	Piezas	Piezas/m ²
1 - Terraplén	295	1.15	117	0.46	412	1.61
2 - Alimentación de tortugas	50	0.37	139	1.03	189	1.40
3 - Uso público	8	0.03	31	0.10	39	0.13
4 - Contigua a la zona de uso público	16	0.03	12	0.02	28	0.05
5 - Contigua al helipuerto	11	0.02	24	0.04	35	0.06
Total	380	1.60	323	1.65	703	3.25

En la Figura 4.18 se presentan fotografías de los residuos sólidos (macrorresiduos y fragmentos juntos) muestreados en cada una de las cinco zonas.



Figura 4.18. Residuos sólidos: a) y b) terraplén, c) alimentación de tortugas, d) uso público, e) contigua a la zona de uso público f) contigua al helipuerto

Por otro lado, en las Figuras 4.19 y 4.20 se muestran fotografías de otros residuos sólidos encontrados en la zona del terraplén y en la zona de playa.



Figura 4.19. Residuos sólidos encontrados en la zona del terraplén



Figura 4.20. Residuos sólidos encontrados en: a) y b) zona del terraplén y c), d) y e) zona de playa

- **Clasificación de los residuos sólidos urbanos**

En la Figura 4.21 se presenta la gráfica acumulada para la clasificación de macrorresiduos por zona de estudio. Se aprecia que de las nueve categorías, la más abundante fue plásticos rígidos y semirrígidos con una proporción promedio de 83.52 % (intervalo de 68.75 % en la zona contigua a la de uso público hasta 100 % en la zona de uso público), mientras que la de menor abundancia fué sanitarios con una media de 0.07 % (intervalo de 0.00 % en las zonas 2 a la 5 hasta 0.34 % en la zona de terraplén).

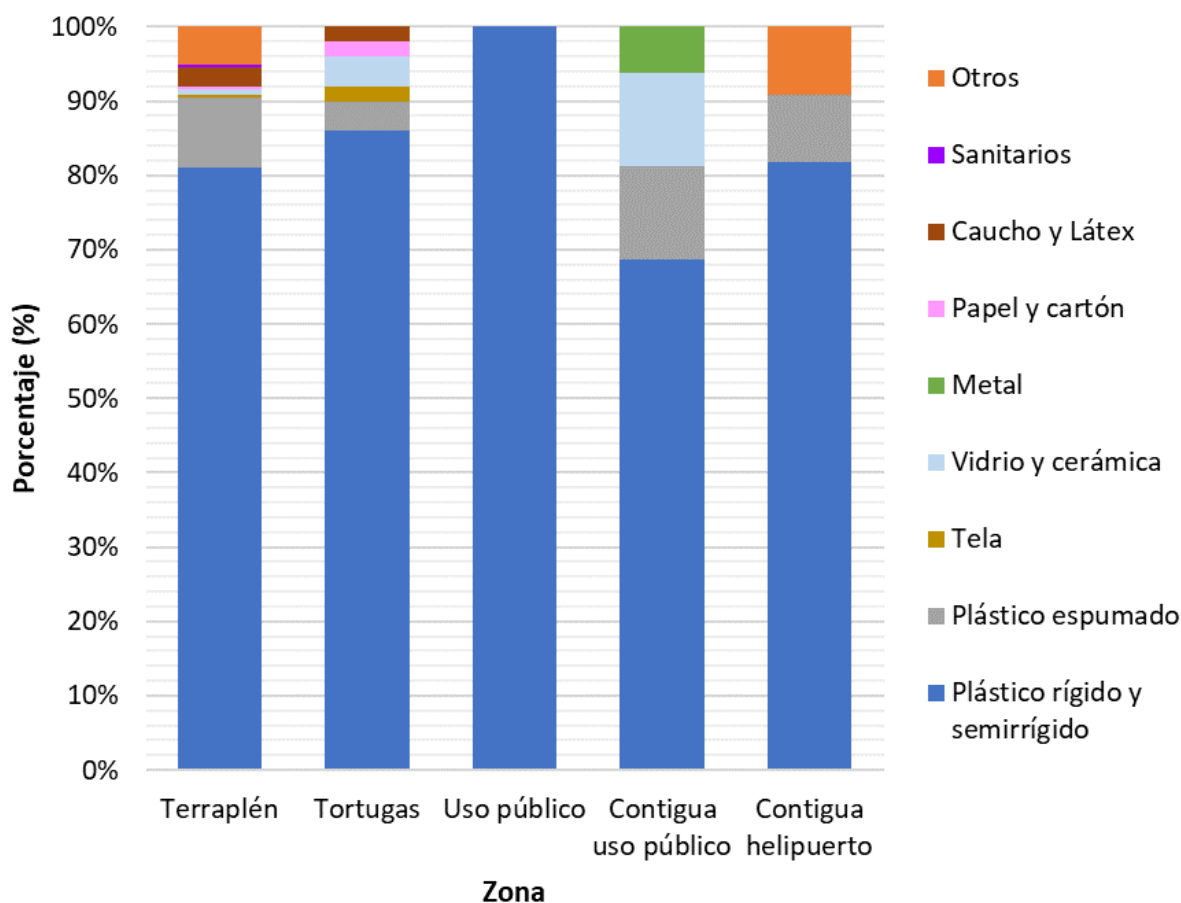


Figura 4.21. Categorías de macrorresiduos por zona de estudio (número de piezas)

En general, en los macrorresiduos existe una alta proporción de residuos plásticos los cuales además de comprender la categoría de mayor proporción también incluyen los plásticos espumados, el caucho y látex, todos ellos suman un porcentaje promedio de 91.48 %. A su vez, dentro de los residuos plásticos los tres tipos de residuos más encontrados fueron tapas de botellas o recipientes (33.84 %), botellas menores a 3 L (28.99 %) y línea de monofilamento (7.57 %).

En el caso de la zona 1 “terraplén” siempre que fue posible los envases plásticos también se clasificaron por tipo de producto y país de origen, esto se realizó porque en esta zona hubo una mayor presencia de contenedores plásticos y además por su ubicación se tenía la conjetura de que parte de lo aquí presente podía proceder de otros países. Los resultados arrojaron que de todos los envases el 47 % provenía de México, el 28 % de otros países,

principalmente de Haití (22 %), mientras que en el 25 % de los envases no se identificó el país. De todos los envases, el 78 % eran de bebidas (Figura 4.22).

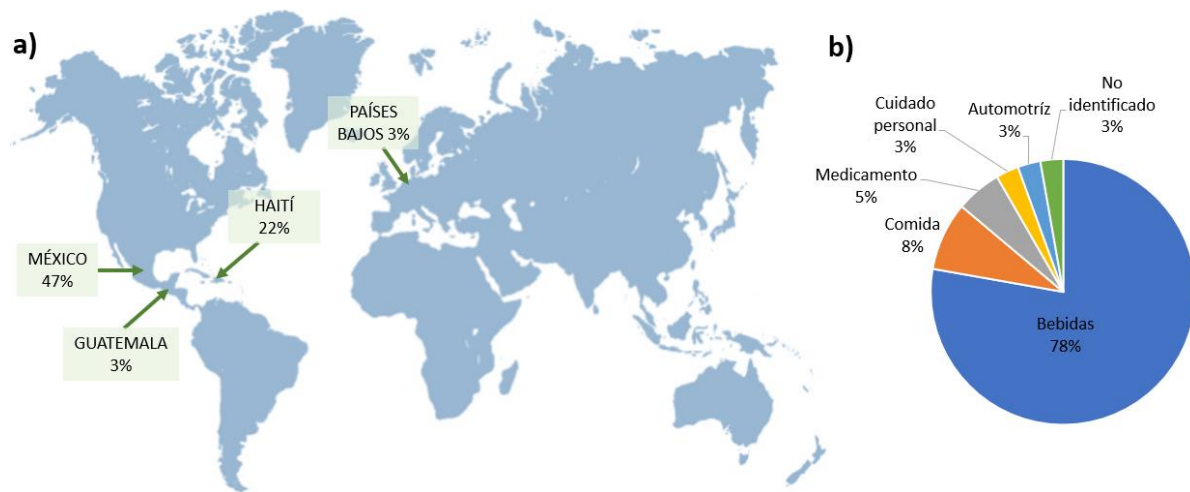


Figura 4.22. Clasificación de envases plásticos del terraplén: a) por país; b) por tipo de producto

En la Figura 4.23 se presenta la gráfica acumulada para la clasificación de fragmentos por zona de estudio, las dos categorías más abundantes fueron unícel (media de 44.78 %, mínimo de 12.95 % en la zona de alimentación de tortugas y un máximo de 60.68 % en la zona de terraplén) y plásticos rígidos y semirrígidos (media de 37.35%, mínimo de 23.08 % en la zona de terraplén y máximo de 71.22 % en la zona de alimentación de tortugas).

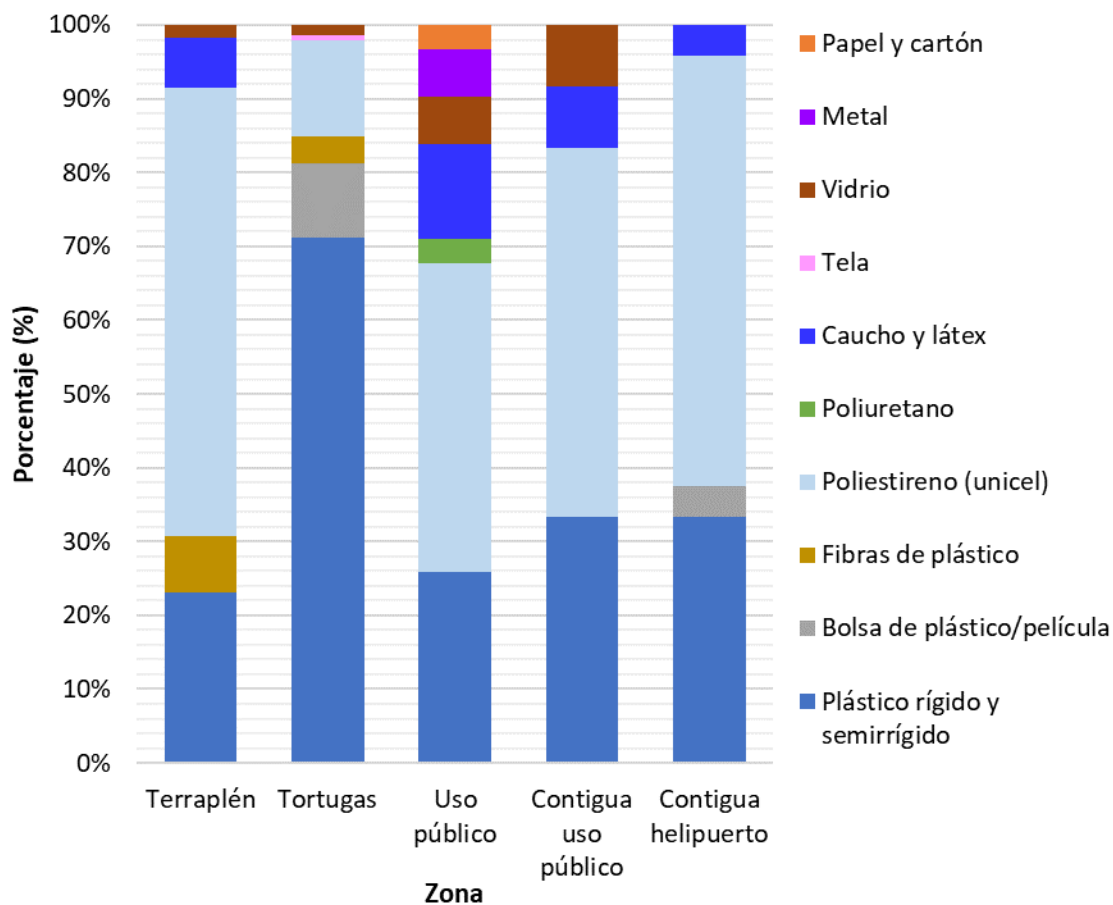


Figura 4.23. Categorías de fragmentos por zona de estudio (número de piezas)

Al igual que en el caso de los macrorresiduos, en los fragmentos también hay un alto contenido de plásticos, ya que la suma de todas las categorías que comprenden este tipo de residuos da una proporción promedio de 94.33 %. Esto indica que en general los residuos plásticos de mayor tamaño se están fragmentando en piezas más pequeñas las cuales, si siguen expuestas a la intemperie muy probablemente darán lugar a los microplásticos de tipo secundario.

Con base en lo anterior la presencia de residuos plásticos en la isla se asocia a diferentes fuentes dentro de las cuales están 1) *el transporte de residuos por parte de las corrientes marinas* hacia la costa, esto es principalmente para la zona del terraplén y en la zona de tortugas, ya que ambas son áreas que no están abiertas al público, además en el terraplén se encontró la mayor cantidad de residuos de los cuales el 28 % de los envases plásticos

eran de otros países; 2) *los residuos generados por el turismo y los prestadores de servicios*, especialmente para la zona 3 “uso público” en la cual se permiten las actividades turísticas y recreativas de bajo impacto. Aunque está prohibida la introducción de desechables en algunas ocasiones durante el trabajo de campo se observó el ingreso de éstos por parte de los turistas así como la falta de contenedores para su depósito y 3) *los residuos generados por el personal que habita la isla (marinos y el farero) y los pescadores*, ya que de igual manera durante el trabajo de campo se observó la quema de residuos en la isla.

- **Índice de contaminación**

En las Figuras 4.24 y 4.25 se presentan los mapas con la clasificación del índice de contaminación para MR y FRAG, por separado. Respecto a los MR, se observa que las zonas de playa 3, 4 y 5 correspondientes a “uso público”, “contigua a la zona de uso público” y “contigua al helipuerto”, respectivamente, se clasificaron como “muy limpias”, mientras que las zonas 1 y 2 referentes a “terraplén” y “alimentación de tortugas” se encontraron en la categoría de “muy sucias”. Por su parte en el IC de los FRAG se aprecia que la tendencia es parecida a la que siguen los MR, excepto para la zona 3 de playa “uso público” la cual pasó de “muy limpia” a “limpia”.

El mapa de la clasificación del índice de contaminación de macrorresiduos más fragmentos (MR + FRAG) se muestra en la Figura 4.26. Las zonas de playa 1 y 2 se mantuvieron en el mismo nivel que en los índices de contaminación por separado, correspondiente a “muy sucia”, lo mismo ocurrió para la zona 4 con la clasificación “muy limpia” la cuál fue la misma para los ICs por separado. Las zonas 3 y 5 “uso público” y “contigua al helipuerto”, respectivamente, si mostraron diferencias, ya que al estar ambas en la categoría “muy limpia” en el IC de macrorresiduos, pasaron a “moderada” y “limpia”, respectivamente. Esto indica que los fragmentos si impactan en los niveles de contaminación, sin embargo, en la mayoría de las campañas de limpieza de playas no se recolectan debido a su tamaño pequeño y al esfuerzo que conlleva el recogerlos, esto implica que generalmente haya una subestimación de los resultados.

En el Anexo 3 se presenta una tabla con los resultados numéricos de los índices de contaminación para MR, FRAG y MR + FRAG y por zona de muestreo.

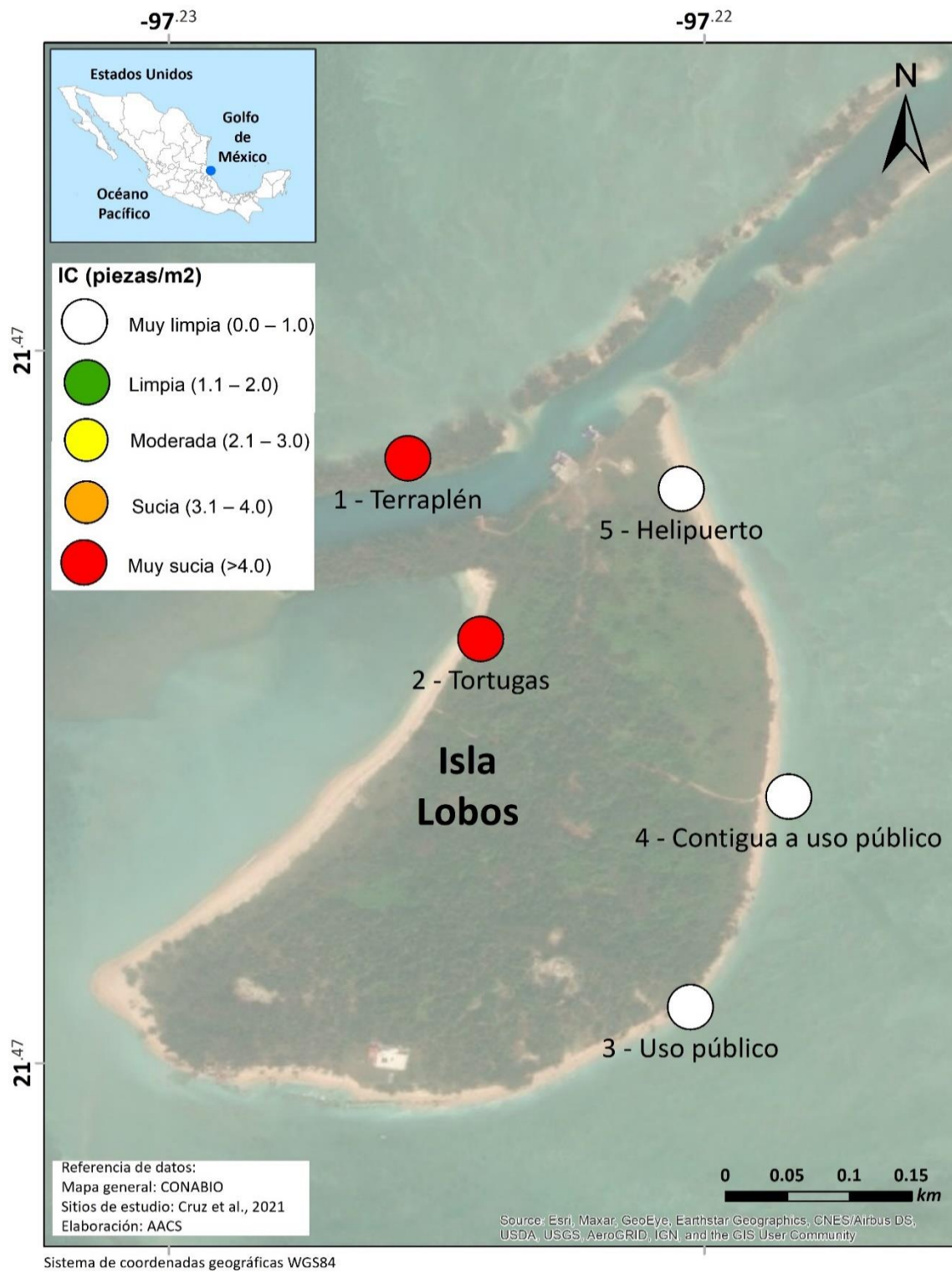


Figura 4.24. Índices de contaminación de macrorresiduos por zona de estudio

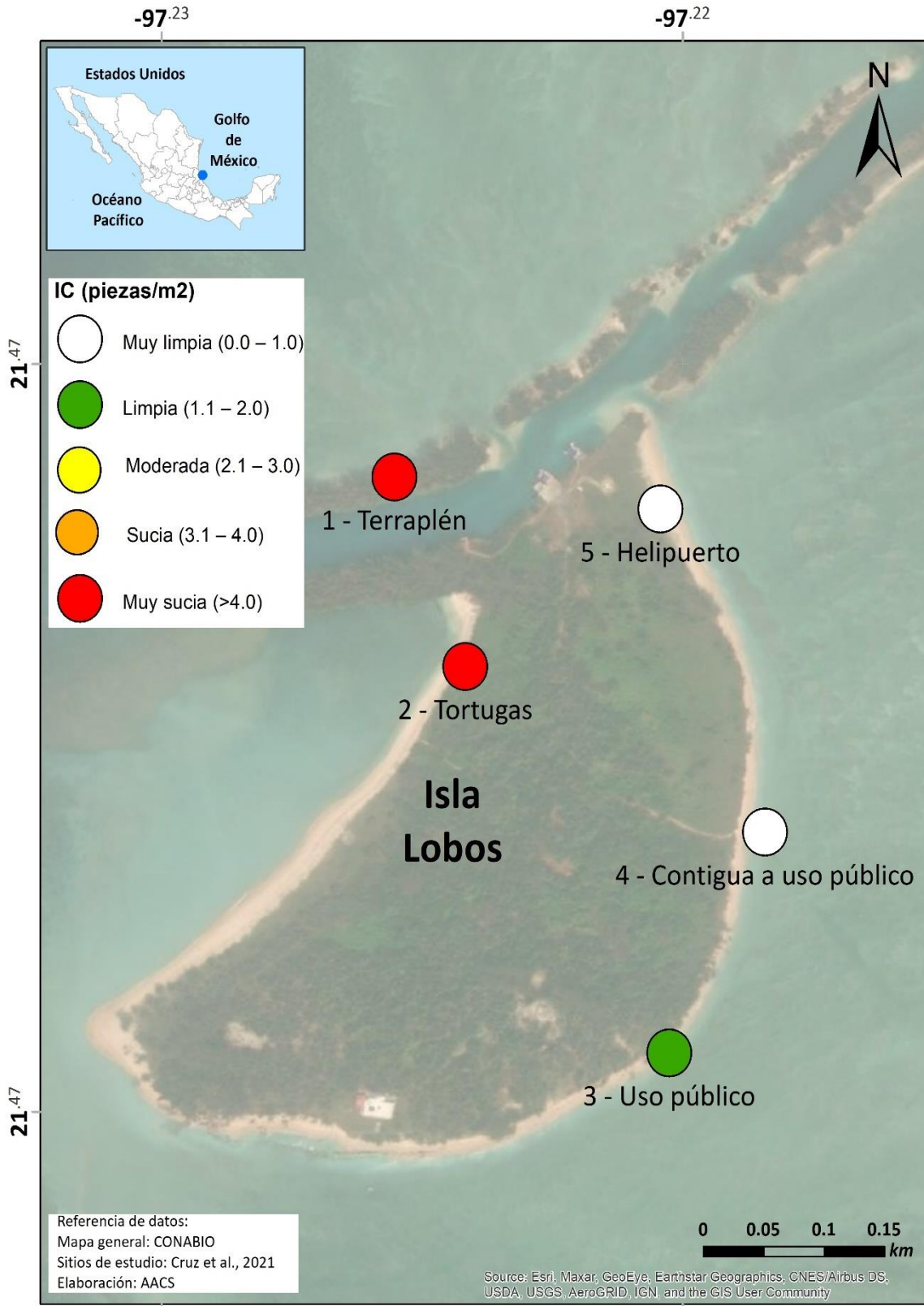


Figura 4.25. Índices de contaminación de fragmentos por zona de estudio

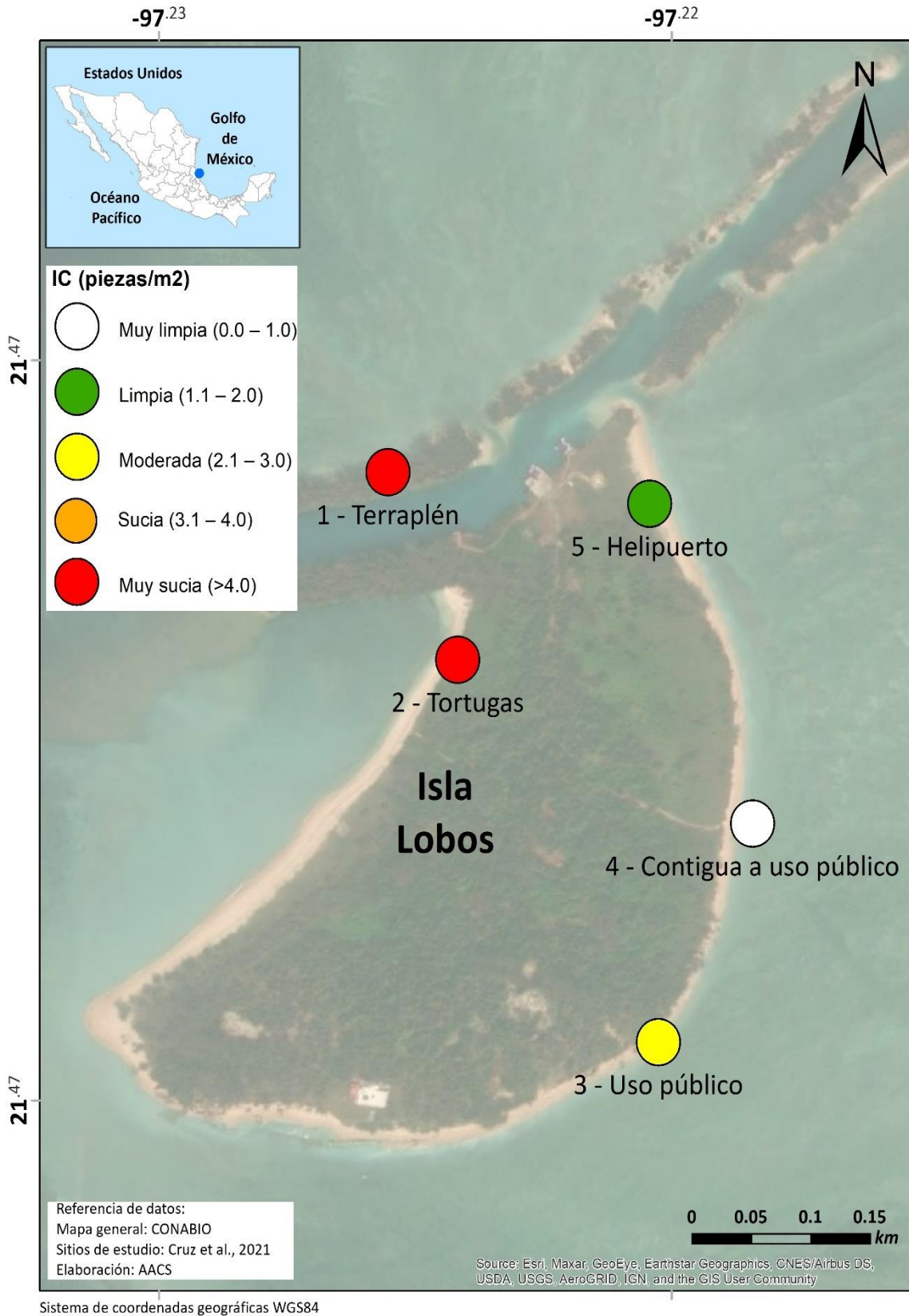


Figura 4.26. Índices de contaminación de residuos más fragmentos por zona de estudio

- **Análisis de la concentración de residuos sólidos**

La Tabla 4.16 presenta resultados de cinco estudios, además del presente, que también investigaron la ocurrencia de residuos sólidos en islas localizadas en áreas naturales protegidas (ANP). Se observa que estos trabajos son de países localizados en el continente americano y europeo y que cada uno de ellos comúnmente contempla una isla, excepto el trabajo realizado por Portz et al. (2021) donde se estudiaron dos islas. Los tipos de ANP a los que pertenecen las islas son variados, ya que depende de las categorías que se hayan definido en cada país, sin embargo, es importante resaltar que en la isla Fernando de Noronha, estudiada por Grillo & Mello (2021), se encuentran dos ANP y que en la isla de Faial (isla Azores) se localiza un Parque Natural el cual está subdividido en otras 13 áreas protegidas (Pieper et al., 2021). Al igual que los tipos de ANP, el número de playas seleccionadas en cada investigación es variable, ya que va desde dos (islas de Faial y de Asinara) hasta 21 (isla Providencia).

En lo que respecta a los tipos residuos estudiados, ningún trabajo hace la diferencia entre macrorresiduos y fragmentos como la presente investigación: Grillo & Mello (2021) contempla a los macrorresiduos; Portz et al. (2021) especifica que su investigación de residuos incluye a los fragmentos, pero no los clasifica por separado; Jones et al. (2021) sólo se enfoca a macroplásticos mayores a >5 mm, que al comparar con lo establecido en esta investigación, también contempla a los fragmentos de plástico; Pieper et al. (2021) incluye meso y macrorresiduos y Corbau et al. (2022) indica que sólo los analiza residuos.

La concentración media (0.65 piezas/m²) de la presente investigación es similar a la de dos estudios, excepto para las islas Providencia (1 piezas/m²) y San Cristobal (0.11 piezas/m²), en el primer caso es mayor y en el segundo es menor. Para la isla Fernando de Noronha no es posible hacer la comparación entre los estudios debido a que los resultados están expresados en diferentes unidades (masa/área = g/m²). En cuando al material más común, cuatro estudios, al igual que Isla Lobos indican que los plásticos fueron los más comunes, sin embargo sólo en la Isla de Faial se incluye el porcentaje (95 %) el cual es similar al de Isla Lobos (93 %). Los tipos de residuos más comunes en tres estudios (islas Providencia y

Santa Catalina, San Cristobal y de Faial) son los fragmentos de plástico que de igual manera concide con lo encontrado en isla Lobos.

Finalmente, las fuentes de residuos que cada estudio identificó son variadas, ya que depende de diferentes factores, tales como la ubicación de la zona de muestreo, sus características, temporada del muestreo, aspectos ambientales, por mencionar algunos.

Con base en lo antes analizado se infiere que, si bien en los estudios presentados hay diferencias en la clasificación de macrorresiduos y fragmentos y en las unidades de concentración, en el APMC Isla lobos la contaminación por residuos sólidos incluidos los plásticos es evidente al igual que en las APMC de otros países. Esta situación representa un problema ambiental que no solo requiere de identificar y hacer frente a las fuentes locales sino también a lo que ocurre en otras partes del mundo y que a la larga impacta a diferentes regiones. La contaminación plástica en la Isla Lobos vuelve a esta APMC más frágil y si antes se consideraban un sitio seguro para el hábitat y conservación de las diferentes especies, hoy en día eso está en duda.

Tabla 4.16. Estudios sobre la presencia de residuos en islas localizadas en áreas marinas protegidas

País	Islas	Tipo de área natural protegida	Número de playas	Clasificación	Concentración de residuos	Material más común	Tipos de residuos más comunes	Posibles fuentes	Referencia
Brasil	Fernando de Noronha	Área de Protección Ambiental de usos múltiples y Parque Nacional Marino	Cuatro playas y dos plataformas costeras	Macrorresiduos (> 2.5 cm)	0.496 g/m ² (media)	Plásticos	Tapas de botellas, colillas de cigarrillos y plásticos desechables	Transporte de desechos marinos por corrientes oceánicas y vientos (barlovento) y residuos generados localmente por los usuarios (sotavento)	(Grillo & Mello, 2021)
Colombia	Providencia y Santa Catalina	Reserva de la Biósfera	23 playas (21 en Providencia y dos en Santa Catalina)	Residuos incluidos fragmentos	Providencia: 1 piezas/m ² y Santa Catalina: 0.1-16.17 piezas/m ²	Plásticos	Fragmentos de plástico	Playas turísticas: actividades recreativas en playas o áreas cercanas (33%); playas de grava: tiraderos a cielo abierto y actividades recreativas (35.4%); playas no turísticas: actividades oceánicas (pesca)	(Portz et al., 2021)
Ecuador	San Cristobal (forma parte de las islas Galápagos)	Reserva Marina	17 playas (siete turísticas y 10 remotas)	Macroplásticos (> 5 mm)	0-6 piezas/m ² (media: 0.11 piezas/m ²)	No aplica	Fragmentos de plástico rígido (49%), tapas (20%) y cuerdas (9%)	Actividades marítimas (10%) y actividades turísticas locales (2%)	(Jones et al., 2021)
Portugal	De Faial (Azores)	Parque Natural comprendido a su vez por 13 áreas protegidas	Dos playas	Mesoresiduos (2.0-2.5 cm) y macrorresiduos (> 2.5 cm-30 cm)	0.2-1.1 piezas/m ² (media: 0.6 piezas/m ²)	Plásticos (95%)	Fragmentos de plástico (70%), cuerdas/pequeñas piezas de red, tapas de botellas o contenedores de plástico	Fuentes de larga distancia y fuentes relacionadas con la localidad	(Pieper et al., 2021)
Italia	De Asinara	Parque Nacional	Dos playas	Residuos (2.5-50 cm)	0.09-2.82 piezas/m ² (media: 0.86 piezas/m ²)	Plásticos	No especificado	Gestión inadecuada de residuos, turismo, actividades recreativas y pesqueras locales	(Corbau et al., 2022)
México	Lobos	Área de Protección de Flora y Fauna	Cuatro zonas de playa y 1 zona de terraplén	Macrorresiduos y fragmentos	0.05-1.61 piezas/m ² (media: 0.65 piezas/m ²)	Plásticos (93%)	Fragmentos de unice! (24%), fragmentos de plástico rígido y semirrígido (23%) y tapas de botellas o recipientes (14%)	Transporte de residuos por las corrientes marinas y fuentes locales (turismo, prestadores de servicios y personal que habita la isla)	Esta investigación

4.4 Inconsistencias de la operatividad del programa de manejo del área natural protegida

En la Tabla 4.17 se presentan las regulaciones señaladas el programa de manejo en la cuales hubo inconsistencias con base en lo observado durante el trabajo de campo. Para fines de un mejor manejo de la información se definieron las siglas ACP y ACNP que hace referencia a actividades permitidas y actividades no permitidas, respectivamente.

Tabla 4.17. Inconsistencias identificadas en la operatividad del plan de manejo de la Isla Lobos

Aspecto del programa de manejo	Observación en campo
<p>ACNP en subzonas de preservación y uso público (arrecife e isla Lobos). Arrojar, verter o descargar cualquier tipo de desechos orgánicos e inorgánicos, residuos sólidos o líquidos, o cualquier otro tipo de contaminante.</p> <p>Regla 20. Los visitantes deberán cumplir con las Reglas contenidas en el presente instrumento y tendrán las siguientes obligaciones:</p> <p>III. Deberán llevar consigo los residuos sólidos generados durante el desarrollo de sus actividades.</p>	<p>Turistas provenientes de diferentes agencias turísticas arrojaban a la arena de playa residuos sólidos provenientes del consumo de alimentos. Parte de esos alimentos fueron expedidos por las agencias de turismo y otros fueron introducidos por los mismos turistas.</p> <p>Se observó presencia de botellas de vidrio provenientes del consumo de bebidas alcohólicas (Figura 4.27a) en la zona del terraplén a la cual generalmente tienen acceso los pescadores y la partida de marinos que habita la isla.</p>
<p>ACP en subzona de aprovechamiento especial (isla Lobos). Mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura existente.</p> <p>Regla 39. Cuando haya terminado la vida útil de dicha infraestructura, se permitirán aquellas obras necesarias para las etapas de cierre y abandono de la misma, debiendo cuidarse en todo momento que no se generen residuos o desechos que puedan generar desequilibrios ecológicos o causar impactos ambientales en las formaciones arrecifales y demás elementos naturales existentes en el Área Natural Protegida.</p>	<p>Existe una casa de PEMEX (Figura 4.27b) que, aunque actualmente se encuentra abandonada está deteriorada debido a que no se le da mantenimiento. Por lo anterior y debido a que la zona es susceptible a eventos de alta energía, existe una alta probabilidad de que en algún momento se derrumbe y se convierta en residuos de construcción y demolición los cuales se catalogan como residuos de manejo especial (RME) con base en la legislación mexicana (DOF, 2023b)</p>
<p>ACNP en subzona de preservación (la isla Lobos). Encender fogatas o usar antorchas.</p> <p>Regla 4. Los visitantes, prestadores de servicios turísticos y usuarios del Área Natural Protegida, deberán cumplir, en su caso, con las presentes Reglas Administrativas, y tendrán las siguientes obligaciones:</p> <p>VII. Durante su estancia en el Área Natural Protegida deberán llevar consigo el equipo y utensilios necesarios para calentar sus alimentos, siempre que, para ello, no se requiera encender fogatas o la utilización de carbón, madera, hojas, o cualquier otro elemento natural que pueda obtenerse del Área Natural Protegida.</p>	<p>Se observó presencia de restos de leña quemada, utensilios de cocina (ollas) y acomodo de piedras para la conformación de fogatas en la zona del terraplén (Figuras 4.27c y 4.27d) la cual, con base en comentarios hechos por la CONANP, es usada principalmente por los pescadores.</p>



Figura 4.27. Fotografías de inconsistencias en Isla Lobos: a) botellas de vidrio en la zona del terraplén, b) casa de PEMEX abandonada, c) restos de fogata y ollas en la zona del terraplén y d) acomodo de piedras, leña y varillas para la conformación de una fogata en la zona del terraplén

Por otro lado, en las Tablas 4.18 y 4.19 se presentan una serie de aspectos observados en campo, sobre el manejo del ANP, cabe mencionar que estos no están señalados en el programa de manejo, pero se consideran relevantes para ser incluidos en un futuro.

Tabla 4.18. Aspectos relevantes por considerar en el programa de manejo de la Isla Lobos

Aspecto	Explicación
Prohibición de plásticos de un solo uso (PUSU) al turismo y prestadores de servicios	El programa de manejo especifica en su regla 20 que los visitantes deberán llevarse todos los residuos que generen durante el desarrollo de sus actividades. No obstante, se considera que una muy buena medida sería que además de eso se prohibiera el ingreso de PUSU tanto por parte de los turistas y los prestadores de servicios, ya que estos últimos generalmente incluyen alimentos y bebidas en los paquetes de los tours que ofertan.

Tabla 4.19. Aspectos relevantes por considerar en el programa de manejo de la Isla Lobos. Continuación de la Tabla 4.18

Aspecto	Explicación
<p>Empleo de las cuotas cubiertas por visitantes, prestadores de servicios turísticos y usuarios del ANP, para el manejo de RSU en la isla</p>	<p>En el programa de manejo está establecido que los visitantes, prestadores de servicios turísticos y usuarios del ANP deben de pagar una cuota con base en la Ley Federal de Derechos. Si bien en la Ley, en el artículo 198 especifica que los ingresos obtenidos de los visitantes y usuarios del ANP se destinarán a la CONANP, para el manejo sustentable de las ANPs (DOF, 2023a), en el programa de manejo del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan no se incluye información al respecto. Por lo anterior es que se recomienda que se considere que parte de estos ingresos se utilicen para el manejo de RSU del ANP, ya que es inevitable que estos lleguen mediante las corrientes marinas.</p>
<p>Diseño de un plan de manejo sobre residuos generados en casos de eventos de alta energía y/o desastres naturales</p>	<p>Como se mencionó anteriormente, los residuos presentes en la zona del terraplén provienen principalmente de lo que depositan las corrientes marinas lo cual puede incrementarse en temporada de tormentas, huracanes y ciclones. Sin embargo, no se contempla algún plan de acción o plan de manejo de los residuos provenientes de estos fenómenos. Es indispensable establecer de qué manera se van a manejar, de tal modo que cuándo ocurran este tipo de situaciones se actúe de inmediato y se evite que los residuos se sigan propagando por los entornos marinos y costeros. Se propone involucrar al gobierno municipal, estatal y federal, a la población, a las organizaciones no gubernamentales, entre otros actores clave relevantes, y basarse de lo que ya establece la Guía de manejo de residuos de desastres, un documento internacional (UNEP & OCHA, 2011)</p>
<p>Manejo de residuos generados en la isla por parte de la partida de marinos, prestadores de servicios y pescadores</p>	<p>La Isla Lobos siempre está habitada por una partida de marinos, además en ella hay un tránsito constante de pescadores y prestadores de servicios, sin embargo, en el programa de manejo no se especifica algo relacionado a los residuos que generan durante su estancia en la isla. Es por ello por lo que se propone el establecimiento del manejo de los residuos generados por los actores antes mencionados y que además se involucre la participación del municipio de Tamiahua en dicha tarea</p>

4.5 Guía para el estudio de microplásticos y residuos en áreas naturales protegidas marinas y/o costeras

La guía metodológica propuesta está enfocada a APMC federales, se incluye la descripción de ocho puntos con base en la experiencia obtenida en el presente estudio: 1) elección del ANP de estudio, 2) establecimiento de contacto con el director o la directora del ANP, 3) reunión explicativa del trabajo de campo, 4) llenado y envío de documentación necesaria,

5) recorrido preliminar, 6) toma de muestras, 7) procesamiento de muestras y 8) difusión de resultados.

Es importante aclarar que el trámite para la obtención del permiso para realizar las actividades científicas en ANPS (incluidas las APMCs) es gratuito. En la página de la CONANP se especifica que este se puede realizar presencial, mediante la ubicación de la oficina más cercana, o bien por vía telefónica (CONANP, 2024a, 2024b). Sin embargo, otra alternativa podría ser realizarlo en línea, mediante correo electrónico, tal como se hizo para este proyecto.

1) Elección del área natural de estudio

Al ser las APMC de carácter federal es indispensable revisar el listado más actual de las ANPs decretadas en las páginas oficiales de la CONANP que básicamente son tres: 1) el Atlas interactivo de las áreas naturales protegidas de México (CONANP, 2023b), 2) el listado de las áreas naturales protegidas de México (CONANP, 2023c) y 3) la numeralia del sistema de información, monitoreo y evaluación para la conservación (CONANP, 2023a). Aunado a lo anterior se pueden descargar las capas de la delimitación geográfica de cada APMC y representarlas en un mapa mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG) libre o con licencia.

Dicha información junto con otros aspectos como económicos, seguridad, distancia del APMC al sitio donde se procesarán las muestras y el objetivo de la investigación permitirán elegir cuál será el APMC más adecuada para la realización del estudio. Asimismo, es indispensable decidir si se estudiará toda la APMC o sólo ciertas zonas de la misma.

2) Establecimiento de contacto con la persona encargada del área natural protegida

Una vez que ya se tiene identificada el APMC que se desea estudiar se debe de investigar el nombre del director o de la directora, así como su correo electrónico. Estos datos se pueden obtener al tomar como base el Atlas interactivo, ya que al seleccionar un ANP se puede consultar la información básica en la cual están contenidos ambos datos (Figura 4.28). Una segunda opción es buscar en redes sociales (Facebook, Twitter, Instagram, por mencionar

algunos) una página del APMC de interés y de ahí recabar los datos antes mencionados. En el caso de este proyecto, se recurrió a la segunda opción.

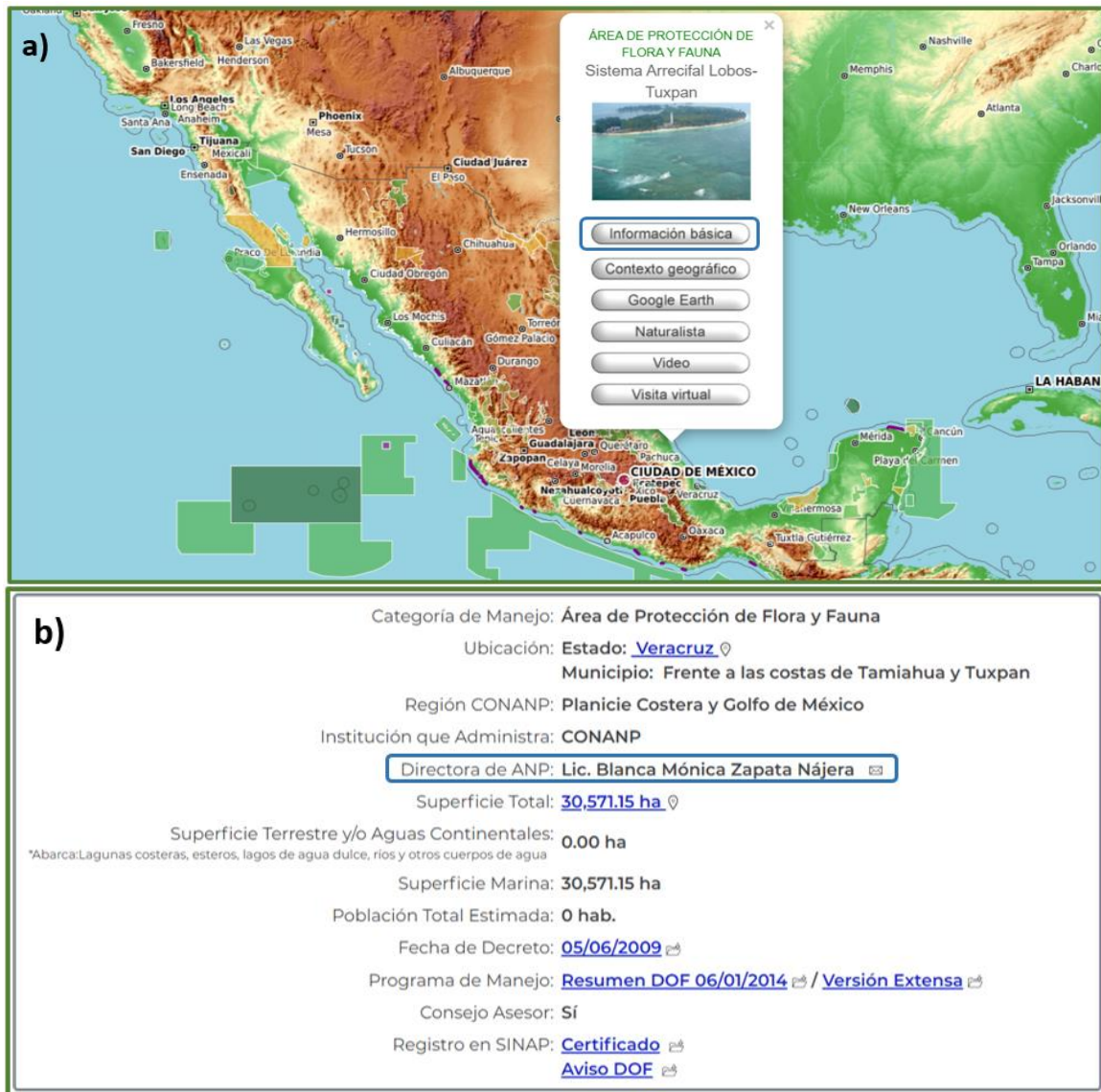


Figura 4.28. Atlas interactivo de áreas naturales protegidas: a) consulta de información básica y b) consulta del nombre y correo electrónico del director

En el establecimiento del primer contacto se debe especificar información base tal como nombre de la persona interesada, institución de procedencia, zona dónde se desea trabajar, objetivo del estudio, fechas tentativas, equipo de trabajo, entre otros, para que la persona

encargada comprenda la magnitud del estudio y determine si en primera instancia es viable o no la realización del trabajo de campo.

3) Reunión explicativa del trabajo de campo

Posterior al establecimiento de contacto con el director o la directora del APMC se recomienda realizar una reunión, en línea o presencial, con ambas partes del equipo, es decir, tanto el personal de la CONANP que trabaja en el APMC elegida como los integrantes del grupo de investigación que realizarán los muestreos en campo. La reunión será con fines de presentar a los integrantes de ambos equipos de trabajo, explicar a detalle qué es lo que se realizará en campo, resolver dudas (tipo de transporte requerido, zonas no aptas para el muestreo, especificaciones de los materiales y equipos a utilizar) y emitir recomendaciones.

Durante la reunión, el grupo de investigación expondrá una presentación del proyecto a realizar, la cual deberá incluir una breve introducción, objetivos, alcances, metodología de muestreo que incluya equipos a emplear y mapas de las zonas de estudio, cronograma de actividades, apoyo requerido en caso de que aplique y número de personas que participarán. De esta manera la CONANP determinará si es posible realizar el proyecto que se prevé, en qué condiciones, así como la documentación que necesita enviar el grupo de investigación.

Si bien en el artículo 45 (del Título segundo Biodiversidad - Capítulo I Áreas naturales protegidas - Sección I Disposiciones generales) de la LGEEPA se menciona que uno de los objetivos de las ANPs es “Proporcionar un campo la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio” (DOF, 2023), cada ANP cuenta con un programa de manejo en el que se especifica por subzona cuáles actividades están permitidas y cuáles no se pueden realizar, por lo que los proyectos de investigación se tienen que justar a lo que marque el programa de manejo.

Con base todo lo antes mencionado, se podrán hacer ajustes al proyecto de tal modo que se cumpla con las disposiciones legales aplicables.

4) Llenado y envío de documentación necesaria

Después de la reunión explicativa del trabajo de campo, es decir, de que ya hayan quedado claro bajo qué términos y en qué fechas se realizarán las actividades se procede a preparar los documentos necesarios para obtener de manera oficial el permiso por parte de la CONANP. Los documentos solicitados por la CONANP varían en función de si se hará o no colecta de ejemplares (CONANP, 2024a, 2024b) y se encuentran especificados en la página de la CONANP. A continuación, se explica en qué consiste cada uno de ellos y a qué tipo de colecta aplica.

- **Oficio**

Es un documento dirigido a la directora o al director el APMC de estudio. En él se debe solicitar permiso para realizar actividades de investigación, señalar si éstas forman parte de un proyecto o tesis (de licenciatura o posgrado) y dar información al respecto, como nombre del proyecto o tesis, personas que lo realizan e institución a la que pertenece, por mencionar algunos ejemplos.

Asimismo, se deben incluir las fechas en las que se llevarán a cabo las actividades en campo, la hora de entrada y de salida, el número de participantes, descripción breve de lo que se hará y en qué zonas se trabajará. Este documento no viene especificado en los lineamientos de la página CONANP, pero puede ser solicitado por el director o directora de cada APMC. En el Anexo 4 se presenta como ejemplo el oficio que se envió para el presente estudio.

- **Proyecto de actividades**

Puede ser un protocolo de actividades de un proyecto académico o tesis, de una instancia de gobierno o de organizaciones no gubernamentales (ONGs), que previamente fue sometido a evaluación o concurso y tras un proceso fue aceptado para su realización, ya sea con o sin financiamiento. Cualquiera que sea el caso, el protocolo deberá contener información básica como título, objetivos, metodología y calendario de actividades con los horarios de entrada y salida. Este documento justifica la solicitud del acceso al APMC para

realizar las actividades de investigación correspondientes y aplica tanto si se hace o no colecta de ejemplares.

- Identificación oficial vigente

Se requiere una identificación oficial vigente tanto de personas físicas como de representantes legales. Entre los documentos con los que se puede acreditar se incluye la credencial para votar expedida por el Instituto Nacional Electoral (INE), el pasaporte, la cédula profesional o la cartilla del servicio militar. En el caso de la representación legal del promovente, esta deberá acreditarse con carta poder, para personas físicas, y poder notarial, para personas morales. Al igual que en el caso anterior, este requisito es para actividades de investigación con y sin colecta de ejemplares (CONANP, 2024a, 2024b).

- Acta constitutiva

Aplica únicamente para personas morales, independientemente del tipo de actividades de investigación que se realicen en el APMC. Es un documento que da legalidad y constancia a la conformación de una sociedad al crear una empresa o asociación (Gobierno de México, 2024). Aplica a ambos tipos de actividades de investigación.

- Formato de solicitud de aviso

Consiste en un formato elaborado por la CONANP, que se encuentra disponible en la página oficial de la misma institución (<https://www.gob.mx/tramites/ficha/aviso-de-investigacion-sin-manipulacion-de-ejemplares/CNANP5146>, <https://www.gob.mx/tramites/ficha/aviso-de-investigacion-con-manipulacion-de-ejemplares/CNANP5145>). Es obligatorio tanto para actividades de investigación con colecta de ejemplares como las que no requieren la toma de ejemplares. Consta de cuatro secciones: 1) datos generales, 2) datos para recibir notificaciones, 3) datos de información del trámite y 4) documentos anexos (CONANP, 2024b, 2024a). Por motivos de seguridad, no se muestran los formatos llenos que se emplearon para este estudio, ya que contienen información personal de la autora y las asesoras.

- Permiso de colecta científica

Tal como lo indica el nombre de este requisito, es únicamente aplicable cuando se realice la colecta de ejemplares. Debe ser otorgado por la Dirección General de Vida Silvestre (DGVVS) o bien contar con la licencia de colector científico, en el segundo caso también debe especificarse la línea de investigación, número de ejemplares que se recolectarán y el equipo con el que se realizará la recolección (CONANP, 2024a).

En la Tabla 4.20 se presenta a modo de resumen el listado de los documentos necesarios para solicitar ante la CONANP el permiso para realizar actividades de investigación, dependiendo de si se requiere o no la colecta de ejemplares.

Tabla 4.20. Resumen de la documentación necesaria para realizar actividades de investigación en ANPs (incluidas las APMC)

Nombre del documento	Con colecta de ejemplares	Sin colecta de ejemplares
1 – Oficio*	NA	NA
2 – Proyecto de actividades	✓	✓
3 – identificación oficial vigente	✓	✓
4 – Acta constitutiva	✓	✓
5 – Formato de solicitud de aviso	✓	✓
6 – Permiso de colecta científica	✓	

* = este documento no está especificado en los lineamientos de la CONANP; N.A. = no aplica

Una vez que se entregue toda la documentación, la CONANP puede entregar un oficio de respuesta en donde autoriza la realización de las diferentes actividades de investigación en campo. En el Anexo 4 se presenta el ejemplo del permiso emitido por CONANP para este estudio.

5) Recorrido preliminar

Antes de tomar las muestras se recomienda hacer un recorrido en la zona o las zonas del APMC donde se prevé muestrear, esto con el objetivo de identificar el medio por el cual se debe acceder a ellas, los puntos de referencia para el muestreo, las áreas en las cuáles no se deba o sea indispensable realizar el muestreo, los requerimientos de algún equipo o

material especializado y estimar a cuánto ascenderán los costos del proyecto. Si bien al momento de tener la **reunión explicativa del trabajo de campo** (punto 3) se pueden abordar algunas de estas cuestiones, el recorrido ayuda a esclarecer mejor las dudas y así organizar mejor el material y equipo para la toma de muestras.

El recorrido se puede hacer, un día, varios días o semanas antes de realizar los muestreos definitivos, dependerá de la distancia a la que se encuentre el APMC de estudio, así como de los recursos económicos disponibles, sin embargo, es importante no omitirlo. Para este proyecto se llevaron a cabo dos recorridos, el primero (realizado únicamente por un integrante del grupo de trabajo) fue cuatro meses antes y el segundo (realizado por todos los integrantes del equipo) un par de horas antes del muestreo definitivo.

El primer recorrido se llevó a cabo la contratación de un tour a la isla, por una agencia y embarcación autorizadas por la CONANP que se ofrece recorridos exclusivos a la Isla Lobos y otras zonas del APMC, además el apoyo de un guardaparques de la CONANP. El recorrido preliminar ayudó a conocer físicamente la zona, identificar las áreas susceptibles de ser muestreadas y los accesos a ellas, preparar los materiales y equipos necesarios y estimar costos del proyecto, por mencionar algunos puntos. Para el segundo se contrató a la misma agencia turística autorizada por la CONANP y también se contó con el apoyo de la directora del APMC. Sirvió para lograr un mejor conocimiento de la zona de estudio por el resto de los integrantes del equipo y establecer una dinámica de trabajo que permitiera avanzar en varias de las actividades de forma simultánea.

Por todo lo antes explicado se concluye que si bien este paso se debe de realizar antes de la toma de muestras en campo (punto 6), no hay seguimiento estricto de que se deba de tratar del punto 5, es decir, puede cambiar y ser el punto 2, punto 3 o punto 4.

6) Toma de muestras en campo

Una vez que se haya realizado el recorrido preliminar se tiene que preparar todo lo necesario para realizar el trabajo de campo, es decir, incluir todos los equipos y materiales, así como la embarcación para el muestreo la cual tiene que tratarse de una autorizada por la CONANP. Para el caso de este estudio se contrató a la misma agencia de turismo con la

que se tomó el tour para hacer el recorrido preliminar, así que la embarcación fue proporcionada por ellos. A continuación, se presenta una propuesta de material a utilizar para el muestreo de microplásticos (Tablas 4.21 y 4.22) considerando el estudio de las mismas matrices ambientales que en la presente tesis (área de playa, sedimentos del fondo, agua de mar y fauna).

Tabla 4.21. Material para el muestreo de microplásticos

Nombre del artículo	Categoría	Número total de piezas
GPS	Necesario	1
Pilas 2A recargables para GPS	Deseable	6
Cargador para pilas 2ª	Deseable	2
Dron ¹	Deseable	1
Rollo de papel aluminio de 500 m	Necesario	1
Tamiz con malla de apertura 0.10 mm (o cercanos a esta apertura)	Deseable	3
Tamiz con malla de apertura 5.00 mm (o cercanos a esta apertura)	Deseable	3
Marcador	Necesario	4
Pluma	Necesario	4
Bitácora	Necesario	2
Báscula portátil de 20 – 30 kg	Deseable	1-2
1 lancha con capacidad acorde al número de personas a participar (incluido el capitán y guardaparques de la CONANP)	Deseable	1
Chalecos salvavidas	Deseable	11
Caja de plástico para guardar el material ²	Deseable	2
Equipo de red de arrastre	Necesario	1
Caja Petri de vidrio ³	Necesario	10
Membrana de celulosa ($A_p = 0.45 \mu\text{m}$ y $\varnothing = 47 \text{ mm}$) ³	Necesario	15
Cuerda de 100 metros	Necesario	2
Muestreadores cilíndricos de acero inoxidable ($h = 5 \text{ cm}$ y $\varnothing = 20 \text{ cm}$)	Necesario	4-5
Muestreador Van Veen	Necesario	1
Estacas de plástico	Deseable	14
Láminas de aluminio	Necesario	3
Palas chicas de acero inoxidable	Deseable	3
Mazos	Deseable	3
Franelas de algodón	Necesario	3

1 = cualquier equipo de Dron incluye el control de mando, baterías y cargador; 2 = el número de piezas dependerá del tamaño de éstas, ya que se emplearán para guardar el material; 3 = el número de piezas dependerá de las matrices y zonas muestreadas

Tabla 4.22. Material para el muestreo de microplásticos

Nombre del artículo	Categoría	Número total de piezas
Galones de agua ⁴	Deseable	2
Cubetas de 20 L	Deseable	3
Bolsas de cierre hermético (tamaño sandwich, 16.5 x 14.9 cm)	Necesario	50
Bolsas de cierre hermético (tamaño grande, 26.8 x 27.3 cm)	Necesario	50
Cámara fotográfica	Deseable	1
Charolas de aluminio (paveras)	Necesario	20
Hielera de 20 litros	Deseable	1

4 = puede ser agua purificada o desionizada

Además del material para el muestreo de microplásticos, también se incluye el material y equipo necesario para el muestreo de residuos sólidos en playas (Tabla 4.23).

Tabla 4.23. Material para el muestreo de residuos sólidos en playas

Nombre del artículo	Categoría	Número total de piezas
GPS	Necesario	1
Pilas 2A recargables para GPS	Deseable	6
Cargador para pilas 2 ^a	Deseable	2
Pluma	Necesario	4
Bitácora	Necesario	2
Báscula portátil de 20 – 30 kg ¹	Necesario	1-2
1 lancha con capacidad acorde al número de personas a participar (incluido el capitán y guardaparques de la CONANP)	Deseable	1
Chalecos salvavidas	Deseable	11
Caja de plástico ²	Deseable	2
Cuerda de 100 m	Necesario	2
Cinta métrica de 50 m	Necesario	4
Estacas de plástico	Deseable	14
Bolsas de plástico de 60 x 90 cm	Necesario	10
Bolsas de plástico de 90 x 120 cm	Deseable	10
Formato de clasificación de residuos	Necesario	3
Cámara fotográfica	Deseable	1

1 = se recomienda llevar al muestreo solo si se planea clasificar los residuos en campo; 2 = el número de piezas dependerá del tamaño de éstas, ya que se emplearán para guardar el material

Otro aspecto para tomar en cuenta es el número de personas que conformarán el equipo para la realización del trabajo de campo, se recomienda que éste sea de entre 8-10 integrantes para que a su vez pueda dividirse en dos equipos y las actividades se repartan a modo de tener un buen avance. Si no se tiene la oportunidad de conformar el número de integrantes antes mencionado, basta con que el equipo sea de 3-4 personas. Para este proyecto, el número de personas que participaron en el muestreo fue ocho (los siete investigadores más el guardaparques de la CONANP) el cual se dividió a su vez en dos grupos donde diariamente cada uno de ellos realizó diferentes actividades.

Durante el trabajo de campo es indispensable contar con el acompañamiento del personal de la CONANP de tal modo que permitan el acceso a zonas restringidas, brinden indicaciones ante situaciones de no previstas, estén involucrados durante todo el proceso de muestreo y emitan opiniones o recomendaciones. La metodología recomendada para los muestreos consiste en la que se empleó para el presente estudio, la cual está comprendida en la sección 3.3.1. En el caso de la adquisición de la fauna marina, se recomienda hacerla el último día del muestreo, así como almacenarla en una hielera para su conservación hasta su llegada al laboratorio donde se procesarán.

7) Procesamiento de muestras

El procesamiento de todas las muestras generalmente se lleva a cabo en un laboratorio para tener un mayor control de la contaminación cruzada, así como para evitar pérdidas de las muestras. No obstante, en el caso de las muestras de residuos sólidos, cuándo éstos sean una cantidad considerable y no se disponga de espacio suficiente para su transporte, se recomienda que se analicen en campo, ya que solo consiste en la clasificación de los mismos para lo cual se requiere de una balanza y los formatos para el registro de información.

Para un manejo fácil de las muestras éstas deben encontrarse bien etiquetadas y resguardadas en un lugar seguro que permita su conservación hasta su procesamiento. Si no se tiene preferencia por comenzar con el tratamiento de alguna de ellas, se recomienda hacerlo con aquellas a las que se les necesita determinar un parámetro en donde el tiempo juega un factor importante, por ejemplo, la humedad; en este sentido se podría comenzar

con las muestras de arena de playa y las de sedimentos del fondo. También se podría iniciar el procesamiento de las muestras de fauna para evitar que estas permanezcan mucho tiempo en refrigeración, ocupen espacio y generen olores desagradables.

Otra manera de decidir el orden de procesamiento de las muestras podría ser el comenzar por aquellas que ocupan mayor espacio de almacenamiento de tal manera que éste se libere lo más pronto posible, o dar preferencia a aquellas muestras cuyos procesamientos emplean los mismos reactivos o diferentes materiales, en el primer caso para prepararlos en conjunto y en el segundo caso por sí no se tiene suficiente material para trabajar ambos procesamientos a la par.

La metodología recomendada para el procesamiento de las muestras de arena de playa, sedimentos del fondo, fauna marina y agua superficial es la que se empleó en la presente tesis (sección 3.4.3). Al igual que en la toma de muestras, en este apartado también se recomiendan ciertos materiales, reactivos y equipos. En la Tabla 4.24 se muestran los reactivos, cuyas cantidades se basan en el número de muestras que se analizó en este proyecto.

Tabla 4.24. Reactivos para el procesamiento de muestras de microplásticos

Nombre del reactivo	Volumen (L)
Solución KOH 10%	5
Rojo Nilo 500 µg/ml	0.5
Agua desionizada	80
Solución CaCl ₂ (ρ=1.6 g/cm ³)	10
Solución HNO ₃ al 10 %	5
Cloro	2

En la Tabla 4.25 se enlistan los equipos necesarios para el procesamiento de las diferentes muestras para el análisis de microplásticos.

Tabla 4.25. Equipos necesarios para el procesamiento de muestras de microplásticos

Nombre del equipo	Número de piezas
Campana de flujo laminar	1
Incubadora	1
Equipo de filtración millipore	2
Microscopio óptico con cámara externa	1
Microscopio digital	1
Estufa	1
Agitador orbital	1
Parrilla de agitación	4
Balanza analítica con precisión ± 0.0001 g	1
Balanza digital de 10-20 kg	1

En la Tabla 4.26 se enlista el resto de los materiales y consumibles a emplear para el procesamiento de las diferentes muestras para el análisis de microplásticos.

Tabla 4.26. Materiales y consumibles para el procesamiento de muestras de microplásticos

Nombre del artículo	Número de piezas
Vaso de precipitados de vidrio de 250 ml	10
Rollo de papel aluminio de 500 m	1
Membrana de celulosa ($A_p = 0.45 \mu\text{m}$ y $\phi = 47 \text{ mm}$)	100
Cajas Petri de vidrio grandes o chicas	50
Lámpara de luz UV	3
Refractario de vidrio	3
Charola de plástico	4
Descamador	2
Tabla de madera	1
Cuchillo	2
Regla	1
Charola de aluminio chica	2
Vaso de precipitados de vidrio de 500 ml	3
Vaso de precipitados de vidrio de 1,000 ml	3
Franela de algodón	2
Pinzas de disección	2
Pilas 2A recargables	6
Cargador para pilas 2ª	2

8) Difusión de los resultados

Parte importante del estudio de la contaminación plástica en ANPs y APMCs es la difusión de los resultados no solo a nivel científico sino al público en general, de modo que los actores principales tengan conocimiento de los hallazgos. Si bien, al culminarse la tesis ésta se publica en un repositorio institucional, es recomendable la redacción adicional de un documento conciso, claro y completo de los hallazgos dirigido principalmente a CONANP de tal modo que tengan la información a la mano y puedan consultarla en el cualquier momento, ya que ésta podrá servir como base para el establecimiento de directrices futuras.

Además de la conformación del reporte, el cual deberá incluir las secciones de introducción, metodología, resultados, conclusiones y bibliografía, se recomienda tener una presentación (virtual o presencial) del mismo ante el personal de la CONANP para la aclaración de dudas, discusión de puntos relevantes y retroalimentación para futuros proyectos. De igual manera es importante contemplar otras formas de difusión, tales como presentaciones en congresos, redacciones de artículos, divulgación en eventos científicos y elaboración de infografías para su distribución a través de redes sociales para que la información llegue al mayor número de personas posible.

5 CONCLUSIONES



Microplásticos en ambientes marinos©

La totalidad de los mares son afectados por lo que pase, incluso con una pequeña piedra.

Blaise Pascal

En este estudio se presentan las conclusiones de este trabajo las cuales han sido estructuradas en el siguiente orden: selección de área natural protegida y sitio de estudio, microplásticos, residuos sólidos, índice de contaminación, inconsistencias en la operatividad del programa de manejo y guía para el estudio de MP y residuos en ANP:

- **Selección del área natural protegida y sitio de estudio**

Con base en recorridos de campo e investigación bibliográfica se logró elegir un ANP de tipo marino, así como el sitio de estudio dentro de la misma el cuál comprendió tres compartimentos (mar, biota y playa) y dos matrices ambientales (agua y sedimentos).

- **Microplásticos**

Se evidenció la presencia de microplásticos en todos los compartimentos y matrices ambientales de estudio. Las concentraciones medias correspondieron a 21 MP/kg_{ss} para sedimentos de playa, 2.3 MP/m³ para agua superficial, 50.7 MP/kg_{sh} para sedimentos del fondo marino, 9.92 MP/g_{mh} en órganos interiores y 27.9 MP/g_{mh} en branquias de peces de consumo humano. En cuanto a los tipos de MP, el más encontrado fueron fibras (promedio general de 87 %) cuya presencia en la zona de estudio se relaciona con la descarga de aguas residuales, principalmente de tipo doméstico, de localidades del municipio de Tamiahua y otros municipios hacia la laguna del mismo nombre la cual es la zona de influencia de la Isla Lobos.

De manera particular, para la playa, la mayor concentración de MP en la zona 5 (contigua al helipuerto) se asocia a que ésta se encuentra cerca del embarcadero al cual arriban lanchas prestadoras de servicios turísticos y de pescadores, donde parte del personal permanece en esa zona con fines de descanso y existe la probabilidad de que dispongan inadecuadamente los residuos derivados de los alimentos que consuman y que éstos den origen a la formación de microplásticos.

Por otra parte, la mayor concentración de MP en las branquias de los peces, comparado con los órganos interiores, puede estar relacionada con la respiración de éstos la cual se lleva a cabo al aspirar agua por la boca, que posteriormente pasa por las branquias para

capturar el oxígeno. En ese proceso de aspiración del agua pueden irse algunos MP presentes en dicho medio de los cuales existe la probabilidad de que se queden atrapados en los arcos branquiales.

- **Residuos sólidos**

En las cinco zonas estudiadas hubo presencia de residuos, de todas ellas el terraplén (zona 1) tuvo el mayor número de piezas (412 piezas correspondiente a 1.61 piezas/m²), mientras que la menor cantidad de residuos correspondió a la zona contigua a la de uso público, es decir, la zona 4 (28 piezas = 0.05 piezas/m²). En general, el número de piezas de macrorresiduos y fragmentos, 380 y 323 piezas, respectivamente y la concentración de macrorresiduos y fragmentos, 1.60 y 1.65 piezas/m², son similares. Sin embargo, los fragmentos representan un foco de atención debido a que son precursores de MP.

La alta proporción de residuos plásticos en la isla (media de 93 %) se asocian a 1) el *transporte de residuos por parte de las corrientes marinas* hacia la costa, principalmente para las zona del terraplén y en la zona de tortugas, ya que no están abiertas al público; 2) *los residuos generados por el turismo y los prestadores de servicios*, especialmente para la zona 3 “uso público” donde se permiten las actividades turísticas y recreativas de bajo impacto y 3) *los residuos generados por el personal que habita la isla (marinos y el farero) y los pescadores*

- **Índice de contaminación**

Se obtuvieron IC por separado para macrorresiduos y fragmentos, así como un IC considerando a ambos residuos. Se observó que cuando se consideran todos los residuos cambian las categorías de limpieza de las playas, ya que las zonas 3 y 5 “uso público” y “contigua al helipuerto”, respectivamente, al estar ambas en la categoría “muy limpia” en el IC de macrorresiduos, pasaron a “moderada” y “limpia”, respectivamente, en el IC de macrorresiduos más fragmentos. No obstante, con frecuencia los fragmentos no se consideran debido a su tamaño pequeño y al tiempo y esfuerzo que implica su recolección.

- **Inconsistencias en la operatividad del programa de manejo**

Respecto a la operatividad del programa de manejo, se detectaron tres inconsistencias con base en lo especificado en el documento y lo observado en campo, de las cuales dos están directamente relacionadas a residuos sólidos y la otra está implícita en el tema. Adicional a estas tres inconsistencias, se recomienda considerar cuatro aspectos en el programa de manejo que están enfocados al tema de la contaminación por residuos, incluidos los plásticos: 1) prohibición de plásticos de un solo uso (PUSU) al turismo y prestadores de servicios; 2) empleo de las cuotas cubiertas por visitantes, prestadores de servicios turísticos y usuarios del ANP, para el manejo de RSU en la isla; 3) diseño de un plan de manejo de residuos generados por eventos de alta energía y/o desastres naturales y 4) manejo de residuos generados en la isla por la partida de marinos, prestadores de servicios y pescadores.

- **Guía para el estudio de MP y residuos en ANP**

Se estableció una guía para el estudio de microplásticos y residuos en ANP marinas y/o costeras la cual se espera sirva de base para investigadores que pretendan realizar actividades de investigación en torno a este tema, ya que actualmente no existe un documento oficial que sirva de apoyo para dichos fines. La guía aquí planteada consta de ocho puntos (elección del ANP de estudio, establecimiento de contacto con el director o la directora del ANP, reunión explicativa del trabajo de campo, llenado y envío de documentación necesaria, recorrido preliminar, toma de muestras, procesamiento de muestras y difusión de resultados) en los que se da una explicación detallada de lo que se tiene que llevar a cabo.

Con base en todo lo anterior se concluye que se cumplieron todos los objetivos, tanto el objetivo general como los particulares. En el caso de las hipótesis, la primera, la tercera y la cuarta sí se cumplieron, ya que: a) en todas las muestras tomadas del ANP hubo presencia de microplásticos, cada una con sus respectivas variaciones dependiendo de las zonas estudiadas; b) los MP secundarios fueron los más comunes, de hecho, no se encontraron MP del tipo primario en ninguna de las muestras y c) las concentraciones de MP y residuos

varían en cada zona debido a su ubicación. Para esto último, las zonas del terraplén y de alimentación de tortugas presentaron las mayores concentraciones de residuos y para MP solo fue la zona de tortugas, esto se relaciona a que ambas zonas son más propensas a la acumulación de residuos provenientes de lo depositan las corrientes marinas. En cuanto a las zonas (zona de uso público y la contigua a la de uso público) con menores concentraciones de MP y residuos, esto se asocia a que comúnmente se trata de áreas más visitadas como resultado de actividades turístico-recreativas, por lo que es más fácil que esa zona se mantenga más limpia .

En el caso de la segunda hipótesis (la playa será el compartimiento ambiental que presentará las mayores concentraciones de microplásticos debido a la deposición de residuos por parte de las corrientes marinas) esta no se cumplió, puesto que fueron los sedimentos del fondo marino los que presentaron mayores concentraciones de MP comparado con los sedimentos de arena de playa.

La realización de este trabajo permitió conocer el estado de la contaminación por residuos sólidos y microplásticos en diferentes entornos de un ANP marino costera, así como identificar sus fuentes potenciales y evaluar la operatividad del programa de manejo, ya que no se contaban con datos al respecto, pues esta es la primera investigación que se realiza en dicha zona. Aunado a esto, otro de los aportes importantes es la guía de todo el proceso a seguir para realizar investigaciones relacionadas al tema de MP y residuos en ANP marinas y/o costeras, la finalidad es que esto sea de apoyo para los diferentes grupos de investigación e incluso ONGs interesadas en el tema.

6 RECOMENDACIONES

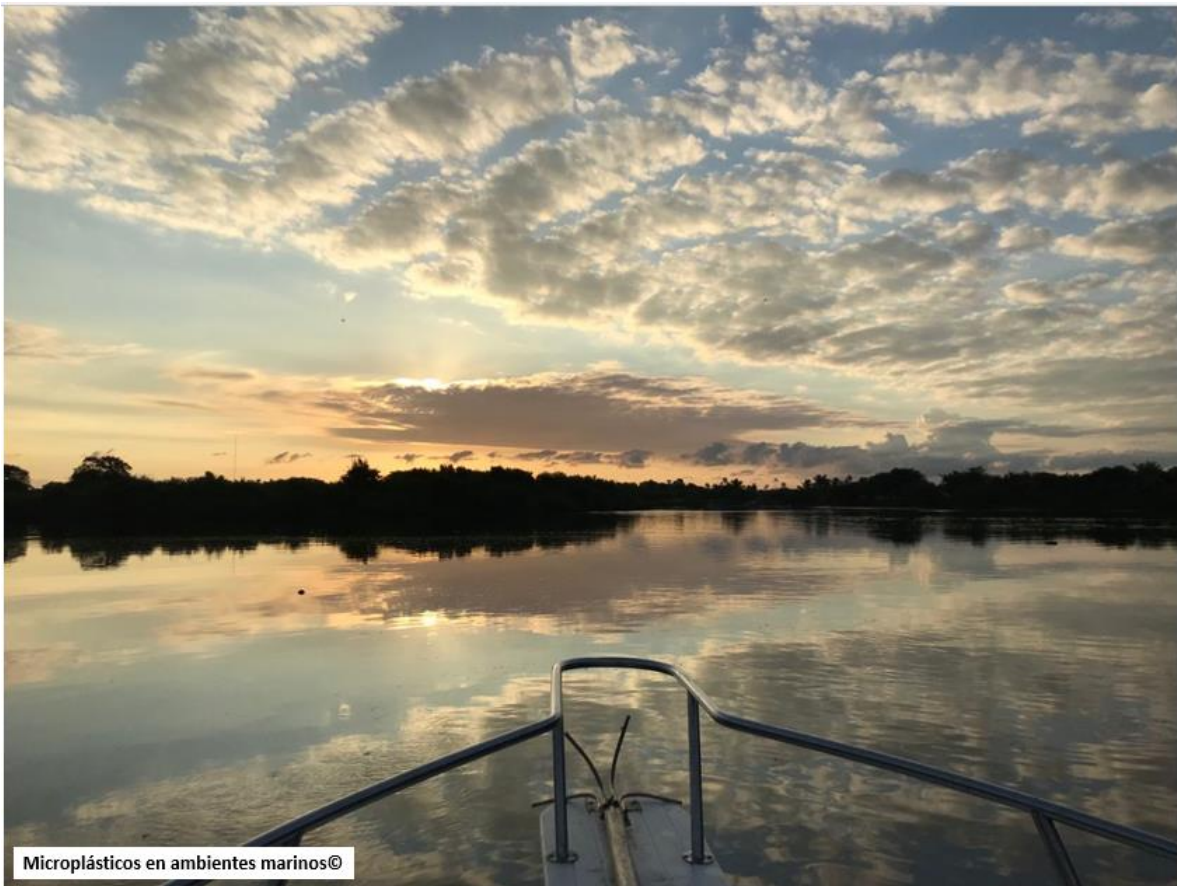


*Con cada gota de agua que bebes, cada respiración que tomas, estás conectado con el mar. No importa en qué lugar de la Tierra vivas. **Sylvia Earle***

La presente investigación se enfocó al estudio de la contaminación por residuos y microplásticos, en diferentes entornos de la Isla Lobos, en únicamente la temporada de invierno (24 – 26 de septiembre) de 2024, por lo que no incluye el panorama general de la contaminación plástica en toda el ANP ni en distintas temporadas. Ante esto se recomienda lo siguiente:

- Evaluar las concentraciones de microplásticos y residuos sólidos en la Isla Lobos en diferentes temporadas, con el objetivo de visualizar mejor las variaciones ante la presencia de diferentes factores ambientales y con ello determinar si ha habido cambios en la operatividad del programa de manejo
- Realizar estudios de microplásticos y residuos sólidos en el resto de polígonos que conforman el ANP para tener información más completa y a partir de ello establecer líneas de acción integrales. Los muestreos podrían realizarse con ayuda de alumnos la licenciatura de Biología o carreras afines que se imparten en la Universidad Veracruzana ubicada en Tuxpan Veracruz, de tal manera que la logística sea más fácil, pues algunos de los polígonos se localizan en el municipio de Tuxpan
- Investigar el estado de la contaminación plástica en la Laguna de Tamiahua y la playa de Tamiahua, ya que forman parte de la zona de influencia de la Isla Lobos
- Diagnosticar el manejo de residuos del municipio de Tamiahua, en las etapas de gestión, recuperación y disposición final para posteriormente identificar las fugas de plásticos. Esto se puede hacer con ayuda de la herramienta Waste Wise Cities
- Identificar las fuentes potenciales de fugas de plásticos, hacia el ANP, así como los puntos críticos relacionados con tipos de plásticos, aplicaciones y sectores, con base en la Guía Nacional para la Identificación de Puntos Críticos de Contaminación Plástica y Orientar la Acción (Hotspots)
- A partir de todo lo anterior, establecer un programa de manejo enfocado a los residuos marinos, residuos sólidos de los municipios costeros y descarga de aguas residuales sin tratar, para evitar que a partir de los residuos plásticos se generen microplásticos del tipo secundario o que los MP ya presentes se transporten a otros ecosistemas vulnerables

7 REFERENCIAS



Según algunas leyendas, el mar es la morada de todo lo que hemos perdido, de todo lo que no hemos tenido, de los deseos frustrados, de los dolores, de las lágrimas que hemos derramado. Osho

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- ACC - American Chemistry Council. (2020). *Operation Clean Sweep around the world*. <https://www.opcleansweep.org/operation-clean-sweep-around-world/>
- Adane, L., & Muleta, D. (2011). Survey on the usage of plastic bags, their disposal and adverse impacts on environment: A case study in Jimma City, Southwestern Ethiopia. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 3(8), 234–248. <https://academicjournals.org/journal/JTEHS/article-full-text-pdf/28E66F43389>
- AIMPLAS - Instituto Tecnológico del Plástico. (2015). *Clasificación e identificación de plásticos*. <https://www.aimplas.es/blog/clasificacion-e-identificacion-de-plasticos>
- Ajith, N., Arumugam, S., Parthasarathy, S., Manupoori, S., & Janakiraman, S. (2020). Global distribution of microplastics and its impact on marine environment—a review. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 21, pp. 25970–25986). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09015-5>
- Akarsu, C., Kumbur, H., Gökdağ, K., Kideys, A. E., & Sanchez-Vidal, A. (2020). Microplastics composition and load from three wastewater treatment plants discharging into Mersin Bay, north eastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110776. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110776>
- ALACERO - Asociación Latinoamericana del Acero. (2020). *Manejo de residuos – reducir, reutilizar, reciclar*. <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/manejo-de-residuos-reducir-reutilizar-reciclar>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Al-Tohamy, R., Zhu, D., Mahmoud, Y. A. G., Koutra, E., Metwally, M. A., Kornaros, M., & Sun, J. (2021). Plastic wastes biodegradation: Mechanisms, challenges and future prospects. *Science of the Total Environment*, 780, 146590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146590>
- Alkalay, R., Pasternak, G., & Zask, A. (2007). Clean-coast index—A new approach for beach cleanliness assessment. *Ocean & Coastal Management*, 50(5–6), 352–362. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.10.002>
- Alonzo, E., & Paz, C. (2014). Generación y manejo de residuos sólidos en áreas naturales protegidas y zonas costeras: el caso de Isla Holbox, Quintana Roo. *Sociedad y Ambiente*, 1(5), 92–114. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455745079006>
- Álvarez-Zeferino, J. C. (2020). *Factores que inciden en la presencia de microplásticos en playas mexicanas* [Universidad Autónoma de Baja California]. http://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=239836&query_desc=au%3A%22Ojeda Benítez%2C Sara%2C%22
- Alvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020).

- Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(1), 151–164.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53540>
- Amazon. (2021). *LaMotte 1063 - Red para plancton con dos tubos graduados de 1.7 fl oz, 15.0 in de altura, 5.0 in de diámetro*. <https://www.amazon.com/-/es/LaMotte-1063-1-7-15-0-5-0/dp/B00BT12XS6>
- Anderson, J. C., Park, B. J., & Palace, V. P. (2016). Microplastics in aquatic environments: Implications for Canadian ecosystems. *Environmental Pollution*, 218, 269–280.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.074>
- ANIPAC - Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C. (2018). *Cero Pellets*.
<http://responsabilidad.anipac.com/cero-perdida-de-pellets>
- ANIPAC - Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C. (2020). *Programa Cero Pérdida de Pellets*. <https://anipac.org.mx/programa-cpp/>
- Anuar Sharuddin, S. D., Abnisa, F., Wan Daud, W. M. A., & Aroua, M. K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 115, 308–326.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Arreguín-Cortés, F., & Mejía-Maravilla, E. (2010). Programa Playas Limpias en México, un enfoque integral. *Revista Digital Tlaloc*, 47. http://amh.org.mx/wp-content/uploads/2018/07/TLALOC_47_baja.pdf
- Athapaththu, A. M. A. I. K., Thushari, G. G. N., Dias, P. C. B., Abeygunawardena, A. P., Egodauyana, K. P. U. T., Liyanage, N. P. P., Pitawala, H. M. J. C., & Senevirathna, J. D. M. (2020). Plastics in surface water of southern coastal belt of Sri Lanka (Northern Indian Ocean): Distribution and characterization by FTIR. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111750. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111750>
- Australian Government. (2018). *Assessment of the voluntary phase out of microbeads*. <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/f04b6b4d-f747-4b81-b8ba-0de5fb48404a/files/assessment-voluntary-phase-out-microbeads.pdf>
- Auta, H. S., Emenike, C. ., & Fauziah, S. . (2017). Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. *Environment International*, 102, 165–176.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
- Avio, C. G., Gorbi, S., Milan, M., Benedetti, M., Fattorini, D., D'Errico, G., Pauletto, M., Bargelloni, L., & Regoli, F. (2015). Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution*, 198, 211–222.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.12.021>
- Avio, C. G., Gorbi, S., & Regoli, F. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2–11.
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>

- Bakir, A., Desender, M., Wilkinson, T., Van Hoytema, N., Amos, R., Airahui, S., Graham, J., & Maes, T. (2020). Occurrence and abundance of meso and microplastics in sediment, surface waters, and marine biota from the South Pacific region. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111572. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111572>
- Bakir, A., Rowland, S. J., & Thompson, R. C. (2012). Competitive sorption of persistent organic pollutants onto microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 64(12), 2782–2789. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2012.09.010>
- Bayo, J., Rojo, D., & Olmos, S. (2019). Abundance, morphology and chemical composition of microplastics in sand and sediments from a protected coastal area: The Mar Menor lagoon (SE Spain). *Environmental Pollution*, 252, 1357–1366. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.024>
- Beiras, R. (2018). Basic Concepts. In *Marine Pollution: Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems* (pp. 3–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813736-9.00001-5>
- Bonanno, G., & Orlando-Bonaca, M. (2020). Marine plastics: What risks and policies exist for seagrass ecosystems in the Plasticene? *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111425. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111425>
- Bosker, T., Guaita, L., & Behrens, P. (2018). Microplastic pollution on Caribbean beaches in the Lesser Antilles. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 442–447. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.060>
- Bourne, D. G., Ainsworth, T. D., Pollock, F. J., & Willis, B. L. (2015). Towards a better understanding of white syndromes and their causes on Indo-Pacific coral reefs. *Coral Reefs*, 34(1), 233–242. <https://doi.org/10.1007/s00338-014-1239-x>
- Bowley, J., Baker-Austin, C., Porter, A., Hartnell, R., & Lewis, C. (2020, August 13). Oceanic Hitchhikers – Assessing Pathogen Risks from Marine Microplastic. *Trends in Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2020.06.011>
- BPF - British Plastics Federation. (2020). *Chemical Recycling 101*. https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx#_edn2
- Britannica. (2022). *Plankton*. <https://www.britannica.com/science/plankton>
- Burlakovs, J., Kriipsalu, M., Porshnov, D., Jani, Y., Ozols, V., Pehme, K.-M., Rudovica, V., Grinfelde, I., Pilecka, J., Vincevica-Gaile, Z., Turkadze, T., Hogland, W., & Klavins, M. (2019). Gateway of Landfilled Plastic Waste Towards Circular Economy in Europe. *Separations*, 6(2), 25. <https://doi.org/10.3390/separations6020025>
- Camacho, M., Herrera, A., Gómez, M., Acosta-Dacal, A., Martínez, I., Henríquez-Hernández, L. A., & Luzardo, O. P. (2019). Organic pollutants in marine plastic debris from Canary Islands beaches. *Science of the Total Environment*, 662, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.422>

- Cámara de Diputados. (2020). *Iniciativas presentadas en la LXIV Legislatura turnadas a Comisión*.
http://sitl.diputados.gob.mx/LXIV_leg/iniciativaslxiv.php?comt=44&tipo_turnot=1&dot=T
- CANACEM - Camara Nacional del Cemento. (2020). *Coprocesamiento*.
<https://canacem.org.mx/sustentabilidad/coprociamiento/>
- CEDEX - Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2013). *Residuos plásticos*.
http://www.cedexmateriales.es/upload/docs/es_RESIDUOSPLASTICOSDIC2013.pdf
- CEP & UNEP - Caribbean Environment Programme & United Nations Environment Programme. (2014). *Regional Action Plan on Marine Litter Management (RAPMaLi) for the Wider Caribbean Region 2014*. http://www.cep.unep.org/cep-documents/rapmali_web.pdf
- Cheng, J., Shi, F., Yi, J., & Fu, H. (2020). Analysis of the factors that affect the production of municipal solid waste in China. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120808.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120808>
- Cheshire, A., Adler, E., Barbière, J., Cohen, Y., Evans, S., Jarayabhand, S., Jeftic, L., Jung, R.-T., Kinsey, S., Takashi Kusui, E., Lavine, I., Manyara, P., Oosterbaan, L., Pereira, M. A., Sheavly, S., Tkalin, A., Varadarajan, S., Wenneker, B., & Westphalen, G. (2009). *UNEP/IOC Guidelines on Survey and Monitoring of Marine Litter*.
<http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/13604/rsrs186.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CIMARES - Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. (2012). *Política Nacional de Mares y Costas de México, gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional*.
http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/cimares/Documents/pnmc_español_final.pdf
- CIMARES - Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. (2020). *CIMARES*. <https://digaohm.semar.gob.mx/CIMARES.html>
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegehuchte, M. B., & Janssen, C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1–2), 227–233.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009>
- Cole, M. (2016). A novel method for preparing microplastic fibers. *Scientific Reports*, 6(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/srep34519>
- CONABIO - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2006). *Procesos oceanográficos. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográficos de los mares mexicanos*.

- http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanograficos
- CONABIO - Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2020). *Áreas protegidas*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/region/areasprot>
- CONAGUA - Comisión Nacional del Agua. (2018, November 20). *Programa Playas Limpias, Agua y Ambiente Seguro*. <https://app.conagua.gob.mx/transparencia/Contenido.aspx?n1=8&n2=109&n3=458&n4=458>
- CONAGUA - Comisión Nacional del Agua. (2021). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Infraestructura hidráulica. Plantas municipales de tratamiento de agua residual*. <https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=ptresidual>
- CONAGUA - Comisión Nacional del Agua. (2022, August 25). *Certificación con NMX-AA-120-SCFI-2016*. <https://app.conagua.gob.mx/transparencia/Contenido.aspx?n1=8&n2=109&n3=458&n4=1474>
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2016). *Áreas Naturales Protegidas decretadas*. <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-decretadas>
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2018). *Mapa interactivo de Áreas Naturales Protegidas de México*. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/mapas_interactivos.htm
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019). *Mapas de las Áreas Naturales Protegidas*. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/mapas_serie.htm
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023a). *Áreas Naturales Protegidas decretadas. Numeralia en SIMEC*. <https://simec.conanp.gob.mx/numeralia.php>
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023b). *Atlas interactivo de las áreas naturales protegidas de México*. http://sig.conanp.gob.mx/website/interactivo/atlas/atlas_anp.htm
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2023c). *Listado de Áreas Naturales Protegidas de México (LISTANP)*. <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/listanp/>
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2024a). *Áreas Naturales Protegidas decretadas*. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datos_anp.htm
- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2024b). *Aviso de investigación con manipulación de ejemplares*. <https://www.gob.mx/tramites/ficha/aviso-de-investigacion-con-manipulacion-de-ejemplares/CNANP5145>

- CONANP - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2024c). *Aviso de investigación sin manipulación de ejemplares*.
<https://www.gob.mx/tramites/ficha/aviso-de-investigacion-sin-manipulacion-de-ejemplares/CNANP5146>
- Corbau, C., Lazarou, A., Gazale, V., Nardin, W., Simeoni, U., & Carboni, D. (2022). What can beach litter tell about local management: A comparison of five pocket beaches of the North Sardinia island (Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113170.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113170>
- Cordova, M. R., Ulumuddin, Y. I., Purbonegoro, T., Puspitasari, R., Rositasari, R., Yogaswara, D., Kaisupy, M. T., Wibowo, S. P. A., Subandi, R., Sani, S. Y., Sulistiowati, S., Nugraheni, I. K., Rahman, L., Rahmawati, Al Rahmadhani, S., Khoirunnisa, T. A., Nurhasanah, Muhtadi, A., Lestari, S. P., & Cragg, S. M. (2024). Abundance and characterization of microplastic pollution in the wildlife reserve, Ramsar site, recreational areas, and national park in northern Jakarta and Kepulauan Seribu, Indonesia. *Chemosphere*, 348(140761).
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2023.140761>
- Coyle, R., Hardiman, G., & Driscoll, K. O. (2020). Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes and uptake into ecosystems. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100010.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010>
- Cozzolino, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., & de los Santos, C. B. (2020). Species-specific plastic accumulation in the sediment and canopy of coastal vegetated habitats. *Science of the Total Environment*, 723, 138018.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138018>
- 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].
<http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6843>
- Cruz-Salas, A. A., Alvarez-Zeferino, J. C., Ojeda-Benitez, S., Cruz-Sotelo, S. E., & Vázquez-Morillas, A. (2022). Solid waste and microplastics on the beaches of Holbox island, Mexico. *Regional Studies in Marine Science*, 53, 102423.
<https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2022.102423>
- Cruz-Salas, A. A., Ojeda-Benítez, S., Álvarez-Zeferino, J. C., Martínez-Salvador, C., Tapia-Fuentes, J., Pérez-Aragón, B., & Vázquez-Morillas, A. (2022). Advanced Detection Techniques for Microplastics in Different Environmental Media. In A. Ahamad, P. Singh, & D. Tiwary (Eds.), *Plastic and Microplastic in the Environment. Management and Health Risks* (pp. 129–169). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9781119800897.CH8>
- CW - Celtic Water. (2019). *How does Plastic get into the Ocean – Plastic Pollution from Roads*. <https://www.celticwater.co.uk/bloghow-does-plastic-get-into-the-ocean-plastic-pollution-from-roads/>

- da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Costa, M., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). The Role of Legislation, Regulatory Initiatives and Guidelines on the Control of Plastic Pollution. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 104. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00104>
- Dai, Z., Zhang, H., Zhou, Q., Tian, Y., Chen, T., Tu, C., Fu, C., & Luo, Y. (2018a). Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental Pollution*, 242, 1557–1565. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131>
- Dai, Z., Zhang, H., Zhou, Q., Tian, Y., Chen, T., Tu, C., Fu, C., & Luo, Y. (2018b). Occurrence of microplastics in the water column and sediment in an inland sea affected by intensive anthropogenic activities. *Environmental Pollution*, 242, 1557–1565. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.131>
- Dana-Gopal, N. M., Phebe, P., Suresh Kumar, E. V., & Vani, B. K. K. (2014). Impact of plastic leading environmental pollution. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 96–99. [https://www.jchps.com/specialissues/Special issue3/20 jchps si3 N. M. dana Gopal 96-99.pdf](https://www.jchps.com/specialissues/Special%20issue3/20%20jchps%20si3%20N.%20M.%20dana%20Gopal%2096-99.pdf)
- Dauvergne, P. (2018). Why is the global governance of plastic failing the oceans? *Global Environmental Change*, 51, 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.05.002>
- De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M., & Avella, M. (2019). The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43023-x>
- DNR - Department of Natural Resources. (2017, April 8). *How do fish breathe?* . <https://www.iowadnr.gov/About-DNR/DNR-News-Releases/ArticleID/1454/How-do-fish-breathe>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2000). *Resumen del Programa de Manejo del Area Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera El Vizcaíno*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcy/116_DOF.pdf
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2002). *Resumen del Programa de Manejo del Area Natural Protegida con el carácter de Parque Nacional Huatulco*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcy/134_DOF.pdf
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2009a). *DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Area de Protección de Flora y Fauna, la región conocida como Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, localizada frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan, en el Estado de Veracruz*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_decretos/132_decreto.pdf
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2009b). *Resumen del Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado* (p. 113). https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcy/2_DOF.pdf

- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2014). *ACUERDO por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcym/132_DOF.pdf
- Reglamento de La Ley General del Equilibrio Ecológico en Materia de Áreas Naturales Protegidas, 46 74 (2014). <https://www.gob.mx/profepa/documentos/reglamento-de-la-ley-general-del-equilibrio-ecologico-en-materia-de-areas-naturales-protegidas>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2016). *NMX-AA-120-SCFI-2016*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464463&fecha=07/12/2016
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2018a). *Acuerdo mediante el cual se expide la Política Nacional de Mares y Costas de México* (p. 25). https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545511&fecha=30/11/2018
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2018b). *Resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con Categoría de Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_pcym/44_DOF.pdf
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2023a). *Ley Federal de Derechos* (pp. 184–187). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFD.pdf>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2023b). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente. Última reforma. Título segundo, Capítulo I: Áreas Naturales Protegidas*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- DOF - Diario Oficial de la Federación. (2023c). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Dudley, N. (2008). Clarifying the IUCN definition of a protected area. In N. Dudley & S. Stolton (Eds.), *Defining Protected Areas: an international conference in Almeria, Spain* (p. 220). IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2008-106.pdf>
- EC - European Commission. (2019). *Regulatory Impact Assessment – Microbeads (Prohibition) Bill 2019*. <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/tris/en/index.cfm/search/?trisaction=search.detail&year=2019&num=360&mLang=EN>
- ECOPLAS - Entidad Técnica Profesional Especializada en Plásticos y Medio Ambiente. (2011). *Manual de valorización de los residuos plásticos* (5a.). <http://ecoplas.org.ar/pdf/11.pdf>
- Eijkelpamp Soil & Water. (2001, April 20). *Muestreador de sedimentos. Draga Van Veen*. <https://sp.eijkelpamp.com/productos/muestreadores-de-sedimentos/muestreador-de-sedimentos-draga-van-veen.html>
- El Heraldo de Tuxpan. (2017, December 19). *Planta tratadora inoperante*.

<https://elheraldodetuxpan.com.mx/estado/tamiahua/64150-planta-tratadora-inoperante.html>

- Eo, S., Hong, S. H., Song, Y. K., Han, G. M., & Shim, W. J. (2019). Spatiotemporal distribution and annual load of microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research*, *160*, 228–237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.053>
- EPA - Environmental Protection Agency. (2018). *Basic Information about Nonpoint Source (NPS) Pollution*. <https://www.epa.gov/nps/basic-information-about-nonpoint-source-nps-pollution>
- Eriksson, O., & Finnveden, G. (2009). Plastic waste as a fuel - CO₂-neutral or not? *Energy and Environmental Science*, *2*(9), 907–914. <https://doi.org/10.1039/b908135f>
- Esiukova, E., Zobkov, M., & Chubarenko, I. (2020). Data on microplastic contamination of the Baltic Sea bottom sediment samples in 2015–2016. *Data in Brief*, *28*, 104887. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104887>
- European Bioplastics. (2020). *Mechanical recycling*. https://docs.european-bioplastics.org/publications/bp/EUBP_BP_Mechanical_recycling.pdf
- Ferreira, M., Thompson, J., Paris, A., Rohindra, D., & Rico, C. (2020). Presence of microplastics in water, sediments and fish species in an urban coastal environment of Fiji, a Pacific small island developing state. *Marine Pollution Bulletin*, *153*, 110991. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110991>
- FICEM - Federación Interamericana del Cemento. (2018). *Documento de preguntas y respuestas sobre el coprocesamiento en la industria cementer*. http://ficem.org/dev/wp-content/uploads/2018/09/8_Documento-de-preguntas-respuestas-V2.pdf
- Frias, J. P. G. L., Lyashevskaya, O., Joyce, H., Pagter, E., & Nash, R. (2020). Floating microplastics in a coastal embayment: A multifaceted issue. *Marine Pollution Bulletin*, *158*, 111361. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111361>
- Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2019). *Decreto por el que se adicionan y reforman las fracciones a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal* (N.d.; pp. 5–8). https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetitas/408ba286c289c8b5f78d4a87d6d5b9b8.pdf
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, *70*(6), 1055–1064. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst122>
- Galgani, François, Hanke, G., & Maes, T. (2015). Global distribution, composition and abundance of marine litter. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 29–56). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_2

- Galloway, T. S. (2015). Micro- and nano-plastics and human health. In M. Bergmann, L. Gutow, & M. Klages (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 343–366). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_13
- Gao, F., Li, J., Sun, C., Zhang, L., Jiang, F., Cao, W., & Zheng, L. (2019). Study on the capability and characteristics of heavy metals enriched on microplastics in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, *144*, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.039>
- Garcés-Ordóñez, O., Espinosa, L. F., Pereira, R., & Costa, M. (2020). The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, *160*, 111558. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111558>
- GEMET - General Multilingual Environmental Thesaurus. (2020). *Marine pollution*. <https://www.eionet.europa.eu/gemet/en/concept/5044>
- GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment* (P. Kershaw (Ed.)). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. http://ec.europa.eu/environment/marine/good-environmental-status/descriptor-10/pdf/GESAMP_microplastics_full_study.pdf
- GESAMP - Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. In P. J. Kershaw & C. M. Rochman (Eds.), *Reports and Studies GESAMP* (Vol. 93). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3803.7925>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, *3*(7), 1–5. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>
- Gobierno de México. (2024). *Elementos de un acta constitutiva*. <https://e.economia.gob.mx/guias/elementos-de-un-acta-constitutiva/#:~:text=El acta constitutiva o contrato,momento de crear una empresa.>
- Gobierno de Tamiagua. (2022, January 26). *Gobierno de Tamiagua toma acuerdos para resolver problemas de drenaje y alcantarillado*. <http://www.tamiagua.gob.mx/gobierno/gobierno-de-tamiagua-toma-acuerdos-para-resolver-problemas-de-drenaje-y-alcantarillado/>
- Godoy, V., Prata, J. C., Blázquez, G., Almendros, A. I., Duarte, A. C., Rocha-Santos, T., Calero, M., & Martín-Lara, M. Á. (2020). Effects of distance to the sea and geomorphological characteristics on the quantity and distribution of microplastics in

- beach sediments of Granada (Spain). *Science of the Total Environment*, 746, 142023.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142023>
- Goswami, P., Vinithkumar, N. V., & Dharani, G. (2020). First evidence of microplastics bioaccumulation by marine organisms in the Port Blair Bay, Andaman Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111163>
- Grelaud, M., & Ziveri, P. (2020). The generation of marine litter in Mediterranean island beaches as an effect of tourism and its mitigation. *Scientific Reports*, 10(20326).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41598-020-77225-5>
- Grillo, A. C., & Mello, T. J. (2021). Marine debris in the Fernando de Noronha Archipelago, a remote oceanic marine protected area in tropical SW Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112021. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112021>
- Guo, X., & Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 142, 1–14.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.03.019>
- Hansani, K. U. D. N., Thilakarathne, E. P. D. N., Koongolla, J. B., Gunathilaka, W. G. I. T., Perera, B. G. D. O., Weerasingha, W. M. P. U., & Egodauyana, K. P. U. T. (2023). Contamination of microplastics in tropical coral reef ecosystems of Sri Lanka. *Marine Pollution Bulletin*, 194(Part A), 115299.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2023.115299>
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & Lü, F. (2019). Municipal solid waste (MSW)landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*, 159, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.060>
- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, 652, 483–494.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>
- Hernández-Ávila, A. (2012). *Estado de las áreas marinas y costeras protegidas en América Latina*. <http://www.fao.org/3/a-as176s.pdf>
- Horodytska, O., Valdés, F. J., & Fullana, A. (2018). Plastic flexible films waste management – A state of art review. *Waste Management*, 77, 413–425.
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.04.023>
- Hoyt, E. (2018). Marine Protected Areas. In B. Würsig, K. M. Kovacs, & J. G. M. Thewissen (Eds.), *Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)* (Third, pp. 569–580).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804327-1.00167-9>
- Huang, J. S., Koongolla, J. B., Li, H. X., Lin, L., Pan, Y. F., Liu, S., He, W. H., Maharana, D., & Xu, X. R. (2020). Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Science of the Total Environment*, 708, 134839.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>

- Huang, Y., Liu, Q., Jia, W., Yan, C., & Wang, J. (2020). Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment. *Environmental Pollution*, 260, 114096. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114096>
- IMO - International Maritime Organization. (n.d.). *The London convention and protocol: their role and contribution to protection of the marine environment*.
- IMO - International Maritime Organization. (2017). *Annex 21. Resolution MEPC.295(71)*. [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/MEPC.295\(71\).pdf](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/Garbage/Documents/MEPC.295(71).pdf)
- IMO - International Maritime Organization. (2020a). *Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter*. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/LCLP/Pages/default.aspx>
- IMO - International Maritime Organization. (2020b). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. <http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-%28MARPOL%29.aspx>
- INAPESCA - Instituto Nacional de Pesca. (2018). *Acuacultura: Jaula o corral para atún*. <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuacultura-jaula-o-corral-para-atun>
- INECC - Instituto Nacional de Ecología. (2004). *Estado del medio ambiente: zonas marinas y costeras*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/448/8.pdf>
- Instituto Apoyo. (2020). *10. Sistemas animales: la respiración. ¿Cómo respiran los peces bajo el agua?*. <https://institutoapoyo.org.pe/wp-content/uploads/2020/05/guia-como-respiran-los-peces-bajo-el-agua.pdf>
- IUCN - International Union for Conservation of Nature. (2018). *Marine plastics*. https://www.iucn.org/sites/dev/files/marine_plastics_issues_brief_final_0.pdf
- IUCN - International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2020). *Protected Areas*. <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about>
- Ivar do Sul, J. A., Costa, M. F., Barletta, M., & Cysneiros, F. J. A. (2013). Pelagic microplastics around an archipelago of the Equatorial Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 75(1–2), 305–309. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.07.040>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Jang, M., Yang, H., Park, S. A., Sung, H. K., Koo, J. M., Hwang, S. Y., Jeon, H., Oh, D. X., & Park, J. (2022). Analysis of volatile organic compounds produced during incineration of non-degradable and biodegradable plastics. *Chemosphere*, 303(Part 1), 134946. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134946>

- Järlskog, I., Strömvall, A. M., Magnusson, K., Gustafsson, M., Polukarova, M., Galfi, H., Aronsson, M., & Andersson-Sköld, Y. (2020). Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban streets and in sweepsand and washwater. *Science of the Total Environment*, 729, 138950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138950>
- Jeong, C. B., Kang, H. M., Lee, M. C., Kim, D. H., Han, J., Hwang, D. S., Souissi, S., Lee, S. J., Shin, K. H., Park, H. G., & Lee, J. S. (2017). Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod *Paracyclops nana*. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep41323>
- Jones, J. S., Porter, A., Muñoz-Pérez, J. P., Alarcón-Ruales, D., Galloway, T. S., Godley, B. J., Santillo, D., Vagg, J., & Lewis, C. (2021). Plastic contamination of a Galapagos Island (Ecuador) and the relative risks to native marine species. *Science of The Total Environment*, 789, 147704. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.147704>
- Kaiser, D., Kowalski, N., & Waniek, J. J. (2017). Effects of biofouling on the sinking behavior of microplastics. *Environmental Research Letters*, 12(12), 124003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8e8b>
- Kalita, N. K., Bhasney, S. M., Mudenur, C., Kalamdhad, A., & Katiyar, V. (2020). End-of-life evaluation and biodegradation of Poly(lactic acid) (PLA)/Polycaprolactone (PCL)/Microcrystalline cellulose (MCC) polyblends under composting conditions. *Chemosphere*, 247, 125875. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125875>
- Karapanagioti, H. K., & Werner, D. (2019). Sorption of Hydrophobic Organic Compounds to Plastics in the Marine Environment: Sorption and Desorption Kinetics. In *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 78, pp. 205–219). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59256-6_256
- Karlsson, T. M., Arneborg, L., Broström, G., Almroth, B. C., Gipperth, L., & Hassellöv, M. (2018). The unaccountability case of plastic pellet pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 129(1), 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.041>
- Kawecki, D., & Nowack, B. (2019). *Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics As Macro-and Microplastics*. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02900>
- Kazour, M., Jemaa, S., Issa, C., Khalaf, G., & Amara, R. (2019). Microplastics pollution along the Lebanese coast (Eastern Mediterranean Basin): Occurrence in surface water, sediments and biota samples. *Science of the Total Environment*, 696, 133933. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133933>
- Knight, L. J., Parker-Jurd, F. N. F., Al-Sid-Cheikh, M., & Thompson, R. C. (2020). Tyre wear particles: an abundant yet widely unreported microplastic? *Environmental Science and Pollution Research*, 27(15), 18345–18354. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08187-4>

- Kohli, K., Prajapati, R., Maity, S. K., & Sharma, B. K. (2019). Hydrocracking of heavy crude/residues with waste plastic. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *140*, 179–187. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2019.03.013>
- Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G. A. J., & Ragas, A. M. J. (2017). Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *14*(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>
- Krook, J., Svensson, N., & Eklund, M. (2012). Landfill mining: A critical review of two decades of research. *Waste Management*, *32*(3), 513–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.015>
- Kumar M, V., & Sheela A, M. (2020). Effect of plastic film mulching on the distribution of plastic residues in agricultural fields. *Chemosphere*, 128590. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128590>
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., & Caruso, A. (2016). Microplastic interactions with freshwater microalgae: Hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type. *Environmental Pollution*, *215*, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, *163*, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.ENVINT.2022.107199>
- Li, C. T., Zhuang, H. K., Hsieh, L. Te, Lee, W. J., & Tsao, M. C. (2001). PAH emission from the incineration of three plastic wastes. *Environment International*, *27*(1), 61–67. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00056-3)
- Li, R., Zhang, S., Zhang, L., Yu, K., Wang, S., & Wang, Y. (2020). Field study of the microplastic pollution in sea snails (*Ellobium chinense*) from mangrove forest and their relationships with microplastics in water/sediment located on the north of Beibu Gulf. *Environmental Pollution*, *263*, 114368. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114368>
- Li, W., Lo, H. S., Wong, H. M., Zhou, M., Wong, C. Y., Tam, N. F. Y., & Cheung, S. G. (2020). Heavy metals contamination of sedimentary microplastics in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, *153*, 110977. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110977>
- Li, W., Zhang, Y., Wu, N., Zhao, Z., Xu, W., Ma, Y., & Niu, Z. (2019). Colonization Characteristics of Bacterial Communities on Plastic Debris Influenced by Environmental Factors and Polymer Types in the Haihe Estuary of Bohai Bay, China. *Environmental Science and Technology*, *53*(18), 10763–10773. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03659>
- Liu, Z., Adams, M., & Walker, T. R. (2018). Are exports of recyclables from developed to

developing countries waste pollution transfer or part of the global circular economy? *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 22–23.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.005>

Long, M., Moriceau, B., Gallinari, M., Lambert, C., Huvet, A., Raffray, J., & Soudant, P. (2015). Interactions between microplastics and phytoplankton aggregates: Impact on their respective fates. *Marine Chemistry*, 175, 39–46.
<https://doi.org/10.1016/j.marchem.2015.04.003>

Lusher, A. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. In *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 245–307). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_10

Lusher, A., Hollman, P., & Mendoza-Hill, J. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture. Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety*. <http://www.fao.org/3/a-i7677e.pdf>

Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Connor, I., & Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports*, 5(1), 14947. <https://doi.org/10.1038/srep14947>

Mak, C. W., Tsang, Y. Y., Leung, M. M. L., Fang, J. K. H., & Chan, K. M. (2020). Microplastics from effluents of sewage treatment works and stormwater discharging into the Victoria Harbor, Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111181.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111181>

Manfra, L., Rotini, A., Bergami, E., Grassi, G., Faleri, C., & Corsi, I. (2017). Comparative ecotoxicity of polystyrene nanoparticles in natural seawater and reconstituted seawater using the rotifer *Brachionus plicatilis*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 557–563. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.068>

Marfella, R., Prattichizzo, F., Sardu, C., Fulgenzi, G., Graciotti, L., Spadoni, T., D'Onofrio, N., Scisciola, L., La Grotta, R., Frigé, C., Pellegrini, V., Municinò, M., Siniscalchi, M., Spinetti, F., Vigliotti, G., Vecchione, C., Carrizzo, A., Accarino, G., Squillante, A., ... Paolisso, G. (2024). Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *New England Journal of Medicine*, 390(10), 900–910.
https://doi.org/10.1056/NEJMOA2309822/SUPPL_FILE/NEJMOA2309822_DATA-SHARING.PDF

MARM - Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (2011). *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para incineración de residuos*. http://www.prtr-es.es/Data/images/MTD_Incineracion_residuos_ES.pdf

Masebinu, S. O., Akinlabi, E. T., Muzenda, E., Aboyade, A. O., Mbohwa, C., Manyuchi, M., & Naidoo, P. (2017). A review on factors affecting municipal solid waste generation. *2nd International Engineering Conference (IEC 2017) Federal University of Technology*.
https://ujcontent.uj.ac.za/vital/access/manager/Repository/uj:26089?site_name=Glo

balView

- Masiá, P., Ardura, A., & Garcia-Vazquez, E. (2019). Microplastics in special protected areas for migratory birds in the Bay of Biscay. *Marine Pollution Bulletin*, *146*, 993–1001. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.065>
- McEachern, K., Alegria, H., Kalagher, A. L., Hansen, C., Morrison, S., & Hastings, D. (2019). Microplastics in Tampa Bay, Florida: Abundance and variability in estuarine waters and sediments. *Marine Pollution Bulletin*, *148*, 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.068>
- Menéndez-Pedriz, A., & Jaumot, J. (2020). Interaction of environmental pollutants with microplastics: A critical review of sorption factors, bioaccumulation and ecotoxicological effects. *Toxics*, *8*(2). <https://doi.org/10.3390/TOXICS8020040>
- Nel, H. A., Sambrook Smith, G. H., Harmer, R., Sykes, R., Schneidewind, U., Lynch, I., & Krause, S. (2020). Citizen science reveals microplastic hotspots within tidal estuaries and the remote Scilly Islands, United Kingdom. *Marine Pollution Bulletin*, *161*, 111776. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111776>
- Ng, K. L., & Obbard, J. P. (2006). Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, *52*(7), 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.11.017>
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). *Tidal Currents 1*. Retrieved April 15, 2024, from https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/02tidal1.html
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020). *Ocean pollution*. <http://www.noaa.gov/resource-collections/ocean-pollution>
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. (2023). *What is a current?* <https://oceanservice.noaa.gov/facts/current.html>
- NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. (2020). *Plastics*. <https://marinedebris.noaa.gov/info/plastic.html>
- Obbard, R. W. (2018, February 1). Microplastics in Polar Regions: The role of long range transport. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, *1*, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.004>
- Oberbeckmann, S., Kreikemeyer, B., & Labrenz, M. (2018). Environmental Factors Support the Formation of Specific Bacterial Assemblages on Microplastics. *Frontiers in Microbiology*, *8*(JAN), 2709. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02709>
- Ocean Conservancy. (2023). *Cleanup reports. The International Coastal Cleanup®*. <https://oceanconservancy.org/trash-free-seas/international-coastal-cleanup/annual-data-release/>
- Ojovan, M. I., & Lee, W. E. (2014). Treatment of Radioactive Wastes. In M. I. Ojovan & W.

- E. Lee (Eds.), *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation* (Second, pp. 171–203). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099392-8.00014-0>
- ONUAA - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura ¿Qué sabemos? ¿Deberíamos preocuparnos?* <http://www.fao.org/3/ca3540es/CA3540ES.pdf>
- Ostiategui-Francia, P., Usategui-Martín, A., & Liria-Loza, A. (2017). Microplastics Presence in Sea Turtles. In *Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems* (pp. 34–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812271-6.00035-1>
- Padhan, R. K., & Sreeram, A. (2019). Chemical Depolymerization of PET Bottles via Combined Chemolysis Methods. In S. Thomas, A. Rane, K. Kanny, A. V.K., & M. G. Thomas (Eds.), *Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles* (pp. 135–147). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811361-5.00007-9>
- Partelow, S., von Wehrden, H., & Horn, O. (2015). Pollution exposure on marine protected areas: A global assessment. *Marine Pollution Bulletin*, *100*(1), 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.08.026>
- Patchaiyappan, A., Ahmed, S. Z., Dowarah, K., Jayakumar, S., & Devipriya, S. P. (2020). Occurrence, distribution and composition of microplastics in the sediments of South Andaman beaches. *Marine Pollution Bulletin*, *156*, 111227. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111227>
- Patti, T. B., Fobert, E. K., Reeves, S. E., & Burke da Silva, K. (2020). Spatial distribution of microplastics around an inhabited coral island in the Maldives, Indian Ocean. *Science of the Total Environment*, *748*, 141263. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141263>
- Perez-Venegas, D. J., Toro-Valdivieso, C., Ayala, F., Brito, B., Iturra, L., Arriagada, M., Seguel, M., Barrios, C., Sepúlveda, M., Oliva, D., Cárdenas-Alayza, S., Urbina, M. A., Jorquera, A., Castro-Nallar, E., & Galbán-Malagón, C. (2020). Monitoring the occurrence of microplastic ingestion in Otariids along the Peruvian and Chilean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, *153*, 110966. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110966>
- Pieper, C., Magalhães Loureiro, C., Law, K. L., Amaral-Zettler, L. A., Quintino, V., Rodrigues, A. M., Ventura, M. A., & Martins, A. (2021). Marine litter footprint in the Azores Islands: A climatological perspective. *Science of The Total Environment*, *761*, 143310. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143310>
- Pischedda, A., Tosin, M., & Degli-Innocenti, F. (2019). Biodegradation of plastics in soil: The effect of temperature. *Polymer Degradation and Stability*, *170*, 109017. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.109017>
- Pittura, L., Garaventa, F., Costa, E., Minetti, R., Nardi, A., Ventura, L., Morgana, S., Capello, M., Ungherese, G., Regoli, F., & Gorbi, S. (2022). Microplastics in seawater and

marine organisms: Site-specific variations over two-year study in Giglio Island (North Tyrrhenian Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 181, 113916.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113916>

PLASTICS & ACC - Plastics Industry Association & American Chemistry Council. (2017). *Operation Clean Sweep*. <https://www.opcleansweep.org/wp-content/uploads/OCS-Manual.pdf>

Plastics Europe. (2021). Plastics the fact 2021. *Plastics Europe Market Research Group (PEMRG) and Conversio Market & Strategy GmbH*.

Plastics Europe. (2022). *Plastics - the Facts 2022* . <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>

Plastics soup foundation. (2020). *Microplastics: global impact*.
<https://www.beatthemicrobead.org/impact/global-impact/>

Plastics Technology. (2020). *Reciclado químico: una alternativa de valor dentro de la economía circular de los plásticos* . <https://www.pt-mexico.com/articulos/reciclado-quimico-una-alternativa-de-valor-dentro-de-la-economia-circular-de-los-plasticos>

Plastics Technology México. (2022). *Presentan plan de acción sobre residuos marinos y contaminación por plásticos*. <https://www.pt-mexico.com/noticias/post/presentan-plan-de-accion-sobre-residuos-marinos-y-contaminacion-por-plasticos>

PlasticsEurope. (2020a). *Agricultura: el plástico en las aplicaciones agrícolas*.
<https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/agriculture>

PlasticsEurope. (2020b). *Recycling and energy recovery*.
<https://www.plasticseurope.org/en/focus-areas/circular-economy/zero-plastics-landfill/recycling-and-energy-recovery>

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2023a). *ABC del tratado sobre el plástico que se está debatiendo esta semana en París*.
<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/abc-del-tratado-sobre-el-plastico-que-se-esta-debatiendo-esta>

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2023b). *Borrador preliminar del instrumento internacional jurídicamente vinculante sobre la contaminación por plásticos, incluso en el medio marino*.
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/43239/ZeroDraftSp.pdf>

Portz, L., Manzolli, R. P., Herrera, G. V., Garcia, L. L., Villate, D. A., & Ivar do Sul, J. A. (2020). Marine litter arrived: Distribution and potential sources on an unpopulated atoll in the Seaflower Biosphere Reserve, Caribbean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111323. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111323>

Portz, L., Manzolli, R. P., Villate-Daza, D. A., & Fontán-Bouzas, Á. (2021). Where does marine litter hide? The Providencia and Santa Catalina Island problem, SEAFLOWER

Reserve (Colombia). *Science of The Total Environment*, 813, 151878.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151878>

Prata, J. C., Patrício Silva, A. L., da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 16, Issue 13). MDPI AG.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16132411>

Prinz, N., & Korez, Š. (2020). Understanding How Microplastics Affect Marine Biota on the Cellular Level Is Important for Assessing Ecosystem Function: A Review. In *YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future* (pp. 101–120). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20389-4_6

PROFEPA - Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2019a). *Áreas Naturales Protegidas con ecosistemas marinos y costeros*.
<https://www.gob.mx/profepa/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-56539>

PROFEPA - Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. (2019b). *Universo de atención de la PROFEPA sobre los recursos marinos*.
<https://www.gob.mx/profepa/articulos/universo-de-atencion-de-la-profepa-sobre-los-recursos-marinos>

Punkkinen, H., Oasmaa, A., Laatikainen-Luntama, J., Nieminen, M., & Laine-Ylijoki, J. (2017). *Thermal conversion of plastic-containing waste: A review*.
[http://arvifinalreport.fi/files/Thermal conversion of plastic-containing waste A review.pdf](http://arvifinalreport.fi/files/Thermal%20conversion%20of%20plastic-containing%20waste%20A%20review.pdf)

Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24–58.
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.07.044>

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2020.106274>

Ríos, J. M. (2022). El papel del color en la ingesta de fragmentos de microplástico por el pez cebra (*Danio rerio*). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 371–380. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.54523>

Ripken, C., Kotsifaki, D. G., & Nic Chormaic, S. (2021). Analysis of small microplastics in coastal surface water samples of the subtropical island of Okinawa, Japan. *Science of the Total Environment*, 760, 143927.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143927>

- Rist, S., Baun, A., & Hartmann, N. B. (2017). Ingestion of micro- and nanoplastics in *Daphnia magna* – Quantification of body burdens and assessment of feeding rates and reproduction. *Environmental Pollution*, 228, 398–407.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.048>
- Ritchie, H. (2018). *FAQs on Plastics*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/faq-on-plastics>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2018). *Plastic Pollution*. Our World in Data; Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Rivera-Garibay, O. O., Álvarez-Filip, L., Garelli-Ríos, O., Pérez-Cervantes, E., & Estrada-Saldívar, N. (2020). *Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas*. https://www.greenpeace.org/static/planet4-mexico-stateless/2020/09/12e508ed-estudio_impacto_contaminacion-plastico.pdf
- Rochman, C. M., Hoh, E., Kurobe, T., & Teh, S. J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3(1), 3263.
<https://doi.org/10.1038/srep03263>
- Rodrigues, J. P., Duarte, A. C., Santos-Echeandía, J., & Rocha-Santos, T. (2019, February 1). Significance of interactions between microplastics and POPs in the marine environment: A critical overview. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 111, 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.038>
- Romano, E., Bergamin, L., Di Bella, L., Bainsi, M., Berto, D., D'Ambrosi, A., Di Fazio, M., Galli, M., Medeghini, L., Panti, C., Provenzani, C., Rampazzo, F., & Fossi, M. C. (2023). First record of microplastic in the environmental matrices of a Mediterranean marine cave (Bue Marino, Sardinia, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 186, 114452.
<https://doi.org/10.1016/j.MARPOLBUL.2022.114452>
- Ruiz-Orejón, L. F., Mourre, B., Sardá, R., Tintoré, J., & Ramis-Pujol, J. (2019). Quarterly variability of floating plastic debris in the marine protected area of the Menorca Channel (Spain). *Environmental Pollution*, 252, 1742–1754.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.063>
- Saeed, T., Al-Jandal, N., Al-Mutairi, A., & Taqi, H. (2020). Microplastics in Kuwait marine environment: Results of first survey. *Marine Pollution Bulletin*, 152, 110880.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110880>
- Salvador, F., Turra, A., & Baruque-Ramos, J. (2017, November 15). Synthetic fibers as microplastics in the marine environment: A review from textile perspective with a focus on domestic washings. *Science of the Total Environment*, 598, 1116–1129.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.172>
- Samadi, K., Francisco, M., Hegde, S., Diaz, C. A., Trabold, T. A., Dell, E. M., & Lewis, C. L. (2019). Mechanical, rheological and anaerobic biodegradation behavior of a Poly(lactic acid) blend containing a Poly(lactic acid)-co-poly(glycolic acid) copolymer.

Polymer Degradation and Stability, 170, 109018.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2019.109018>

Samy, M., Sánchez-Lizaso, J. L., & Forcada, A. (2011). Status of marine protected areas in Egypt | Animal Biodiversity and Conservation. *Animal Biodiversity and Conservation*, 34(1), 165–177. <http://abc.musecienciasjournals.cat/volumen-34-1-2011-abc/status-of-marine-protected-areas-in-egypt/?lang=es>

Santos, I. R., Friedrich, A. C., Wallner-Kersanach, M., & Fillmann, G. (2005). Influence of socio-economic characteristics of beach users on litter generation. *Ocean and Coastal Management*, 48(9–10), 742–752. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2005.08.006>

Schwarz, A. E., Lighthart, T. N., Boukris, E., & van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92–100.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.029>

Secretaría de Finanzas y Planeación - SEFIPLAN. (2017). *Cuadernillos municipales, 2017. Tamiahua*. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2017/05/Tamiahua.pdf>

SEDEMA - Secretaría del Medio Ambiente. (2020). *Áreas Naturales Protegidas*.
<https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/areas-naturales-protegidas>

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2018). *Cuadernillos municipales, 2018. Tamiahua*. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2018/05/Tamiahua.pdf>

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2019). *Cuadernillos municipales, 2019. Tamiahua*. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2019/06/Tamiahua_2019.pdf

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2020). *Cuadernillos municipales, 2020. Tamiahua*. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2020/12/Tamiahua_2020.pdf

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2021). *Cuadernillos municipales, 2021. Tamiahua*. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2021/06/TAMIAHUA_2021.pdf

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2022). *Cuadernillos municipales, 2022. Tamiahua*. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2022/09/Tamiahua.CM_.Ver_.2022.4.pdf

SEFIPLAN - Secretaría de Finanzas y Planeación. (2023). *Cuadernillos municipales, 2023. Tamiahua*. http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2023/08/Tamiahua.CM_.Ver_.2023.1.pdf

SEMAR - Secretaría de Marina. (n.d.). *Tamiahua, Veracruz*.

<https://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioTamiahua.pdf>

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Informe de la situación del Medio Ambiente en México 2002. Capítulo 6 Biodiversidad: conservación de la biodiversidad*. http://www.paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/06_Biodiversidad/6.3_Conseleccion/index.htm

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2005). *Guía de normatividad ambiental aplicable al ecoturismo comunitario* (2a ed.). http://www.cdi.gob.mx/ecoturismo/docs/guia_normatividad_ambiental_semarnat.pdf

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Capítulo 7 Residuos*. <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema1>

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Crecimiento poblacional en la zona costera*. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores17/conjuntob/indicador/06_biodiversidad/03_oceanicos/6_3_5.html

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018a). *Informe de la Situación del Medio Ambiente. Capítulo 4 Biodiversidad: Protección y Conservación de Ecosistemas*.

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018b). *Océanos y mares de México*. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/oceanos-y-mares-de-mexico>

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019a). *Áreas Naturales Protegidas*. http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_BIODIV04_06&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019b). *Visión Nacional hacia una gestión sustentable: cero residuos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf

SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos*. www.gob.mx/inecc

SEMARNAT & CONANP - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2014a). *Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan*. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/132_libro_pm.pdf

SEMARNAT & CONANP - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales & Comisión

- Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2014b). *Programa de Manejo Parque Nacional Lagunas de Chacahua*.
https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/165_libro_pm.pdf
- Senado de la República. (2019). *Iniciativa con proyecto de decreto por el cual se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General de Salud*.
https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-29-1/assets/documentos/Inic_MORENA_SALUD.pdf
- Serrano-Ruiz, H., Martin-Closas, L., & Pelacho, A. M. (2021). Biodegradable plastic mulches: Impact on the agricultural biotic environment. *Science of the Total Environment*, 750, 141228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141228>
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. In *Biotechnology Advances* (Vol. 26, Issue 3, pp. 246–265). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>
- Shahnawaz, M., Sangale, M. K., & Ade, A. B. (2019). Microplastics. In *Bioremediation Technology for Plastic Waste* (pp. 11–19). Springer Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-13-7492-0_2
- Shamshiry, E., Nadi, B., Bin Mokhtar, M., Komoo, I., Saadiah Hashim, H., & Yahaya, N. (2011). Integrated models for solid waste management in tourism regions: Langkawi Island, Malaysia. *Journal of Environmental and Public Health*, 2011.
<https://doi.org/10.1155/2011/709549>
- Sharma, S., & Chatterjee, S. (2017). Microplastic pollution, a threat to marine ecosystem and human health: a short review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(27), 21530–21547. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9910-8>
- Shashi, B., Jigmat, D., Jashan, J. S., & Shankar Sehgal. (2021). Biodegradation of plastics: A state of the art review. *Materialstoday: Proceedings*, 39(Part 1), 31–34.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.096>
- Shi, J., Sanganyado, E., Wang, L., Li, P., Li, X., & Liu, W. (2020). Organic pollutants in sedimentary microplastics from eastern Guangdong: Spatial distribution and source identification. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 193, 110356.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110356>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019a). *Ficha Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado*.
<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=2&=11>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019b). *Ficha El Vizcaíno*.
<https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=116&=11>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación

- & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019c). *Ficha Lagunas de Chacahua*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=165&=11>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019d). *Ficha Sistema Arrecifal Lobos - Tuxpan*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=132&=11>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019e). *Ficha Yum Balam*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=44&=11>
- SIMEC & CONANP - Sistema de Información Monitoreo y Evaluación para la Conservación & Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2020). *Ficha Huatulco*. <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=134&=11>
- Singh, B., & Sharma, N. (2008). Mechanistic implications of plastic degradation. In *Polymer Degradation and Stability* (Vol. 93, Issue 3, pp. 561–584). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2007.11.008>
- SISR - Servicio de Información sobre Sitios Ramsar. (2005). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). Laguna de Tamiahua*. <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1596RIS.pdf>
- Solis, M., & Silveira, S. (2020). Technologies for chemical recycling of household plastics – A technical review and TRL assessment. *Waste Management*, 105, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.038>
- Su, Y., Zhang, Z., Wu, D., Zhan, L., Shi, H., & Xie, B. (2019). Occurrence of microplastics in landfill systems and their fate with landfill age. *Water Research*, 164, 114968. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114968>
- Sui, M., Lu, Y., Wang, Q., Hu, L., Huang, X., & Liu, X. (2020). Distribution patterns of microplastics in various tissues of the Zhikong scallop (*Chlamys farreri*) and in the surrounding culture seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111595. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111595>
- Swiontek, M., Walczak, M., Kalwasińska, A., Richert, A., Świątczak, J., Deja-Sikora, E., & Burkowska-But, A. (2020). Biofilm formation during biodegradation of polylactide, poly (3,4 hydroxybutyrate) and poly(ϵ -caprolactone) in activated sludge. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159, 539–546. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.05.107>
- Syberg, K., Knudsen, C. M. H., Tairova, Z., Khan, F. R., Shashoua, Y., Geertz, T., Pedersen, H. B., Sick, C., Mortensen, J., Strand, J., & Palmqvist, A. (2020). Sorption of PCBs to environmental plastic pollution in the North Atlantic Ocean: Importance of size and polymer type. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100062>
- Tabasová, A., Kropáč, J., Kermes, V., Nemet, A., & Stehlík, P. (2012). Waste-to-energy

technologies: Impact on environment. *Energy*, 44(1), 146–155.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.014>

Teng, F., Wang, Z., Ren, K., Liu, S., & Ding, H. (2024). Analysis of composition characteristics and treatment techniques of municipal solid waste incineration fly ash in China. *Journal of Environmental Management*, 357, 120783.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2024.120783>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2005). *Marine litter, an analytical overview*. UNEP. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8348>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2009). *Marine Litter: A global Challenge*. Nairobi.
<http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10744/MarineLitterAglobalChallenge.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2014). *Micro plastics*.
<https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10745/brochure-microplastics.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2016). *Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/7720/-Marine_plasctic_debris_and_microplastics_Global_lessons_and_research_to_inspire_action_and_guide_policy_change-2016Marine_Plastic_Debris_and_Micropla.pdf?sequence=3&isAllowed=y

UNEP - United Nations Environment Programme. (2018a). *Legal limits on single-use plastics and microplastics: A global review of national laws and regulations*.
<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27113>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2018b). *Single-use plastics: A Roadmap for Sustainability*.

UNEP - United Nations Environment Programme. (2020). *Why does working with regional seas matter?* <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/why-does-working-regional-seas-matter>

UNEP - United Nations Environment Programme. (2015). *Plastic in cosmetics*.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf

UNEP & NOAA - United Nations Environment Programme & National Oceanic Atmospheric Administration. (2011). *The Honolulu Strategy. A global framework for prevention and management of marine debris*.
https://marinedebris.noaa.gov/sites/default/files/publications-files/Honolulu_Strategy.pdf

- UNEP & OCHA - United Nations Environment Programme & Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. (2011). *Guía de manejo de residuos de desastres*.
<https://resourcecenter.undac.org/wp-content/uploads/2020/12/DWMG-SPA-1.pdf>
- UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. (2017). *Marine Pollution*. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/ioc-oceans/focus-areas/rio-20-ocean/blueprint-for-the-future-we-want/marine-pollution/>
- US EPA - United States Environmental Protection Agency. (2016). *Ecological Risk Assessment*. <https://www.epa.gov/risk/ecological-risk-assessment>
- Van Loo, S., & Koppejan, J. (Eds.). (2008). *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan.
https://books.google.com.mx/books/about/The_Handbook_of_Biomass_Combustion_and_C.html?id=KE565zmFumQC&redir_esc=y
- Vanguardia Veracruz. (2020). *Avanza el proyecto de la planta tratadora de residuos líquidos en Tamiahua*. <https://www.vanguardiaveracruz.mx/avanza-el-proyecto-de-la-planta-tratadora-de-residuos-liquidos-en-tamiahua/>
- Vázquez-Morillas, A., Espinosa-Valdemar, R. M., Beltrán-Villavicencio, M., & Velasco-Pérez, M. (2014a). *Bioplásticos y plásticos biodegradables*.
<http://biblioteca.org.anipac.mx/biblioteca/degradabilidad-2/bioplasticos-y-plasticos-degradables>
- Vázquez-Morillas, A., Espinosa-Valdemar, R. M., Beltrán-Villavicencio, M., & Velasco-Pérez, M. (2014b). El reciclaje de los plásticos. *Asociación Nacional Del Plástico, 0047*.
<http://biblioteca.anipac.mx/biblioteca/reciclaje/medio-ambiente-reciclaje/el-reciclaje-de-los-plasticos>
- Vázquez-Morillas, A., Sotelo-Navarro, P. X., Espinosa-Valdemar, R. M., Velasco-Pérez, M., Quecholac-Piña, X., Beltrán-Villavicencio, M., & Alvarez-Zeferino, J. C. (2018). *Degradación & biodegradación de plásticos. Resumen Ejecutivo 2018*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21504.48642>
- Vázquez-Morillas, A., Martínez-Salvador, C., Cruz-Salas, A. A., Tapia-Fuentes, J., Velasco-Pérez, M., Hermoso-López Araiza, J. P., Alvarez-Zeferino, J. C., Beltrán-Villavicencio, M., & Espinosa-Valdemar, R. M. (2023). *Inventario Nacional de Fuentes de Contaminación Plástica*.
https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2023/NFCP_2023.pdf
- Viršek, M. K., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A., & Peterlin, M. (2017). Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Marine Pollution Bulletin, 125*(1–2), 301–309.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.024>
- Wang, J., Lu, L., Wang, M., Jiang, T., Liu, X., & Ru, S. (2019). Typhoons increase the

- abundance of microplastics in the marine environment and cultured organisms: A case study in Sanggou Bay, China. *Science of the Total Environment*, 667, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.367>
- Wang, T., Hu, M., Song, L., Yu, J., Liu, R., Wang, S., Wang, Z., Sokolova, I. M., Huang, W., & Wang, Y. (2020a). Coastal zone use influences the spatial distribution of microplastics in Hangzhou Bay, China. *Environmental Pollution*, 266, 115137. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115137>
- Wang, T., Hu, M., Song, L., Yu, J., Liu, R., Wang, S., Wang, Z., Sokolova, I. M., Huang, W., & Wang, Y. (2020b). Coastal zone use influences the spatial distribution of microplastics in Hangzhou Bay, China. *Environmental Pollution*, 266, 115137. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115137>
- Wei, X.-F., Bohlén, M., Lindblad, C., Hedenqvist, M., & Hakonen, A. (2021). Microplastics generated from a biodegradable plastic in freshwater and seawater. *Water Research*, 198, 117123. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117123>
- Weinstein, J. E., Dekle, J. L., Leads, R. R., & Hunter, R. A. (2020). Degradation of bio-based and biodegradable plastics in a salt marsh habitat: Another potential source of microplastics in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111518. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111518>
- Wilhelmsson, D., Thompson, R. C., Holmström, K., Lindén, O., & Eriksson-Hägg, H. (2013). Marine Pollution. In *Managing Ocean Environments in a Changing Climate: Sustainability and Economic Perspectives* (pp. 127–169). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407668-6.00006-9>
- Wu, N., Zhang, Y., Zhao, Z., He, J., Li, W., Li, J., Xu, W., Ma, Y., & Niu, Z. (2020). Colonization characteristics of bacterial communities on microplastics compared with ambient environments (water and sediment) in Haihe Estuary. *Science of the Total Environment*, 708, 134876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134876>
- Xu, Q., Xing, R., Sun, M., Gao, Y., & An, L. (2020). Microplastics in sediments from an interconnected river-estuary region. *Science of the Total Environment*, 729, 139025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139025>
- Yan, Z., Liu, Y., Zhang, T., Zhang, F., Ren, H., & Zhang, Y. (2022). Analysis of Microplastics in Human Feces Reveals a Correlation between Fecal Microplastics and Inflammatory Bowel Disease Status. *Environmental Science and Technology*, 56(1), 414–421. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C03924/SUPPL_FILE/ES1C03924_SI_001.PDF
- Yu, P., Liu, Z., Wu, D., Chen, M., Lv, W., & Zhao, Y. (2018). Accumulation of polystyrene microplastics in juvenile *Eriocheir sinensis* and oxidative stress effects in the liver. *Aquatic Toxicology*, 200, 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.04.015>
- Zettler, E. R., Mincer, T. J., & Amaral-Zettler, L. A. (2013). Life in the “plasticsphere”: Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and*

Technology, 47(13), 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>

Zhang, C., Wang, S., Sun, D., Pan, Z., Zhou, A., Xie, S., Wang, J., & Zou, J. (2020). Microplastic pollution in surface water from east coastal areas of Guangdong, South China and preliminary study on microplastics biomonitoring using two marine fish. *Chemosphere*, 256, 127202. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127202>

Zhang, S., Sun, Y., Liu, B., & Li, R. (2020). Full size microplastics in crab and fish collected from the mangrove wetland of Beibu Gulf: Evidences from Raman Tweezers (1–20 μm) and spectroscopy (20–5000 μm). *Science of the Total Environment*, 143504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143504>

8 ANEXOS



Para mí, solo soy una niña jugando en la playa, mientras vastos océanos de la verdad no se han descubierto. Isaac Newton

8.1 Anexo 1. Concentraciones de microplásticos en arena de playa

Tabla 8.1. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/kg_{sh}

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	3.18 – 106.60	21.30	13.70	30.70	942.90
3 - Turística	0.97 – 18.62	6.50	4.90	5.90	35.10
4 - Contigua a la turística	0.42 – 12.48	6.04	6.20	3.50	12.30
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 105.29	35.00	28.40	32.90	1,082.29

ss = sedimento húmedo

Tabla 8.2. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/litro

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	4.46 – 160.43	31.40	19.40	46.30	2,142.00
3 - Turística	1.27 – 25.85	9.10	7.10	8.20	66.49
4 - Contigua a la turística	0.64 – 16.81	8.42	9.20	4.80	22.87
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 134.33	53.99	33.40	52.90	2,794.99

Tabla 8.3. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/m²

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	222.82 – 8,021.39	1,572.40	970.80	2,314.10	5,354,957.10
3 - Turística	63.66 – 1,292.34	453.30	353.30	407.70	166,218.20
4 - Contigua a la turística	31.83 – 840.34	420.80	458.40	239.10	57,166.95
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 6716.32	2,699.26	1,671.10	2,643.40	6,987,481.43

Tabla 8.4. Valores estadísticos de la concentración de microplásticos por zona de playa en términos de # MP/m

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	35.00 – 1,260.00	247.00	152.50	363.50	132,128.90
3 - Turística	10.00 – 203.00	71.20	55.50	64.00	4,101.29
4 - Contigua a la turística	5.00 – 132.00	66.10	72.00	37.60	1,410.54
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 1,055.00	424.00	262.50	415.20	172,140.00

8.2 Anexo 2. Concentraciones de partículas de chapapote en arena de playa

Tabla 8.5. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # piezas/kg_{sh}

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	100.35 – 468.63	248.90	218.10	104.30	10,887.50
3 - Turística	6.91 – 284.95	108.80	82.00	83.30	6,934.23
4 - Contigua a la turística	8.98 – 201.55	81.50	73.30	53.30	2,835.96
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 105.29	34.84	28.40	32.80	1,073.51

ss = sedimento húmedo

Tabla 8.6. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # piezas/litro

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	114.51 – 646.80	364.30	327.20	148.20	21,968.20
3 - Turística	8.28 – 371.15	149.90	114.00	109.70	12,027.20
4 - Contigua a la turística	12.10 – 280.75	115.16	105.00	75.00	5,624.20
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 134.33	53.67	33.40	52.40	2,746.92

Tabla 8.7. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # MP/m²

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	7,225.62 – 32,340.21	18,213.60	16,361.10	7410.80	54,920,508.00
3 - Turística	413.80 – 18,557.42	7,496.20	5,697.70	5,483.40	30,067,990.12
4 - Contigua a la turística	604.79 – 14,037.43	5,758.21	5,252.10	3,749.70	14,060,488.80
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 6,716.32	2,683.35	1,671.10	2,620.60	6,867,303.81

Tabla 8.8. Valores estadísticos de la concentración de chapapote por zona de playa en términos de # MP/m

Zona de playa	Intervalo	\bar{x} (media)	M (mediana)	σ (desviación estándar)	Varianza
2 - Alimentación de tortugas	1,135.00 – 5,080.00	2,861.00	2,570.00	1,164.10	1,355,115.60
3 - Turística	65.00 – 2,915.00	1,177.50	895.00	861.30	741,901.39
4 - Contigua a la turística	95.00 – 2,205.00	904.50	825.00	589.00	346,930.28
5 - Contigua al helipuerto	0.00 – 1,055.00	421.50	262.50	411.60	169,444.72

8.3 Anexo 3. Resultados numéricos de los índices de contaminación

Zona	Macrorresiduos		Fragmentos		MR + FRAG	
	IC (Piezas/m ²)	Categoría	IC (Piezas/m ²)	Categoría	IC (Piezas/m ²)	Categoría
1 - Terraplén	23.0	Muy sucia	9.1	Muy sucia	32.1	Muy sucia
2 - Alimentación de tortugas	7.4	Muy sucia	20.6	Muy sucia	28.0	Muy sucia
3 - Uso público	0.5	Muy limpia	2.0	Limpia	2.5	Moderada
4 - Contigua uso público	0.6	Muy limpia	0.4	Muy limpia	1.0	Muy limpia
5 - Contigua al helipuerto	0.4	Muy limpia	0.8	Muy limpia	1.2	Limpia

8.4 Anexo 4. Documentación necesaria para realizar actividades de investigación en áreas naturales protegidas

Universidad Autónoma de Baja California



INSTITUTO DE INGENIERÍA

Oficio No. 604/2021-2

Q.B. BLANCA MÓNICA ZAPATA NÁJERA
DIRECTORA DEL APFF SISTEMA ARRECIFAL LOBOS TUXPAN
P R E S E N T E:

Por este medio me permito solicitar permiso para realizar actividades de investigación en la isla Lobos, que se localiza en el APFF Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan. La investigación forma parte de la tesis doctoral **Evaluación de la presencia de micro plásticos en diferentes compartimentos ambientales en un área natural protegida** que está siendo desarrollada por la alumna **Arely Areanely Cruz Salas**, inscrita en el Doctorado en Ciencias, del posgrado Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería que se oferta en este instituto en la Universidad Autónoma de Baja California, bajo la dirección de la Dra. Sara Ojeda Benítez, adscrita a este instituto y de la Dra. Alethia Vázquez Morillas de la Universidad Autónoma Metropolitana.

De ser aceptada nuestra solicitud, el trabajo se llevaría a cabo del 24 al 26 de septiembre del presente año, participarán un total de siete personas (profesores investigadores y alumnos). Las actividades consistirán en la recolección de muestras agua de mar, sedimentos del fondo marino, sedimentos de playa y flora para evaluar la presencia de micro plásticos y residuos sólidos. Es importante aclarar que todas las muestras tomadas en la isla se manipularán ahí mismo con la finalidad de sólo extraer los micros plásticos (MP) o residuos de interés y no transportar biota o materiales abióticos al exterior. Es importante aclarar que no acamparemos y para arribar a la isla se contratará a uno de los prestadores de servicios autorizados por la CONANP.

Sin más por el momento, me despido de usted agradeciendo de antemano su respuesta y la atención prestada. Aprovechando la oportunidad para enviarle un cordial saludo, quedamos a sus órdenes para cualquier aclaración que resulte pertinente.

A T E N T A M E N T E
Mexicali, Baja California a 23 de agosto del 2021
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"


DR. MARIO ALBERTO CURIEL ALVAREZ
DIRECTOR



c.c.p Dra. Jesús Eliana Rodríguez Burgueño, Coordinadora de Investigación y Posgrado
c.c.p. Archivo/Expediente/Minutario

Figura 8.1. Ejemplo de oficio dirigido a la directora del ANP



MEDIO AMBIENTE
CALIDAD DE VIDA AMBIENTE Y RESERVAS NATURALES



CONANP
COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS
NATURALES PROTEGIDAS



**COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS
NATURALES PROTEGIDAS**
ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA
SISTEMA ARRECIFAL LOBOS TUXPAN

Oficio No. F.007.DRPPCGM.APFFSALT/144/2021

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz; a 21 de septiembre 2021

Asunto: No inconveniente para realizar actividades de investigación sin colecta o manipulación de ejemplares de especies no consideradas en riesgo en área naturales protegidas.

ARELY AREANELY CRUZ SALAS
ALUMNA DE DOCTORADO EN CIENCIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

En atención a su solicitud de fecha 01 de septiembre del año 2021, recibido en la Dirección del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, el mismo día, mes y año, mediante el cual, remite usted la solicitud para realizar actividades de investigación sin colecta o manipulación de ejemplares de especies no consideradas en riesgo, dentro del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, en la Isla Lobos, los días 26, 27 y 28 de septiembre del presente año.

Que con fundamento en los Artículos 50, 51, y 64 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente; 82, 83 y 105 del reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Áreas Naturales Protegidas, 40, 41, 42, 170 así como 79 fracción XXXIV y 80 fracción XIII del Reglamento Interior de esta Secretaría y el Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, esta Dirección no tiene inconveniente de que los días 26, 27 y 28 de septiembre del presente año, realice actividades de investigación sin colecta o manipulación de ejemplares de especies no consideradas en riesgo, ingresando para tal efecto un total de 07 personas al sitio conocido como Isla Lobos, ubicado al interior de la poligonal del Área Natural Protegida, Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, siempre y cuando cumpla con las siguientes obligaciones:

1. Haga uso exclusivamente de las rutas senderos y zonificación establecidos en su solicitud y siempre con la compañía de un guardaparque del área protegida.
2. Respete la señalización y las zonas del área;

Reforma No. 26 Colonia Santiago de la Peña Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., C.P. 92720.
Tel. 01 783 0375573 lokustuxpan@conanp.gob.mx www.gob.mx/conanp
Página 1 de 3



Figura 8.2. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP



MEDIO AMBIENTE

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



CONANP

COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS
NATURALES PROTEGIDAS



- 3. Proporcione los datos que le sean solicitados por el personal para efectos informativos y estadísticos;**
- 4. Brinde el apoyo y las facilidades necesarias para que el personal de la secretaría que realice labores de vigilancia, protección y control, así como en situaciones de emergencia o contingencia;**
- 5. Haga del conocimiento del Área Natural Protegida las Irregularidades que hubieren observado, así como aquellas acciones que pudieran constituir infracciones o delitos;**
- 6. Atienda las indicaciones que haga el personal de esta Dirección y otras autoridades competentes, referentes a la protección del ecosistema y sus recursos naturales y;**
- 7. Se responsabilice de todos aquellos daños provocados a los ecosistemas por motivos de las actividades que deriven de su estancia en el área, sujetándose a las sanciones que las leyes en la materia establezcan.**

Por otra parte deberá tomar en consideración que durante la realización de las actividades de investigación se desarrollarán principalmente en la subzona de preservación donde no se permite:

- 1. Anclarse, pararse, asirse o tocar los corales, arrecifes, pastos marinos, arrastrar equipo sobre las formaciones coralinas, así como remover sedimentos del fondo marino;**
- 2. Perturbar o destruir por cualquier medio o acción los sitios de alimentación, anidación, refugio o reproducción de las especies silvestres;**
- 3. Alimentar, tocar o hacer ruidos intensos que perturben el comportamiento natural de los ejemplares de la vida silvestre;**
- 4. Arrojar, verter o descargar cualquier tipo de desechos orgánicos e inorgánicos, residuos sólidos o líquidos, o cualquier otro tipo de contaminante;**
- 5. Capturar, remover, extraer, retener o apropiarse de vida silvestre y sus productos;**
- 6. Extracción de piedra viva y arena;**
- 7. Introducir especies exóticas.**

Así mismo quedará prohibido:

Reforma No. 26 Colonia Santiago de la Peña Tuzpan de Rodríguez Cano, Mex, C.P. 92770.
Tel. (01 763 6925373 info@conanp.gob.mx www.gob.mx/conanp
Página 2 de 3



Figura 8.3. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP. Continuación de la Figura 8.2



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



CONANP

COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS



- a. Arrojar, almacenar, verter o descargar aceites, grasas, combustibles, desechos orgánicos, residuos sólidos o líquidos o cualquier otro tipo de contaminante;**
- b. Las reparaciones, mantenimientos mayores, así como los trabajos de remodelación de embarcaciones y motores;**
- c. Realizar cualquier actividad de limpieza de embarcaciones y achicamiento de sentinas de embarcaciones mayores;**
- d. Utilizar cualquier tipo de insecticidas, herbicidas y cualquier otro biocida en el ambiente marino;**
- e. Usar explosivos o químicos para la captura de organismos de los arrecifes, así como para las actividades de pesca;**

Finalmente, es importante señalar que esta Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas se libera de cualquier responsabilidad que corresponda por los daños que sufran en sus bienes, equipos o personas, o aquellos causados a terceros durante su estancia y desarrollo de las actividades que ampara la presente, dentro del Área Natural Protegida.

Sin más por el momento reciba un cordial saludo.

SUFRAGIO EFECTIVO, NO REELECCIÓN.

DIRECTORA DEL ÁREA DE PROTECCIÓN DE FLORA Y FAUNA SISTEMA ARRECIFAL LOBOS-TUXPAN



BLANCA MÓNICA ZAPATA NÁJERA



C.c.p Archivo

BMZN/jama

Edificio No. 26 Colonia Jardines de la Playa Tuxpan de Rodríguez Cantu, Ver. C.P. 92770.
Tel. 01 785 429 5575 teleext: 01 785 429 5575 www.gob.mx/conanp
Página 3 de 3



Figura 8.4. Ejemplo de permiso emitido por la directora del ANP. Continuación de la Figura 8.3