



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Boca del Río  
Departamento de División de Estudios de Posgrado e Investigación



**SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO  
DEPARTAMENTO DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“MACROPLÁSTICOS EN FONDO DEL PARQUE NACIONAL  
SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”  
TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PRESENTA**

**CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. GABY CARMEN NAVARRETE RODRIGUEZ**

**CO-DIRECTOR**

**DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO**

**ASESOR**

**DRA. MA. DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**

**ASESOR**

**DR. PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ**

23 DE ENERO DEL 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ



Km. 12 Carr. Veracruz-Córdoba, Boca del Río,  
Ver. C.P. 94290. Tel. (229) 690 5010 ext. 102  
dir01\_bdelrio@tecnm.mx  
tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado a mi desarrollo académico mediante la beca CVU 833989.

Al Instituto Tecnológico De Boca Del Río (ITBOCA), por el apoyo profesional, de instalaciones y financiamiento para que este proyecto de investigación se desarrollara de la mejor manera.

A las Dras. Fabiola Lango Reynoso y María del Refugio Castañeda Chávez por ver en mí el potencial para la realización de esta investigación, el apoyo en el emprendimiento del Programa de Educación Ambiental “Aprender para cuidar el mar” y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencia.

Al Dr. Pedro César Reyna González, por sus consejos, su opinión crítica a mi trabajo de tesis y las pláticas tan amenas.

A la Dra. Gabycarmen Navarrete Rodríguez, por su consejo y guía durante el trabajo de investigación.

A Juan Carlos, con especial aprecio por su amistad incondicional, por acompañarme en los muestreos, y hacer más amena la experiencia de cursar la maestría.

A Clara y Belem por su valiosa amistad y apoyo. Es un orgullo para mí coincidir con grandes mujeres, madres, esposas, amigas y científicas.

A Mariana y Eliel por ayudarme en los muestreos de este trabajo de investigación.

A mis profesores y compañeros de maestría quienes, con su compañía y conocimientos, me permitieron pasar momentos agradables y constructivos durante la maestría.

## DEDICATORIAS

A mi hijo, porque siempre has sido para mí como un faro en el mar, desde que llegaste le das sentido a mi vida. Deseo que luches siempre tus sueños y con pasión y esfuerzo.

A mi madre, por todo su apoyo, confianza y amor incondicional. Por darme el ejemplo de constancia para cumplir con las metas a pesar de las dificultades.

A José Martín, por el amor que siempre me demuestras. Por alentarme siempre y celebrar mis logros como si fueran tuyos, por toda la motivación y el consuelo que me has brindado.

Boca del Río, Ver **14/MARZO/2023**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ  
PASANTE DEL PROGRAMA DE LA MAESTRIA EN  
CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL  
PRESENTE**

De acuerdo con el fallo emitido por los integrantes del Comité Revisor de la **TESIS PARA OBTENCIÓN DE GRADO**, desarrollada por usted cuyo título es:

**“MACROPLÁSTICOS EN FONDO DEL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”.**

Esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le concede **AUTORIZACIÓN** para que proceda a su impresión.

**ATENTAMENTE**  
*Excelencia en Educación Tecnológica®  
Por nuestros mares responderemos*



**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN  
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



c.c.p. Coordinación del Programa MCIAMB  
c.c.p. Expediente





**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

**Número Registro: A-01308-150921**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 12:00 horas del día 19 del mes de abril de 2023 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Consejo del Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental del ITBOCA, para examinar la Tesis de Grado titulada:

**“MACROPLÁSTICOS EN FONDO DEL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO”.**

Que presenta el (la) alumno(a):

**CITLALMINA MORALES JIMÉNEZ**

Aspirante al Grado de:

Después de escuchar las opiniones sobre el documento escrito e intercambiar puntos de vista, los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes para su defensa ante el jurado correspondiente.

**LA COMISIÓN REVISORA:**

**DRA. GABYCARMEN NAVARRETE RODRÍGUEZ**

Director

**DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO**

Co-Director

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**

Asesor

**DR. PEDRO CESAR REYNA GONZÁLEZ**

Asesor



## RESUMEN

La presencia de residuos plásticos en el ecosistema marino ha sido señalada como uno de los tipos de contaminación más graves de la actualidad; en relación a los ecosistema arrecifales, los macroplásticos pueden ser un indicador de contaminación ya que son fácilmente observables, debido a su tamaño mayor a 2.5 cm. Sin embargo, una fracción de esos residuos puede llegar a hundirse, ocasionando graves daños como cambios físicos en fondos marinos, ingestión, enredos o enmallamientos, transporte de especies invasoras y pueden servir como vectores para otros contaminantes. El presente trabajo de investigación, tuvo por objetivo determinar la relación entre la distribución, concentración y clasificación de los macroplásticos en fondo arrecifal con respecto a las fuentes de contaminación, las actividades económicas y la hidrodinámica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). El análisis realizado permitió confirmar que las fuentes de contaminación hidrológicas, seguido de los desagües pluviales aportan una mayor cantidad de macro plásticos al ecosistema marino. En relación a la clasificación de los macroplásticos encontrados, el 57% corresponde a los restos de artes de pesca implementadas en esta actividad, los fragmentos plásticos corresponden el segundo grupo más numeroso con un 14%, el tercer grupo fueron los textiles con un 9%. La mayor parte de los macroplásticos se encontró distribuida en los arrecifes del subsistema Veracruz, en los arrecifes Gallega (6 objetos), Anegada de adentro (5 objetos) Ingenieros (3 objetos), Pájaros (1 objeto) y Hornos (1 objetos); por su parte en los arrecifes del subsistema Antón Lizardo solamente se encontraron plásticos en el arrecife Anegadilla (2 objetos) y Enmedio (1 objeto). En referencia a la concentración de macroplásticos en el fondo del PNSAV, es posible señalar que a mayor densidad del material con respecto al agua de mar, las actividades económicas realizadas cerca de los arrecifes tienen una mayor relación a los macroplásticos encontrados. Por otra parte, a mayor densidad del plástico con respecto al agua de mar, la hidrodinámica del PNSAV presenta una menor influencia en si distribución. Como aporte final, se plantea un modelo teórico de la distribución y concentración de macroplásticos en fondos arrecifales.

Palabras clave: Fondo arrecifal, macroplásticos, modelo teórico, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

## ABSTRACT

The presence of plastic waste in the marine ecosystem has been pointed out as one of the most serious types of pollution today; in relation to reef ecosystems, macroplastics can be an indicator of contamination since they are easily observable, due to their size greater than 2.5 cm. However, a fraction of this waste can sink, causing serious damage such as physical changes to the seabed, ingestion, entanglement or entanglement, transport of invasive species and can serve as vectors for other pollutants. The objective of this research work is to determine the relationship between the distribution, concentration and classification of macroplastics in the reef bottom with respect to the sources of contamination, economic activities and hydrodynamics in the Veracruz Reef System National Park (PNSAV). The analysis carried out confirmed that the sources of hydrological contamination, followed by storm drains, contributed a greater amount of macroplastics to the marine ecosystem. In relation to the classification of the macroplastics found, 57% correspond to fishing gear, the plastic fragments correspond to the second largest group with 14%, the third group were textiles with 9%. Most of the macroplastics were found distributed in the reefs of the Veracruz subsystem, in the Gallega (6 objects), Anegada de adentro (5 objects), Ingenieros (3 objects), Pájaros (1 object) and Hornos (1 objects) reefs; On the other hand, in the reefs of the Antón Lizardo subsystem, only plastics were found in the Anegadilla reef (2 objects) and Enmedio (1 object). In reference to the concentration of macroplastics at the bottom of the PNSAV, it is possible to point out that a higher density of the material with respect to seawater, hydrodynamics has a lower influence compared to the economic activities carried out near the reefs. Finally, with all these elements, a theoretical model of the distribution and concentration of macroplastics in reef bottoms is proposed.

Keywords: Reef bottom, Macroplastics, Theoretical model, Veracruz Reef System National Park.

## ÍNDICE GENERAL

No. Descripción	Página
AGRADECIMIENTOS .....	II
DEDICATORIAS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE GENERAL .....	VI
ÍNDICE DE CUADROS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO EPISTÉMICO .....	2
2.1 Aspecto Gnoseológico .....	2
2.2 Aspecto Ontológico .....	2
2.3 Aspecto Epistemológico .....	3
3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	4
3.1 Teoría General de Sistemas.....	4
3.2 Teoría de la Complejidad Ambiental .....	4
3.3 Teoría del Caos.....	5
3.4 Plásticos.....	6
3.4.1 Propiedades fisicoquímicas de los plásticos .....	6
3.4.2 Degradación de los plásticos en el mar .....	8
3.4.3 Clasificación de los plásticos según su tamaño .....	9
3.5 Efectos de los macroplásticos en el ecosistema marino .....	10
3.5.1 Cambios físicos en los fondos marinos.....	10
3.5.2 Ingestión .....	12
3.5.3 Enredos o enmallamientos.....	12
3.5.4 Transporte de especies invasoras .....	13
3.5.6 Vectores de contaminantes.....	13
3.5.7 Efectos socio-económicos .....	15
3.5.8 Sector pesquero.....	15
3.5.9 Sector turístico .....	15

3.5.10 Sector marítimo.....	15
3.6 Fuentes de contaminación por macroplásticos .....	16
3.6.1 Fuentes puntuales.....	16
3.6.2 Fuentes difusas.....	16
3.7 Distribución de macroplásticos en el mar.....	16
3.8 Áreas Naturales Protegidas (ANP).....	18
3.8.1 Ecosistema Arrecifal .....	18
4 MARCO LEGAL.....	19
4. 1 Convenios Internacionales .....	19
4.1.1 Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL). .....	19
4.1.2 Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertido de desechos y otras materias, 1972. ....	19
4.1.3 Protocolo del Convenio de Londres. ....	20
4.1.4 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM)....	20
4.1.5 Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).....	20
4.1.6 Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CEM) .....	20
4.1.7 La Convención de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación .....	20
4.1.8 Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos y Persistentes.....	21
4.2 Estrategias mundiales e instrumentos no vinculantes.....	21
4.2.1 Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO.....	21
4.2.2 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible .....	21
4.2.3 Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (PAM).....	21
4.2.4 Estrategia de Honolulu.....	21
4.3 Instituciones y Organismos relevantes.....	22
4.3.1 Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP/PNUMA) ....	22
4.3.2 Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) .....	22
4.3.3 Local Authorities International Environmental Organisation (KIMO) .....	22
4.3.4 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).....	23
4. 4 Legislación nacional .....	23

5 MARCO DE REFERENCIA .....	25
5.1 Antecedentes .....	25
5.2 Lugar de estudio.....	26
5.2.1 Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).....	26
5.2.2 Modificaciones al polígono.....	28
5.2.3 Arrecife de Enmedio (19.1218611, -95.9495) .....	29
5.2.4 Arrecife Giote (19.0681667, -95.99630555555555).....	29
5.2.5 Arrecife Blanquilla (19.228061, -96.1023295973485).....	30
5.2.6 Arrecife Sacrificios (19.173864, -96.093276).....	30
5.2.7 Arrecife Anegadilla (19.13613, -95.79537).....	30
5.2.8 Arrecife Santiaguillo (19.14440, -095.81107).....	30
5.2.9 Arrecife Anegada de adentro (19.228266, -96.062880).....	30
5.2.10 Arrecife Pájaros (19.186027, -96.092495) .....	30
5.2.11 Arrecife Gallega (19.221013, -96.125088).....	30
5.2.12 Arrecife Hornos (19.194926, -96.122884).....	31
5.2.13 Arrecife Ingenieros (19.151352, -96.092136).....	31
5.2.14 Aspectos hidrológicos .....	31
5.2.15 Aspectos hidrodinámicos locales .....	31
5.2.16 Giro de Campeche .....	33
5.2.17 Aspectos climatológicos.....	34
5.2.18 Aspectos socio-económicos.....	35
6 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	35
6.1 Situación problemática .....	35
6.2 Delimitación del problema .....	36
6.3 Planteamiento del problema.....	36
6.4 Justificación.....	37
6.5 Pregunta de investigación .....	38
7 HIPÓTESIS .....	38
8 OBJETIVOS .....	38
8.1 General .....	38
8.2 Particulares .....	39
9 MATERIAL Y MÉTODOS .....	39

9.1 Área de estudio .....	39
9.2 Fuentes puntuales de emisión de residuos plásticos .....	41
9.3 Encuesta sobre residuos plásticos en el PNSAV .....	42
9.4 Hidrodinámica .....	43
9.5 Muestreo .....	43
9.6 Procesamiento de las muestras .....	44
10 RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	45
10.1 Fuentes de contaminación en zona de playas Veracruz-Boca del Río .....	45
10.2 Macroplásticos relacionados a actividades económicas en playas Veracruz-Boca del Río.....	46
10.3 Encuesta sobre macroplásticos en fondo del PNSAV .....	53
10.4 Concentración de macroplásticos con relación a la densidad, forma, tamaño y presencia de bioincrustación.....	57
10.5 Distribución de macroplásticos en relación a las principales actividades económicas en zona costera y arrecifal .....	62
10.6 Distribución de macroplásticos en relación a la influencia de la hidrodinámica anual del PNSAV .....	65
10.7 Propuesta de modelo teórico de distribución y concentración de macroplásticos en fondos arrecifales.....	70
11 CONCLUSIONES .....	71
12 RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS .....	73
ANEXO I.....	89

## ÍNDICE DE CUADROS

No. Descripción	Página
1. Descripción de los componentes de los sistemas inmersos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	03
2. Tipos de desechos plásticos más comunes en el medio marino y su porcentaje de la producción mundial en 2015 .....	06
3. Tipos de plásticos y sus características .....	07
4. Escala de clasificación de residuos plásticos .....	09
5. Ejemplos de contaminantes tóxicos en el plástico .....	14
6. Regulación de productos plásticos en México .....	24
7. Puntos de muestreo .....	40
8. Clasificación de macroplásticos en muestras de sedimento arrecifal .....	44
9. Fuentes de puntuales contaminación en playas de Veracruz-Boca del Río .....	47
10. Macroplásticos encontrados en el fondo del PNSAV .....	57
11. Velocidad de precipitación de macroplásticos con influencia hidrodinámica .....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Diagrama de sistemas inmersos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	03
2. Ciclo de vida típico de los residuos plásticos en el mar .....	08
3. Clasificación de residuos plásticos por tamaño .....	10
4. Compartimentos marinos .....	11
5. Concentraciones de desechos plásticos en aguas superficiales de los océanos .....	17
6. Tipos de arrecifes en el suroeste del Golfo de México .....	28
7. Nueva poligonal del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) conforme al decreto de 2012 .....	29
8. Patrón de corrientes en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).....	32
9. Velocidad de las corrientes superficiales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	33
10. Promedios mensuales de mareas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) calculados entre 1993 y 2016 .....	34
11. Diagrama del problema de investigación .....	37
12. Localización del área de estudio en playas de Veracruz- Boca del Río para la identificación de fuentes puntuales de contaminación .....	39
13. Localización los puntos de muestreo de macroplásticos en fondo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	41
14. Formato de campo para la identificación de fuentes puntuales en zona de playas Veracruz-Boca del Río .....	41
15. Principales tipos de desagües en zona de playas Veracruz-Boca del Río .....	42
16. Formato de registro de información complementaria en zona de playas Veracruz-Boca del Río .....	42
17. Plan de buceo para la toma de muestras de sedimento en fondo arrecifal.....	44
18. Fuentes puntuales en zona de playas Veracruz-Boca del Río durante la temporada de nortes 2022 .....	45
19. Principales actividades económicas en playas de Veracruz-Boca del Río .....	46
20. Zona 1. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	49

21. Zona 2. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	50
22. Zona 3. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	50
23. Zona 4. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	51
24. Zona 5. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	52
25. Zona 6. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	52
26. Zona 7. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río .....	53
27. Respuesta a la pregunta 1 .....	54
28. Respuesta a la pregunta 2 .....	54
29. Respuesta a la pregunta 3 .....	55
30. Respuesta a la pregunta 4 .....	55
31. Respuesta a la pregunta 5 .....	56
32. Respuesta a la pregunta 6 .....	56
33. Respuesta a la pregunta 7 .....	56
34. Porcentaje de la composición de macroplásticos encontrados en el fondo marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	60
35. Macroplásticos con bioincrustaciones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	61
36. Distribución de macroplásticos en fondo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	62
37. Tipos de macroplásticos reportados en todos los sitios de muestreo en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	63
38. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 1a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	66
39. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 8a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	67
40. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 9a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	67
41. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 10b en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	68
42. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 11b en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) .....	69

43. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 11c en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)..... 69

44. Factores que influyen en la distribución y concentración de macroplásticos en fondos arrecifales ..... 70

# 1 INTRODUCCIÓN

La excesiva producción de plásticos, la inadecuada gestión de residuos sólidos urbanos, así como la falta de conciencia ambiental son algunos de los factores que han provocado la presencia de residuos sólidos en los mares. Esta es una problemática que se ha acrecentado a nivel mundial y que actualmente se percibe como uno de los problemas más graves que amenaza al ecosistema marino, en especial a los sistemas arrecifales.

Las afectaciones que estos materiales causan al ambiente marino incluyen el enredo de organismos que puede provocar lesiones o muerte; la ingestión de objetos plásticos por parte de los organismos al confundirlos con alimento; su capacidad para servir como vectores a especies invasoras; además de los cambios físico-químicos en zonas en donde se acumulan. Es tal la cantidad de desechos plásticos que llegan al mar que incluso se han reportado varias zonas de acumulación en el centro del Atlántico Norte, el Pacífico Sur, el Atlántico Sur y el Océano Índico (Cózar *et al.*, 2014; Law, 2017). La presencia de residuos plásticos ocasiona afectaciones estéticas al paisaje arrecifal y provoca la muerte de especies de interés comercial, lo cual genera pérdidas económicas para el ser humano.

En México la presencia de basura plástica en zonas arrecifales fue reportada en 2020 por Rivera-Garibay y colaboradores, se encontraron estos materiales en el 100% de los sitios muestreados al azar de las 21 zonas arrecifales, las cuales corresponden a Áreas Naturales Protegidas (ANP). Todas las ANP presentaron residuos sólidos tanto en superficie como en el sustrato arrecifal, el área en donde se encontró mayor número de piezas en el fondo arrecifal fue Veracruz, seguido de Puerto Morelos y Cozumel (Rivera-Garibay *et al.*, 2020). Todas las ANP incluidas en este estudio tienen en común que cuentan con arrecifes coralinos próximos a su costa, por lo cual existen numerosas fuentes puntuales de emisión de contaminantes que los impactan y ello les confiere una mayor vulnerabilidad.

EL Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un ANP situada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo; considerado sistema coralino de mayor tamaño del suroeste del Golfo de México (Tunnell, 2007). Este ecosistema altamente dinámico se ve influenciado por la presencia de aportes fluviales de los ríos Jamapa, La Antigua, y Papaloapan (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008; Pérez-España *et al.*, 2012). El puerto de Veracruz es uno de los destinos turísticos más importante de nuestro país, en 2021, presentó una afluencia de turistas de más de un millón 800 mil (Secretaría de Turismo [SECTUR]), además cuenta con un gran desarrollo portuario, el cual registro un movimiento de carga de treinta y dos toneladas al cierre del 2021 (Administración Portuaria Integral [API]). Debido a estos factores, la zona costera de Veracruz se encuentra altamente influenciada por aportes de contaminantes de plásticos (Herrera-Silveira *et al.*, 2011; Ortiz-Lozano, 2012)

Los residuos plásticos de gran tamaño, denominados macroplásticos, son el punto de partida de un sinnúmero de problemáticas que se generan a partir de su ingreso al mar. La composición densa con la que están fabricados algunos (por ejemplo, poliamida, politereftalato, cloruro de polivinilo) provoca que se hundan con mayor facilidad, sin embargo algunos materiales plásticos menos densos pueden llegar a hundirse debido a la degradación o por la interacción con organismos marinos (Artham *et al.*, 2009, Bravo *et al.*, 2011). Se estima que la zona en donde se encuentra

la mayor cantidad de objetos plásticos es el fondo marino, sin embargo existe zonas tan profundas que aún no han sido exploradas. Los arrecifes, al encontrarse cerca de la costa se encuentran a profundidades accesibles para su estudio, además de que se encuentran más expuestos a la contaminación por residuos plásticos.

## **2 MARCO EPISTÉMICO**

### **2.1 Aspecto Gnoseológico**

Los seres humanos somos capaces de percibir la información mediante diversos canales, es través de ellos que podemos acceder al conocimiento. Richard Bandler y John Grinder (1988), plantean que los seres humanos representamos mentalmente la información por medio de tres sistemas sensoriales principales. El modelo de VAK hace referencia a la percepción Visual, Auditiva y Kinestésica.

Para este trabajo de investigación se tomará como referencia el modelo de Bandler y Grinder de la siguiente manera:

- Percepción Visual: Observación directa del objeto de estudio en el área, lectura de diversas fuentes bibliográficas para comparar resultados y complementar el estado del arte, identificación en laboratorio del objeto de estudio.
- Percepción Auditiva: Búsqueda de diversos materiales didácticos en formato de audio para mejorar la comprensión del tema, diálogo con expertos del tema para ampliar el conocimiento.
- Percepción Kinestésica: Trabajo de campo durante los muestreos, desarrollo de la metodología para obtener las muestras y analizarlas.

### **2.2 Aspecto Ontológico**

En este trabajo de investigación se siguieron las recomendaciones de Bourdieu, Chamboredón y Passeron (1996), quienes mencionan que para identificar el objeto de estudio es necesario definirlo y construirlo en función de una problemática teórica. En este trabajo se planteó como problemática inicial, la presencia de desechos plásticos de gran tamaño en zonas arrecifales. Posteriormente se realizaron aproximaciones metodológicas relacionadas a la problemática identificada, evitando tratar a los hechos de manera aislada, en cambio aproximándose en función de relaciones establecidas entre ellos, se identificó que los desechos plásticos tienen estrecha relación con diversos factores como las corrientes marinas, el oleaje, el transporte de sedimentos, la actividad antropogénica, sólo por mencionar algunos.

Por otra parte, Hidalgo Guzmán (1992), añade que, que para la construcción de un objeto de investigación es necesaria una actitud crítica, fundamentada en la historia; debido a esto, se llevó a cabo la revisión de literatura relacionada con el objeto de estudio, para tener una mejor comprensión de la evolución de la problemática de los desechos plásticos en zonas arrecifales, gracias a esto se delimitó el objeto de estudio como los macroplásticos en fondo del PNSAV. Con base en lo anterior, el mismo autor menciona que a partir de los planteamientos iniciales, se

establecieron relaciones entre los parámetros que tienen influencia en la distribución y concentración de los macroplásticos, lo cual permitió crear una estructura del objeto de estudio.

Después de haber tomado en cuenta lo anterior, se incluyó en la estructura de investigación la influencia de las corrientes marinas, así como las fuentes puntuales de contaminación y las actividades económicas. El contexto del objeto de estudio se encuentra en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

### 2.3 Aspecto Epistemológico

La corriente epistemológica que rige el presente trabajo es la Funcional-Estructuralista. Esta Teoría enfatiza la interdependencia de los sistemas, la importancia de las variables estructurales y el proceso inherente a través del equilibrio homeostático. Dicha corriente filosófica es acorde con la investigación pues analiza de manera sistémica tanto la función como la estructura y divide dicho sistema en subsistemas que se pueden analizar aisladamente y posteriormente complementarse. Además, el uso del Funcional-estructuralismo, permitirá comparar otros sistemas equivalentes para buscar soluciones (López, 2007) (Figura 1, Cuadro 1).

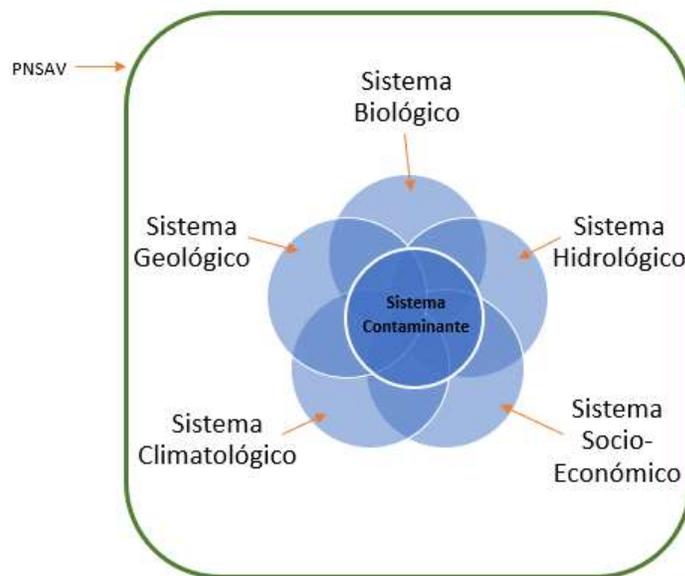


Figura 1. Diagrama de sistemas inmersos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Cuadro 1. Descripción de los componentes de los sistemas inmersos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Función	Estructura	Sistemas
Entorno en el que se desarrollan los diferentes sistemas	Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano	Global
Factores que provocan irregularidades en los sistemas	Macro, meso y microplásticos	Contaminante
Alojan macroplásticos	Sedimentos	Geológico

Transportan sedimentos y macroplásticos	Corrientes marinas	Hidrológico
Promueven el transporte de macroplásticos en sedimentos	Vientos	Climatológico
Se ven afectados por la presencia de macroplásticos	Comunidad arrecifal	Biológico
Emiten los desechos plásticos, se ven afectados por la presencia de macroplásticos	Habitantes del Puerto de Veracruz y Turistas	Social

### 3. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 3.1 Teoría General de Sistemas

Bertalanffy desarrolló la Teoría General de Sistemas en 1940, en esta teoría se estudian las interacciones entre las partes y su entorno, además se establecen relaciones entre distintos sistemas de diferente naturaleza. A partir de ello, los Sistemas Generales se pueden considerar a su vez como un Sistema Particular con relaciones estructurales similares, de tal manera que cualquier sistema se puede tomar como modelo de los demás.

La necesidad de construir distintas Teorías para distintos Sistemas Generales, se debe a que el contexto de cada investigación es diferente, sin embargo, es posible abordar una Teoría General de Sistemas para estudiar los sistemas sin llegar a las particularidades. Para poder lograr esto una Teoría debe ser aplicable a cualquier sistema real o imaginable, además de que deberá poder manejar cualquier número de variables, ya sean continuas o discretas dentro de un sistema (García, 2020).

En el enfoque sistémico es de gran importancia las variables, por una parte, tenemos las variables de entrada, las cuales son generadas por el entorno, por otra parte, tenemos las variables de salida, generadas por el propio sistema. Estas variables se relacionan entre sí, creando un bucle de retroalimentación que no se presenta de manera lineal, lo cual conlleva a la regulación y equilibrio del sistema (García, 2020).

#### 3.2 Teoría de la Complejidad Ambiental

La Teoría de la Complejidad Ambiental surge a partir del mundo físico, desarrollándose a través del pensamiento y el conocimiento, trascendiendo más allá de la dicotomía de lo real y lo simbólico. Desde este punto de vista, lo real corresponde a la naturaleza de la materia y lo simbólico traduce, lo real a través de la palabra dominada por la razón (Leff, 2000).

A partir de lo antes mencionado podemos decir que la Teoría de la Complejidad Ambiental emerge de lo real y lo simbólico, manifestándose en un nuevo estadio entre dicha relación. Respecto a esto, Leff (2007) señala que la complejidad ambiental es entonces “la reflexión del conocimiento sobre lo real, lo que lleva a objetivar a la naturaleza y a intervenirla, a complejizarla por un conocimiento que transforma el mundo a través de sus estrategias de conocimiento”.

Dicha teoría se presenta como un efecto de las diferentes formas de conocimiento que va más allá de una simple relación de conocimientos, surge a partir del mundo transformado por la ciencia, por un conocimiento objetivo, especializado y fragmentado. La Complejidad Ambiental

problematiza los principios de la lógica del desarrollo científico y su relación con lo real, además de su control sobre esa realidad (Leff, 2007).

Otro punto importante que constituye la Teoría de la Complejidad Ambiental es la complejidad del pensamiento el cual rige esta teoría, este nace al reconocer que no es posible entender la realidad de manera lineal y causal. A partir de ello, se han encontrado en las teorías preexistentes, componentes y estructuras parecidas que se pueden superponer en áreas muy diversas, por lo tanto, la Complejidad Ambiental surge ofreciendo una nueva perspectiva bajo la cual se unifica la ciencia (Eschenhagen, 2007).

En relación con lo antes mencionado Gell-Mann señala que “cualquier definición de complejidad es necesariamente dependiente del contexto, incluso subjetivo” (1995, p. 50). Por su parte Zemelman (2007), añade que “la complejidad alude a la exigencia de articulación dinámica de la realidad. De este modo, la complejidad resulta de considerar cualquier estructura (real o conceptual) como abierta con base en la idea de que está en movimiento” (p. 50). Por lo tanto, en el contexto de las Ciencias Ambientales, es la articulación de ciencias como la Biología y Ecología, con otras ciencias que en otros tiempos serían difíciles de relacionar como las Matemáticas o la Sociología. La articulación de las diferentes ciencias, se forma a partir de los cambios que se van generando día con día, lo cual le confiere ese dinamismo propio de la complejidad.

### **3.3 Teoría del Caos**

En este contexto, la palabra caos no es sinónimo de desastre y descontrol, sino un intento de organización bajo un desorden aparente. La Teoría del Caos permite el abordaje desde diversas disciplinas de los sistemas complejos. Esto concuerda con lo señalado por Yorke y May (1972), cuando mencionan que “sistemas sencillos hacen cosas complejas”, refiriéndose al término caos.

Los sistemas caóticos, son muy sensibles a las condiciones iniciales. Algunos presentan atractores que se bifurcan, atractores extraños y ciclos límite. El atractor se puede caracterizar como el lugar del espacio donde el sistema después de un tiempo se estabiliza, a partir del atractor es posible describir el comportamiento de sistemas lineales o no lineales (Romanelli, 2006).

Romanelli (2006) menciona que, al aumentar el caos en un sistema podemos percibir cambios cualitativos bruscos. La transformación de un comportamiento ordenado a un comportamiento caótico no obedece a rutas universales, sin embargo, existe ciertos niveles de inestabilidades antes de alcanzar el estado de caos:

- a) Se presenta una cuasi periodicidad al observarse el aumento gradual del número de frecuencias involucradas (Li y Yorke, 1975).
- b) Se producen bifurcaciones por medio de la duplicación de períodos. Es posible identificar cuando el período de las oscilaciones empieza a duplicarse a medida que pasa el tiempo (Feigenbaum, 1978).

c) Se presenta intermitencia en los periodos. Los períodos regulares e irregulares se alternan durante un tiempo, hasta que al aumentar el parámetro se acortan los períodos regulares y duran más tiempo los irregulares.

### 3.4 Plásticos

Los plásticos son producidos en su mayoría a partir de hidrocarburos provenientes del petróleo y el gas natural. Existen 50 tipos básicos diferentes, siendo los más frecuentes el polietileno de alta densidad (PE-HD), el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS), el polietileno de baja densidad (PE-LD), el polipropileno (PP) y el tereftalato de polietileno (PET) (Shashoua, 2008; Li *et al.*, 2016; Plastics Europe, 2018). Los polímeros se mezclan con distintos aditivos que le confieren al material ciertas propiedades como su color, dureza, flexibilidad, capacidad de aislar o conducir la electricidad (Derraik, 2002), dependiendo de su uso. En ocasiones el contenido de aditivos en los plásticos puede superar el 50% (Plastics Europe, 2022).

El plástico se ha vuelto imprescindible en la actualidad, su bajo costo de producción en comparación con otros como el metal, aunado a su capacidad para ser ligeros y resistentes al mismo tiempo, ha ayudado a aumentar su popularidad. En contraste, la gran cantidad de artículos plásticos que desechan día a día ha ocasionado que se vea sobrepasada la capacidad de los seres humanos para gestionar este tipo de residuos, por lo que terminan acumulándose en los diferentes ecosistemas, siendo en la mayoría de las ocasiones el ecosistema marino el destino final de los residuos plásticos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tipos de desechos plásticos más comunes en el medio marino y su porcentaje de la producción mundial en 2015. (Andrady, 2011; Avio *et al.*, 2017).

Acrónimo	Nombre completo	Densidad (g cm <sup>3-1</sup> )	Ejemplos
PET	Polietileno tereftalato	1.38 - 1.39	Botellas de bebida
PE-LD	Polietileno de baja densidad	0.91 - 0.93	Bolsas, popotes, anillas de refrescos y redes
PE-HD	Polietileno de alta densidad	0.94	Envases de detergentes, leche y jugos
PVC	Policloruro de vinilo	1.20 - 1.45	Construcción, electrónica, automóviles, y tuberías
PP	Polipropileno	0.89 - 0.91	Tapones de botellas, cuerdas y redes
PS	Poliestireno	1.04 - 1.11	Utensilios de comida y envases
PES	Poliéster	1.40	Ropa
PA6	Poliamida	1.13 - 1.5	Cepillos de dientes, hilos de pesca (nailon)

#### 3.4.1 Propiedades fisicoquímicas de los plásticos

Los plásticos son un conjunto de materiales formados por polímeros, es decir, por moléculas de gran tamaño formadas por unidades más pequeñas, conocidas como monómeros (Plastics

Europe, 2022). Las combinaciones entre los diferentes polímeros y aditivos, dan origen a diferentes tipos de plásticos, que se pueden clasificar en plásticos convencionales, plásticos oxodegradables y en bioplásticos (Derraik, 2002). Las propiedades fisicoquímicas de estos materiales tienen relación con las diferentes formas de degradación, las cuales se muestran en la Cuadro 3.

Cuadro 3. Tipos de plásticos y sus características según Bilvao (2015). Modificado de INVEMAR-MADS (2017).

Tipo	Características	Forma de Degradación	Ejemplos	Usos
Convencional	Son polímeros de alto peso molecular, muy resistente y no biodegradable. No sufren procesos de oxidación.	Con el tiempo y en presencia de luz solar (UV) pierden resistencia y se fragmentan sin alteración en la composición química.	PET, PP, PE-LD, PE-HD, PB, ABS, PES, PVC, PA, PS.	Botellas de agua, ropa de poliéster, bolsas plásticas, botellas de detergentes, tuberías, tapas de botellas, cepillos de dientes, recipientes para alimentos.
Oxodegradable	Plástico convencional con aditivo d2W y estabilizantes. Presenta todas las cualidades del plástico.	En presencia de UV y O <sub>2</sub> , se fragmenta y se produce alteración en la composición química. Se biodegradan mediante	PP con d2W, PS con d2W, HDPE con d2W, LDPE con d2W.	Bolsas plásticas de supermercados, tubos, cables, postes.
Bioplástico	Polímeros naturales (Biopolímeros) obtenidos a partir de almidón de maíz, trigo, papa o medio de cultivo de bacterias.	descomposición anaeróbica o aeróbica por acción de microorganismos (bacterias, hongos y algas) en condiciones naturales, los cuales alteran la composición química.	BiopolTM, Pulano (Polisacárido), PLA de almidón de maíz, trigo o papas, PHA.	Empaques de productos medicinales, aplicaciones con marketing ecológico, bolsas de supermercados.

### 3.4.2 Degradación de los plásticos en el mar

La degradación de los desechos plásticos depende de las condiciones en las que se encuentren en el ambiente, muchos de estos desechos pueden tardar en descomponerse hasta 600 años, sin embargo, los tiempos de degradación pueden variar cuando llegan a los océanos. Estos materiales contaminan de diferentes maneras a lo largo de todo el proceso de degradación, de tal manera que aun cuando se encuentran en piezas microscópicas, siguen causando estragos (Greenpeace, 2016). Los residuos plásticos viajan hacia el mar arrastrados por los vientos, lluvias, inundaciones, mareas o por la acción del ser humano. Una vez en el mar, se pueden acumular en las playas, la superficie del mar, en la columna de agua o en el fondo marino (Figura 2).

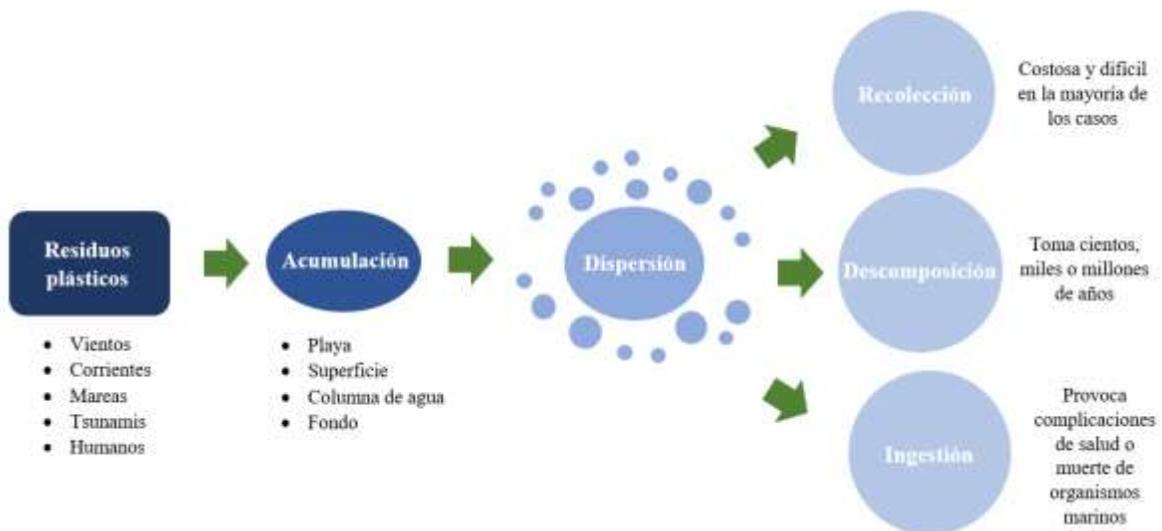


Figura 2. Ciclo de vida típico de los residuos plásticos en el mar. Fuente: Modificado de Iñiguez *et al.*, 2016.

Al acumularse, estos materiales comienzan a fotodegradarse por la acción de la radiación UV, la cual es generada debido a la alta exposición a la luz solar. La fotodegradación provoca que los plásticos pierdan los aditivos que los hacen flexibles y mantienen unidas las partículas. Los residuos plásticos de mayor densidad persisten durante décadas, aun cuando están expuestos a la luz solar directa, y el proceso de degradación se vuelve más lento cuando los objetos se encuentran bajo el agua o en los sedimentos, debido a la menor exposición a los rayos UV y las temperaturas más bajas (Kershaw *et al.*, 2011). A excepción del poliestireno expandido, los plásticos tardan mucho más en degradarse en el agua que en la tierra (Gregory y Andrady, 2003).

La degradación mecánica se ocasiona por el oleaje, mareas y corrientes marinas, al transportar objetos plásticos que chocan contra rocas, arrecifes o cualquier otra estructura marina. El hidrodinamismo tiene efecto en el tamaño y forma que adquieren los objetos plásticos, ya que estas van fragmentándose en piezas cada vez más pequeñas y se dispersan en el medio (Andrady y Neal, 2009).

La degradación biológica, ocurre cuando organismos marinos de gran tamaño o microorganismos interactúan con un objeto de plástico. En ocasiones los animales marinos confunden los residuos plásticos con alimento o los ingieren accidentalmente, esto además de las lesiones internas que provoca en los animales, contribuye a la degradación de los objetos plásticos al pasar por el tracto digestivo. Por otra parte, los residuos plásticos sufren rápidos procesos de biofouling, al ser colonizados por materia orgánica e inorgánica, microorganismos, algas e invertebrados (UNEP, 2016). En la superficie de estos objetos plásticos se forma la plastisfera, término que se utiliza para referirse a ecosistemas que se han adaptado a vivir rodeados de plástico (Zettler *et al.*, 2013) Estos procesos de degradación biológica pueden afectar la flotabilidad, ya que al cubrirse de estos biofilms aumenta el peso de los objetos, hundidos. Al llegar al fondo marino los plásticos encuentran condiciones de menor exposición a los rayos UV y bajas temperaturas lo cual retarda el proceso de degradación (Wright *et al.*, 2020; Gregory y Andrady, 2003).

La degradación térmica o termo-oxidativa sucede debido a que los desechos plásticos están expuestos a altas y bajas temperaturas. Finalmente, la degradación por hidrólisis, implica que una molécula de agua se divide, rompiendo uno o más enlaces químicos, por lo que sus átomos pasan a formar uniones de otra especie química, en este caso de alguna de las macromoléculas presentes en los materiales plásticos. (Campoy y Beiras, 2019).

### 3.4.3 Clasificación de los plásticos según su tamaño

Podemos encontrar diferentes clasificaciones según el tamaño de los residuos plásticos encontrados en el mar, sin embargo, la escala que aquí se presenta ha sido adoptada por la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (MSFD), por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, NOAA y por el Technical Subgroup on Marine Litter (Lippiatt *et al.*, 2013) (Cuadro 4, Figura 3).

Cuadro 4. Escala de clasificación de residuos plásticos (Campoy y Beiras, 2019)

Tipo de residuo	Dimensión
macroplásticos	> 25 mm
mesoplásticos	5 mm a 25 mm
microplásticos	1 $\mu$ m a 5 mm
nanoplásticos	1 nm a 1 $\mu$ m



Figura 3. Clasificación de residuos plásticos por tamaño a) Macroplásticos b) Mesoplasticos c) Microplásticos d) Nanoplasticos. Fuente: Morales-Jiménez, 2021; Ruiz-Reyes, 2021; Celaya-Nogueras, 2020.

### 3.5 Efectos de los macroplásticos en el ecosistema marino

Durante mucho tiempo el ecosistema marino ha sufrido presiones antropogénicas que afectan de forma negativa la biodiversidad marina, ponen en peligro el funcionamiento del planeta y su capacidad para proporcionar los servicios ambientales esenciales para todo ser vivo. Actualmente, la contaminación marina causada por plásticos ha sido reconocida como una amenaza ambiental y ecológica mundial (Paşca-Palmer, 2022). La presencia de estos polímeros causa estragos desde el primer momento en que entran en contacto con el medio ambiente y los estragos pueden seguir aumentando durante cientos de años más debido a su lenta degradación (Gregory y Andrady, 2003). Además, no es necesario que exista una gran cantidad de residuos plásticos para que se produzca alguna afectación al ecosistema; una sola bolsa de plástico, una tapa o una botella puede causar una gran variedad de daños, dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentre.

#### 3.5.1 Cambios físicos en los fondos marinos

El océano se puede dividir en cinco compartimentos: la playa, la superficie del agua, la columna de agua, el fondo marino y la biota (Figura 4) (UNEP, 2016). Aunque resulta imposible determinar con precisión la totalidad de los residuos en el océano, se puede afirmar que la cantidad de plásticos presentes en la columna de agua o depositados en el fondo marino es mayor que en la superficie. Bozhko (2019), estima que el 15% de los residuos plásticos permanece en la superficie, otro 15% en la columna de agua y el 70% se deposita en el fondo marino.

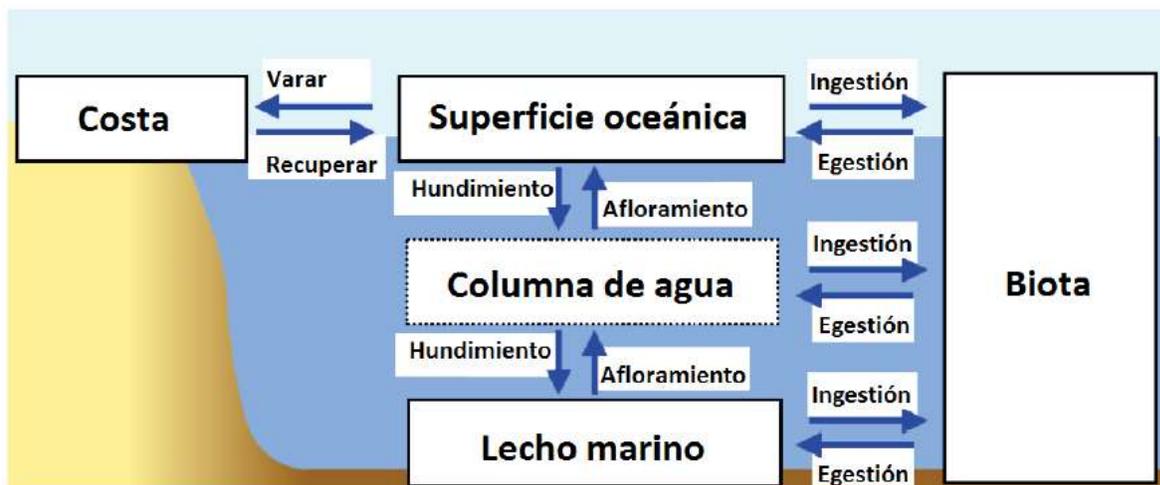


Figura 4. Compartimentos marinos. Fuente: UNEP, 2016.

Algunas botellas, bolsas o contenedores pueden iniciar sus rutas flotando y al ser influenciado por las corrientes marinas, ser arrastrados mar adentro, sin embargo, en la mayoría de los casos al llenarse de agua, terminan hundiéndose y acumulándose en el fondo marino (Bozhko, 2019). Aunado a esto, puede haber plásticos con flotabilidad positiva en la superficie del agua presenten crecimiento y adherencia de organismos, aumentando su densidad y hundiéndolos. Otra posibilidad es que estos residuos sean ingeridos por organismos marinos y al excretarlos se hundan con el resto del excremento (UNEP, 2016).

Los macroplásticos causan modificaciones en el paisaje de los ambientes marinos, esto perjudica especies comercialmente relevantes, con lo que alteran las comunidades marinas y con ello los servicios ecosistémicos que brindan (Green *et al.*, 2015). Otro efecto de la presencia de estos desechos es la asfixia del fondo marino, pues, aunque en un inicio se encuentren suspendidos en la columna de agua, la mayor parte llegará al fondo en donde se acumulan y producen cambios en los parámetros físicos (Gregory, 2009).

De igual manera, disminuyen la cantidad de luz solar que llega al fondo marino e inhiben el intercambio de gases entre la interfaz del sedimento y el agua, generando ambientes tóxicos para organismos filtradores como las diatomeas (Kühn *et al.*, 2015; Rochman, 2015). La materia orgánica y la productividad primaria se ven disminuidas por las condiciones anormales, las cuales tienen la posibilidad de alterar las comunidades marinas. Los arrecifes coralinos también se ven dañados por la contaminación generada por macroplásticos, existe una correlación negativa entre el grado de cobertura coralina y la cobertura de macroplásticos, ya que estos desechos tienen la posibilidad de sombrear y asfixiar a los corales hasta provocar su muerte (Richards y Beger, 2011). Otros efectos importantes que dan lugar a modificaciones en los fondos marino son la colonización del plástico por epifauna, la obstrucción al asentamiento de varias especies con una fase larval planctónica y la migración de especies móviles adheridas a estos materiales (Green *et al.*, 2015).

Otro de los efectos ocasionados por macroplásticos es la fractura del coral, la cual ocasiona la pérdida de complejidad estructural de los arrecifes. Los efectos de las artes de pesca abandonadas están poco documentados. Sin embargo, hay estudios realizados en arrecifes con

gran presión antropogénica, en especial con una importante actividad pesquera. En 2020, Figueroa-Pico y colaboradores reportaron que el mayor porcentaje de fractura de coral por redes y monofilamentos de pesca, se presentó en la temporada de lluvias y en la zonas de cresta arrecifal en Manabí, Ecuador. Las zonas de crestas y pendientes son estructuralmente más complejas que el fondo arrecifal por lo que es más probable que las artes de pesca queden enredadas en estas zonas.

### 3.5.2 Ingestión

Los macroplásticos pueden ser fácilmente confundidos por los animales marinos con su alimento. Al ser ingeridos pueden causar heridas internas y úlceras, rasgando o perforando el tracto intestinal (Kühn *et al.*, 2015; Acampora *et al.*, 2017). Estos residuos, al ingerirlos provocan una sensación de artificial de saciedad que puede generar una desnutrición (Nicolau *et al.*, 2016).

Cuando existe una acumulación de desechos plásticos en los intestinos de los animales puede ocasionar una obstrucción en el tracto gastrointestinal, que puede dar como resultado la muerte por inanición. Sin embargo, se ha observado que varias especies de tortugas y mamíferos marinos tienen la posibilidad de transportar plástico en su sistema digestivo y eliminarlo a través de las excreciones; las aves marinas también tienen la posibilidad de sacar de su organismo residuos plásticos regurgitándolos (Sigler, 2014).

Otro efecto de la acumulación de plástico en los intestinos son los cambios en la flotabilidad de los animales marinos, al presentar una flotabilidad positiva su comportamiento de natación cambia, lo cual perjudica su control de flotabilidad y ocasiona ahogamiento (Nelms *et al.*, 2015). Dichos efectos tienen la posibilidad de incrementar el riesgo de depredación, además de que pueden provocar trastornos reproductivos y del desarrollo (Oehlmann *et al.*, 2009).

Existen diversos reportes de interacciones negativas entre macroplásticos y animales marinos, por ejemplo, Schuyler y colaboradores (2014) estimaron que la ingestión de plástico por las tortugas verdes entre 1985 y 2012 incrementó en casi un 20%. Diversos estudios informaron que la mayoría de las partículas de plástico ingeridas eran de color blancas o transparente (Bugoni *et al.*, 2001; Da Silva Mendes *et al.*, 2015); es posible que las tortugas confundan el plástico blanco con las medusas debido a esta tonalidad (Da Silva Mendes *et al.*, 2015). Además, se han informado por lo menos 48 especies de cetáceos, como ballenas y delfines, que han presentado ingestión de plásticos del año 2000 al 2010.

Aunado a esto, el deceso de un manatí antillano (*Trichechus manatus*), una especie considerada en peligro de extinción, en Florida, pudo haberse producido debido al bloqueo del tracto gastrointestinal por una enorme pieza de plástico (Laist, 1987). Un análisis más reciente en el mar Mediterráneo, relacionó el deceso de un cachalote con la presencia de 4.5 t a 7.6 kg de macroplásticos en su estómago, esto pudo haber provocado inanición o la ruptura de la pared gástrica causada por los desechos plásticos (De Stephanis *et al.*, 2013).

### 3.5.3 Enredos o enmallamientos

En ocasiones, objetos plásticos o pedazos grandes de ellos que se encuentran en el medio marino obstruyen los órganos natatorios de los animales o los atrapan, ocasionando enredos o

enmallamientos, lo cual comúnmente resulta en el deceso por asfixia o ahogamiento (Moore, 2008). Estos macroplásticos pueden provocar heridas o perjudicar la capacidad de natación de los animales, lo cual los lleva al hambre por medio de la reducción de la eficiencia de ingesta de alimentos y les dificulta su huida de los depredadores (Allsopp *et al.*, 2008). Además, las crías de numerosas especies marinas tienen la posibilidad de sufrir daños por redes de pesca u otros instrumentos plásticos debido a su curiosidad, y una vez que estos se enredan alrededor de su cuerpo o de su cuello, apretándolo mientras crece terminan estrangulando al animal (Derraik, 2002).

Una de las más graves amenazas al medio marino son las artes de pesca utilizadas para la captura de especies de interés comercial, que al ser extraviadas o abandonadas en el mar siguen capturando especies objetivo y no objetivo al no encontrarse bajo el control de los pescadores (Smolowitz *et al.*, 1978). Estos macroplásticos son más comunes en zonas de pesca y debido a que la mayoría de las veces no se reportan sus extravíos, es bastante difícil de calcular un número preciso. A pesar de esto, las estimaciones sugieren que las artes de pesca extraviados o abandonadas conforman alrededor del 10% (640,000 toneladas) de las basuras marinas en el mundo (Macfadyen *et al.*, 2009).

#### 3.5.4 Transporte de especies invasoras

De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica de 1992, las especies invasoras son definidas como cualquier especie que se distribuye fuera de su área de distribución natural, mediante diversos medios denominados vectores. Posteriormente su gran facilidad para adaptarse a un amplio rango de condiciones ambientales les permite establecerse y reproducirse sin control, lo cual representa una amenaza tanto para las especies nativas, como para la totalidad del ecosistema. En el caso de los ecosistemas litorales, las secuelas de las invasiones por especies exóticas tienen la posibilidad de ser irreversibles (Thevenon *et al.*, 2014).

La hidrodinámica del mar facilita la dispersión de los desechos plásticos a grandes distancias, en especial de aquellos elaborados a partir de materiales menos densos que el agua de mar, al arrastrarlos hacia otros sitios por medio de las corrientes y el oleaje (Keswani *et al.*, 2016). Con el paso de tiempo, algunas especies marinas colonizan los desechos plásticos, adhiriéndose a alguna pieza o viviendo dentro de ella. Es así como los macroplásticos se convierten en vectores de especies exóticas que al establecerse en nuevos hábitats se convierten en especies invasoras (Rech *et al.*, 2016).

Ejemplo de especies que colonizan este tipo de desechos son las bacterias que forman un biopelículas o biofilms en la superficie de los macroplásticos, las cuales pueden ser depósitos de microorganismos patógenos y microalgas tóxicas. Otro ejemplo serían las especies incrustantes en boyas de acuicultura, las cuales al perderse pueden facilitar la dispersión a larga distancia de los organismos incrustados (Astudillo *et al.*, 2009).

#### 3.5.6 Vectores de contaminantes

Se ha propuesto la ingestión de plásticos por parte de los animales como un potencial mecanismo de transferencias de contaminantes poco solubles en agua, altamente concentrados en partículas de plástico (Carpenter y Smith, 1972; Andrady, 2011; Bakir *et al.*, 2014). Por un lado, las partículas de plástico son altamente efectivas para transportar contaminantes orgánicos, esto se

debe a que están compuestos por materiales altamente hidrófobos (do Sul y Costa, 2014). Respecto a esto, Betts descubrió, en 2008, que la concentración de bifenilos policlorados (PCBs) que se hallan en los microplásticos es un millón de veces más alta que en el agua a su alrededor. En otro estudio realizado, Mato *et al.*, (2001) analizaron gránulos de polipropileno no contaminados, los cuales acumularon o absorbieron del agua con facilidad en un lapso de 7 días contaminantes hidrofóbicos como PCB, p-clorofenol y dicloro difenil dicloroetileno (DDE). Se han encontrado PCB y DDE en gránulos de resina plástica en la costa japonesa (Ogata *et al.*, 2009). Así como PCBs ( $0.02 - 15.56 \text{ ng g}^{-1}$ ) y DDT ( $0.16 - 4.5 \text{ ng g}^{-1}$ ) en gránulos de plástico en la costa de Portugal (Frias *et al.*, 2010).

Por otra parte, aún existe dudas sobre, la forma en la que los contaminantes del plástico ingerido son adsorbidos por el organismo, es de gran importancia asegurar la tranferencia de estos contaminantes para poder considerar a los plásticos como vectores de contaminantes del medio a los organismos. Por ejemplo, Bakir *et al.*, (2014) observaron que la tasa de desorción en laboratorio de contaminantes orgánicos de pellets de plástico es más alta en presencia de los tensioactivos que se encuentran en el intestino, que en el agua de mar. No obstante, la atracción de polímeros amorfos como el polietileno con contaminantes orgánicos hidrófobos es bastante alta, y los modelos termodinámicos no secundan la desorción de los contaminantes hidrófobos del plástico al organismo sino más bien lo opuesto (Gouin *et al.*, 2011). Otros estudios experimentales mencionan ciertos casos en los que se observó el aumento de la disponibilidad de los contaminantes en presencia de microplásticos (Besseling *et al.*, 2012; Browne *et al.*, 2013; Prata *et al.*, 2018), y existen otros casos en los que se ha encontrado que los microplásticos no poseen impacto en el transporte de contaminantes a los organismos (Herzke *et al.*, 2016; Koelmans *et al.*, 2016; Paul-Pont *et al.*, 2016; Ziccardi *et al.*, 2016; Lohmann, 2017; Pittura *et al.*, 2018), inclusive se ha reportado la disminución de la biodisponibilidad de los contaminantes (Chua *et al.*, 2014; Beckingham y Ghosh, 2017; Garrido *et al.*, 2019; Rivera-Hernández *et al.*, 2019).

Aunado a esto, en de su composición normal los plásticos pueden contener aditivos químicos estabilizadores, plastificantes, retardantes, monómeros residuales, que no permiten o retardan su degradación en condiciones de salinidad y que también forman parte de los contaminantes que pueden ser transferidos (Cuadro 5). (Andrady, 2017; Ríos *et al.*, 2007).

Cuadro 5. Ejemplos de contaminantes tóxicos en el plástico.

Contaminante tóxico	Materiales plásticos en los que se encuentran
Antimonios	PET, PE-HD, PS, PC
Formaldehídos	PE, PP
Acetaldehídos	PET, PE-LD, PP
Ftalatos	PET, PE-LD, PP
Bisfenol A	PET, PC
Bencenos	PS
Bromo	PC, PE-HD, PS
Nonifenol	PVC

### 3.5.7 Efectos socio-económicos

Las actividades humanas que se realizan tanto en tierra como directamente en el mar generan residuos plásticos, que en muchas ocasiones, tienen como destino final el medio marino, dando lugar a graves problemas en diferentes ámbitos y niveles socio económicos (López-García, 2015).

### 3.5.8 Sector pesquero

Los macroplásticos causan graves consecuencias para la pesca, principalmente ocasionan una disminución de las capturas, al producirse una mayor mortandad de especies marinas, por causa de la ingestión, por los cambios físico-químicos que ocasionan en el ambiente marino y por la pesca fantasma. De tal manera que este tipo de materiales realizan una pesca indiscriminada durante años. Provocando que se pierdan gran número de organismos y que no se dé tiempo a algunas a especies de reproducirse (López-García, 2015).

Así mismo, hay que tener en cuenta que cuanto más plásticos en la mar, existe una mayor probabilidad de que al recoger las redes de pesca estas traigan consigo residuos plásticos demás de peces. Esto significaría una pérdida de tiempo y un esfuerzo mayor al separar los macroplásticos de los peces (López-García, 2015).

Por otra parte, muchos objetos de plástico de gran tamaño que se encuentran en el medio marino pueden ocasionar daños a las embarcaciones al golpear contra ellos o al enredarse en sus hélices. Aunado a esto, algunas redes de pesca pueden atorarse en los macroplásticos y romperse. Esto ocasionaría, en cualquiera de los casos, importantes pérdidas económicas para los pescadores (López-García, 2015).

### 3.5.9 Sector turístico

Las afectaciones económicas ocasionadas por los plásticos no solo se ven limitadas a sectores que se desarrollan directamente en el mar, sino que también afectan a aquellos que tienen lugar en las playas. En este sentido, es posible afirmar que efectos que tiene la presencia de plásticos de gran tamaño son de tipo estético, pues se genera un aspecto sucio y por lo tanto frenar la afluencia de turistas, y a su vez ocasiona una pérdida de empleos en el sector. Además de esto, se debe considerar el gasto municipal asignado a la limpieza diaria de las playas, lo cual reduce a largo plazo los beneficios económicos (Martínez, 2020).

### 3.5.10 Sector marítimo

El sector marítimo afronta constantemente los daños causados por basura marina plástica. Lo cual ocasiona largos periodos de inactividad de las embarcaciones, además del rescate de embarcaciones en caso de daños graves (Mouat *et al.*, 2016).

Los altos costos ocasionados por el retiro de basura marina son derivados del dragado para capturar los desechos acumulados en el fondo marino, la recolección de escombros flotantes y la disposición final de ellos. En el caso de los puertos y las marinas estas acciones son necesarias para garantizar que sus instalaciones sean seguras y atractivas para los usuarios (Mouat *et al.*, 2016).

### **3.6 Fuentes de contaminación por macroplásticos**

Las fuentes de contaminación corresponden a todos aquellos lugares desde donde se originan, a partir de actividades, procesos u operaciones, sustancias que pueden causar efectos dañinos para la salud humana y el ambiente (SEMARNAT, 2022). Las fuentes de contaminación ambiental son clasificadas por su ubicación en internas o externas al sistema, y por su origen en naturales o antropogénicas (Ortiz-Lozano, 2012).

Así mismo, se pueden clasificar de acuerdo al sitio en donde se encuentren, las fuentes terrestres, como las escorrentías urbanas y los ríos, son responsables del 80% de los contaminantes plásticos en el medio marino; por otra parte, el 20% restante corresponde a las fuentes marinas, como la pérdida de objetos plásticos mar adentro, las actividades industriales como la extracción de gas y petróleo, la pesca y la acuicultura, entre otras actividades (Lebreton *et al.*, 2018; Barboza *et al.*, 2018).

#### **3.6.1 Fuentes puntuales**

En tierra, las fuentes puntuales de contaminación corresponden a aquellas actividades cuyos desechos son vertidos, desde sitios fácilmente distinguibles, directamente a los cuerpos receptores de agua, que finalmente desembocan en el mar (Escobar, 2002).

Un ejemplo de fuentes puntuales de contaminación son los efluentes de agua residual fácilmente identificables, ya sea que la descarga al final sea desde una tubería o canal. En México este tipo de descargas están reguladas y se requiere un permiso de descarga para este tipo de efluentes, la NOM-001-SEMARNAT-2021 establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación, sin embargo estos lineamientos no contemplan la presencia de residuos plásticos en dichas descargas.

Los residuos plásticos pueden llegar a tuberías y canales transportados por el viento, las lluvias, las inundaciones o arrojados directamente a las descargas residuales por los humanos. A pesar de la escasa regulación respecto a la presencia de materiales plásticos en las fuentes puntuales, su fácil monitoreo, permite mantener la vigilancia a fin de que identificar aquellas que emiten residuos plásticos al mar (Holdren *et al.*, 2001).

#### **3.6.2 Fuentes difusas**

La contaminación difusa se presenta desde varios puntos dispersos o en zonas grandes, involucrando la transformación y transporte de desechos a través de diferentes medios. Esto hace que las fuentes difusas sean más difíciles de ubicar y, por lo tanto, difíciles de monitorear y controlar (Arreguín-Cortés *et al.*, 2000; Holdren *et al.*, 2001; Campbell *et al.*, 2004).

A pesar de la dificultad que implica la regulación directamente de las emisiones de fuentes de contaminación difusa, la evaluación e implementación de actividades en la cuenca son alternativas viables (Arreguín-Cortés *et al.*, 2000; Campbell *et al.*, 2004).

### **3.7 Distribución de macroplásticos en el mar**

La distribución de macroplásticos en el medio marino está controlado por el oleaje, las corrientes oceánicas, y los vientos. Otros eventos meteorológicos extremos como las tormentas y

huracanes, pueden provocar inundaciones costeras, mayor escorrentía y con ello el transporte de grandes volúmenes de residuos plásticos hacia el mar (UNEP, 2021).

En mar abierto, las corrientes oceánicas actúan junto con los giros oceánicos, así como como las masas de agua convergentes, para desplazar residuos plásticos en los océanos (Onink *et al.*, 2019). Existen reportes de macroplásticos en los principales el Océano Pacífico (Goldstein *et al.*, 2013; Desforges *et al.*, 2015; Lebreton *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2019), el Océano Ártico y los mares alrededor de la Antártida (Obbard *et al.*, 2014; Lusher *et al.*, 2015; Amélineau *et al.*, 2016; Isobe *et al.*, 2017; Hallanger y Gabrielsen, 2018; Kanhai *et al.*, 2018; Kuhn *et al.*, 2018; Obbard, 2018; Peeken *et al.*, 2018; Kanhai *et al.*, 2019; Mu *et al.*, 2019; Kanhai *et al.*, 2020; Tirelli *et al.*, 2020), el Océano Atlántico (por ejemplo, Kanhai *et al.*, 2017; Fossatti *et al.*, 2020; Pabortsava y Lampitt, 2020) y el Océano Índico (por ejemplo, Imhof *et al.*, 2017; van der Mheen *et al.*, 2019) (Figura 5).

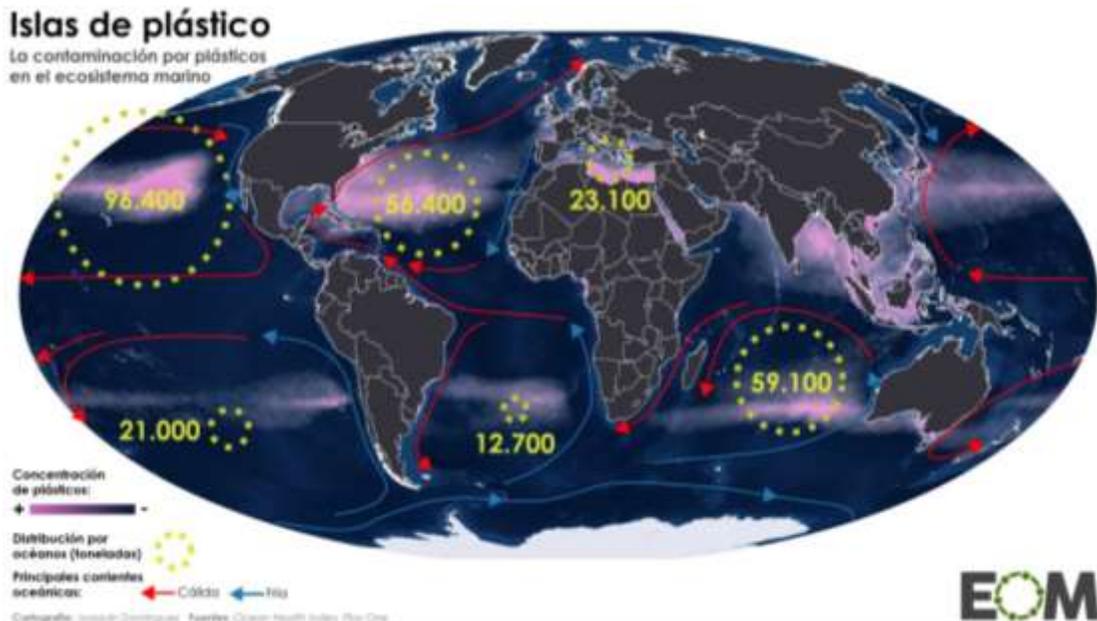


Figura 5. Concentraciones de desechos plásticos en aguas superficiales de los océanos. Cartografía: Joaquín Domínguez. Fuente: Ocean Health Index y Plos One, 2018.

En zonas poco profundas las mareas adquieren gran relevancia; ya que interactúan con las características de la costa, como la morfología, la vegetación costera, la bioturbación, el terreno y la pendiente para transportar residuos plásticos. El movimiento de los objetos plásticos en el agua depende de su composición química, hidrofobicidad, carga superficial, tamaño, densidad y forma (UNEP, 2021). Se ha observado una tendencia hacia la flotabilidad de materiales plásticos de baja densidad, por lo que permanecen periodos más largos en la superficie y recorren grandes distancias. Por el contrario, los materiales plásticos de alta densidad tienden a hundirse con facilidad y difícilmente son arrastrados por las masas de agua (Chubarenko *et al.*, 2016).

El cambio climático afecta la distribución de microplásticos debido a cambios en la circulación oceánica, corrientes locales, afloramientos y vientos superficiales, provocando que estos materiales lleguen a sitios remotos en donde no se reportaban este tipo de afectaciones (Welden y Lusher, 2017).

### 3.8 Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son definidas por La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), como “porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados”.

En este sentido, las ANP son una herramienta de política ambiental creada para impulsar la conservación de los ecosistemas y de la diversidad biológica del territorio mexicano, cuyo fin último es la satisfacción del derecho humano a vivir en un medio ambiente sano. Para cumplir con la protección a este derecho humano y en relación con las Áreas Naturales Protegidas, el marco legal está formado por la Constitución Federal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas, el Convenio sobre Diversidad Biológica y la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas (Convenio RAMSAR), la jurisprudencia del Poder Judicial de la Federación y de la Corte Interamericana de Derechos Humanos y la interpretación oficial de los órganos internacionales que se encargan de vigilar el cumplimiento de los acuerdos internacionales.

#### 3.8.1 Ecosistema Arrecifal

Los ecosistemas arrecifales son los sistemas más complejos y diversos del medio marino, se encuentran exclusivamente dentro de la franja que se forma entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio (CONABIO, 2021). En dichos ecosistemas se encuentra gran cantidad de especies que representan prácticamente todos los grupos de organismos marinos existentes. Es posible encontrar organismos como moluscos, esponjas, mamíferos marinos, crustáceos, algas, equinodermos, poliquetos, corales, peces y organismos microscópicos animales y vegetales. Las interrelaciones que tiene lugar entre los factores bióticos y abióticos dentro de este ecosistema son de gran importancia para el equilibrio en la Tierra. De tal manera que es posible comparar su diversidad con la de las selvas tropicales y los bosques de niebla (WWF, 2006).

Los arrecifes mexicanos representan el 0.63% del área total de arrecifes en el mundo, esto equivale a mil 780 km<sup>2</sup> aproximadamente (Spalding *et al.*, 2001). La importancia ecológica de estos hábitats radica en la provisión de servicios ambientales que brindan. Son sitios de refugio, alimentación, reproducción y crianza de un gran número de especies de especies con valor comercial, se estima que el 10% de la producción mundial de proteína para la alimentación humana se obtiene de organismos que viven en zonas arrecifales.

Por otra parte, estos ecosistemas son de gran importancia para el equilibrio de la dinámica costera, las estructura arrecifales brindan protección efectiva contra la erosión ya que disminuyen la fuerza del oleaje durante tormentas tropicales y huracanes y cambian la dirección y velocidad de las corrientes marinas (CONABIO, 2021). Además, dichos ecosistemas forman parte de nuestro patrimonio biocultural, permiten la generación de conocimientos para posteriormente desarrollar aplicaciones biotecnológicas.

## 4 MARCO LEGAL

Los residuos plásticos generados por las actividades humanas ya sea en zonas costeras o directamente en la mar, en muchos casos tienen como destino final el ecosistema marino. Debido a los problemas generados en diferentes ámbitos y a diferentes niveles, se han tratado de controlar y evitar el vertido de estos contaminantes en los mares, mediante la aprobación de leyes y normativas, con la finalidad de que exista una mayor participación e implicación de Estados y Organismos Internacionales en la defensa y protección de los mares y océanos de todo el mundo. El marco legal de los residuos plásticos se encuentra alojado las siguientes leyes y normativas.

- Convenios internacionales.
- Convenios regionales.
- Legislación nacional.
- Legislación local.

### 4. 1 Convenios Internacionales

Son un conjunto de acuerdos llevados a cabo por diferentes Estados o entre Estados y otros Organismos que buscan que el mayor número de países se comprometan en la lucha y control de la contaminación. Estos convenios producen efectos jurídicos y en los que todas las partes implicadas se comprometen a cumplir y respetar el contenido acordado en el instrumento escrito o establecido verbalmente.

#### *4.1.1 Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL).*

Es uno de los más importantes Convenios de la Organización Marina Internacional (IMO), Aprobado en 1973 y modificado en 1978, actualmente se encuentra ratificado por 119 países. En este instrumento, se establecen y reúnen las medidas a tomar en relación a la prevención de la contaminación marina por la actividad normal o accidental de los buques, así como las normas de aplicación y gestión (IMO, 2021). En el Anexo V se encuentran las reglas para prevenir la contaminación por las basuras de los buques, además cuenta con un apéndice que clasifica las diferentes basuras. (IMO, 2021).

#### *4.1.2 Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertido de desechos y otras materias, 1972.*

Conocido también como el Convenio de Londres, lleva en vigor desde 1975. Pertenece a los primeros Acuerdos internacionales que se ocupa de defender al medio marino de la contaminación derivada de las actividades antropogénicas. Con él se busca mantener el control de las fuentes de contaminación marina y señalar las pautas y medidas correctas para evadir el vertido de desechos plásticos y otros materiales al medio. En 1996 se aprueba un Protocolo que actualiza y amplía este convenio, el cual entra en vigor en 2006 y que actualmente está integrado por 87 Estados (DOF, 2021).

#### *4.1.3 Protocolo del Convenio de Londres.*

Este protocolo está conformado por 45 Estados, en él se establece una "lista de vertidos permitidos" al medio marino. El Convenio está formado por 22 Artículos y 3 Anexos que recogen la normativa a aplicar mientras el Protocolo lo conforman 29 Artículos y 3 Anexos (DOF, 2021).

Por todo ello recogen una serie de Reglas y Anexos que vienen a ratificar y enmendar el Convenio de París original de 1972. Con ambos, tanto el Convenio como el Protocolo, se ha logrado disminuir el vertido de contaminantes al mar (DOF, 2021).

#### *4.1.4 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM)*

Este tratado internacional fue instituido en 1994, fija un régimen jurídico que establece normas que rigen los usos de los océanos y sus recursos. La Parte XII de la Convención, se ocupa de la "Protección y preservación del medio marino" y exige que los estados tomen ya sea de manera individual en colectivo, las medidas que consideren necesarias para reducir, prevenir y controlar la contaminación del mar desde cualquier sitio de descarga, utilizando los medios que consideren viables de acuerdo a sus disposiciones y dentro de sus posibilidades (Artículo 194, 114) (UNEP, 2017).

#### *4.1.5 Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)*

Es considerado un tratado casi universal que entró en vigor en diciembre de 1993 y que está ratificado por más de 196 Partes. Su principal objetivo es la promoción de medidas para conducir la contaminación. En octubre de 2010, las Partes del CDB adoptaron un Plan Estratégico mundial que busca combatir la pérdida de biodiversidad mediante el establecimiento de 20 ambiciosas metas, conocidas como las Metas de Aichi (UNEP, 2017).

#### *4.1.6 Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CEM)*

También conocido como Convención de Bonn, es la única convención global especializada en la conservación de las especies migratorias, sus hábitats y sus rutas. En cuanto a los desechos marinos, entre ellos los materiales plásticos, se han adoptado directrices sobre mejores prácticas de embarcaciones marinas comerciales, las lagunas de conocimiento en la gestión de desechos marinos, así también para guiar campañas de educación y concientización ambiental. En esta convención se establecieron planes de acción para abordar los impactos de los desechos marinos sobre algunas especies marinas en específico, como las ballenas, delfines y la tortuga boba del Atlántico norte o (UNEP, 2017).

#### *4.1.7 La Convención de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación*

El Convenio de Basilea es el acuerdo ambiental mundial más completo en materia de desechos peligrosos y otros desechos, entre los cuales se incluye el plástico. Su objetivo es proteger la salud humana y el medioambiente de los efectos nocivos derivados de la generación, el movimiento entre fronteras y la gestión de desechos peligrosos. Con respecto a los plásticos, la Partes en el Convenio de Basilea, en su quinta reunión, aprobaron un plan de trabajo en el que,

se establecía la finalización de las directrices técnicas para la identificación y el manejo ambiental racional de los desechos plásticos y para su eliminación (UNEP, 2017).

#### *4.1.8 Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos y Persistentes*

Tratado internacional cuyo objetivo es proteger la salud humana y el medio ambiente reduciendo o eliminando la producción y uso de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). Algunos de los aditivos químicos utilizados para modificar las propiedades de los plásticos, se consideran actualmente contaminantes orgánicos persistentes. Esto significa que los plásticos son portadores de COP en los océanos (Gobierno de España, 2017).

### **4.2 Estrategias mundiales e instrumentos no vinculantes**

#### *4.2.1 Código de Conducta para la Pesca Responsable de la FAO*

Instrumento voluntario que contiene una serie de normas y disposiciones relevantes para la basura marina. El propósito de dicho Código es asegurar que la pesca y la acuicultura se llevan a cabo de manera global y equilibrada, garantizando una explotación responsable de los recursos vivos marinos que no deteriore el medio ambiente. Los artículos 8.4 y 8.7 del Código abarcan las disposiciones relativas a la basura marina incluyendo el almacenamiento de basura a bordo, el suministro de instalaciones de recepción y la reducción de los aparejos de pesca abandonados, perdidos o desechados (UNEP, 2017).

#### *4.2.2 Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*

En septiembre de 2015, la Asamblea General de la ONU aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad. La Agenda abarca 17 objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas (Naciones Unidas, 2015). Los objetivos 11, 12 y 14 son esenciales para la prevención y lucha contra la contaminación marina.

#### *4.2.3 Programa de Acción Mundial para la Protección del Medio Marino frente a las Actividades Realizadas en Tierra (PAM)*

Este es el único mecanismo intergubernamental mundial que trata directamente las relaciones entre los ecosistemas de agua dulce, terrestres, costeros y marinos. El programa está destinado a proporcionar orientación conceptual y práctica a las autoridades nacionales y regionales en la elaboración y aplicación de medidas continuadas encaminadas a impedir, reducir, controlar y eliminar la degradación marina como resultado de las actividades terrestres (UNEP, 2017).

#### *4.2.4 Estrategia de Honolulu*

Es un marco global desarrollado por el Programa de Residuos Marinos de la NOAA y el PNUMA, para reducir los impactos ecológicos, en la salud humana y en la economía de los desechos marinos en todo el mundo. Dicha Estrategia está diseñada para su uso como herramienta de planificación para desarrollar o mejorar programar de desechos marinos, como marco de referencia común para la colaboración y el intercambio de buenas prácticas y lecciones aprendidas, y como herramienta de monitoreo para medir el progreso en múltiples programa y proyectos (UNEP, 2017).

### **4.3 Instituciones y Organismos relevantes**

Complementando y trabajando conjuntamente a estos convenios y leyes, existen diferentes Instituciones y Organismos que desempeñan diferentes funciones de gestión, control, consulta o asesoramiento. Son los encargados de asesorar a los Estados en materia de implementación y gestión, además de llevar a cabo un seguimiento del proceso para así determinar su eficacia y si es necesario o no proponer nuevas acciones (UNEP, 2017).

#### *4.3.1 Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP/PNUMA)*

Su finalidad es promover acciones encaminadas a la protección medio ambiental. Este programa se encarga de asesorar a los gobiernos en la elaboración de estrategias nacionales en diferentes ámbitos. Uno de los programas de los que es responsable es el que se conoce como “Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities (GPA)”. Este programa va encaminado a prevenir la degradación del medio marino, alteración y destrucción de hábitats por las actividades antropogénicas de origen terrestre.

#### *4.3.2 Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)*

Es un órgano consultivo de la Organización Marítima Internacional que se encarga de asesorar sobre los aspectos referentes a la prevención, reducción y control de la degradación del medio marino. Fundado en 1969 y actualmente apoyado por nueve organismos de Naciones Unidas. Su misión es la de coordinar y colaborar con dichos organismos para llevar a cabo estudios, análisis, revisiones e identificación de los problemas que surgen en el ámbito marino. El Work Group-40 actualmente tiene como misión evaluar la entrada de micro y macro plásticos en el océano, evaluar modelos a largo plazo, entre otros (UNEP, 2017).

#### *4.3.3 Local Authorities International Environmental Organisation (KIMO)*

Organización no gubernamental que es fundada por diferentes comunidades locales de los mares del norte de Europa para compartir todos los aspectos concernientes al estado medioambiental. Busca que las autoridades locales tengan una representación a nivel internacional y compartan actuaciones y encuentren soluciones conjuntas a los problemas de la contaminación marina que afectan a muchas comunidades costeras.

Su acción se basa principalmente en presionar a los Estados para que se percaten de los problemas existentes en lo que a contaminación se refiere y que así tomen las medidas oportunas para luchar contra ella. Se aseguran de que la normativa propuesta sea la mejor y se aplique adecuadamente. También se encargan de proponer modelos y proyectos de lucha contra la contaminación y de promover la investigación.

Un ejemplo de su trabajo es el proyecto “Fishing for Litter” que se está adoptando en diferentes países de la zona y cuenta con una buena aceptación o la investigación que lleva a cabo sobre la contaminación por microplásticos en las aguas de Noruega, Suecia, Dinamarca y Reino Unido (UNEP, 2017).

#### 4.3.4 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

Agencia federal americana que se encarga de diferentes aspectos que van desde la meteorología hasta la vigilancia de costas. La NOAA es la responsable de instaurar el Marine Debris Program (MDP) que tiene por misión investigar, prevenir y reducir el impacto de la basura marina para así proteger el medio marino y la costa. Para llevar a cabo este programa cuenta con el “Interagency Marine Debris Coordinating Committee (IMDCC)” que está compuesto por diferentes agencias con la misión de unir esfuerzos para hacer frente al problema de la basura marina (UNEP, 2017).

#### 4. 4 Legislación nacional

Los Residuos Sólidos, son todos aquellos materiales descartados después de tener una vida útil, por lo general carecen de valor económico. Estos residuos al ser depositados en zonas inapropiadas, al ser transportados o al ser reutilizados pueden ocasionar aún más contaminación de la que ya generan. Es a partir de esto que surge la necesidad de regular los aspectos relacionados con los diferentes tipos de desechos sólidos que se generan en nuestro país.

En la legislación mexicana existen lineamientos que se encargan de dictar las pautas a seguir por parte de pobladores, empresas y autoridades. Las leyes son dictadas por la autoridad, en ellas se manda o prohíbe algo acordado por los órganos legislativos competentes. En este aspecto, en México tenemos la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) la cual tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) son disposiciones generales de tipo técnico, su objetivo es establecer reglas, especificaciones, directrices y características aplicables a un producto, proceso o servicio. La NOM-083-SEMARNAT, establece las de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Las Normas Mexicanas (NMXs) son un instrumento de referencia para determinar la calidad de los productos y servicios, con el objetivo de proteger y orientar a los consumidores. En México contamos con diecinueve NMX, las cuales establecen las medidas para lograr un manejo seguro de los residuos sólidos urbanos (RSU), de manejo especial (RME) y peligrosos (RP).

Además, en referencia al manejo adecuado de estos tres tipos de residuos, se tienen en el país diferentes lineamientos como la Ley General del Equilibrio Ecológico, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (DOF, 2003), la Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (SEMARNAT, 2001) y la Ley para la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (DOF, 2000), así como sus respectivos reglamentos.

Actualmente México no cuenta con una legislación a nivel federal referente al uso de materiales plásticos y la legislación actual para el manejo de residuos sólidos es insuficiente (NOM-083-SEMARNAT-2003). No obstante, 13 entidades federativas han creado iniciativas de ley o han aprobado leyes enfocadas en la regulación de plásticos de un solo uso (Gonzales y Monreal, 2019; Elvira, 2004) (Cuadro 6).

Cuadro 6. Regulación de productos plásticos en México (García-Marín, 2019).

Año	Legislación	Detalle
2017	Ley Ambiental del Estado de Nuevo León (Artículo 168 y 232)	Prohíbe la venta y uso de popotes de polietileno, polipropileno y polímero de plástico a partir del 25 de enero de 2020
	Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Manejo de Áreas Verdes del Municipio de Aguascalientes. (Artículo 278, 394 fracción XIX)	Prohíbe el uso de bolsas, popotes y cualquier otro contenedor de unicelel o plástico no reutilizable.
	Ley de Protección al Ambiente para el Estado de Baja California. (Artículo 141 y 187)	Prohíbe el uso de bolsas plásticas y contenedores de unicelel.
	Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos del Estado de Chihuahua. (Artículo 21 y 74)	Prohíbe el uso de popotes plásticos en restaurantes.
	Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente del Estado de Coahuila de Zaragoza. (Artículo 104 Bis, 150 Bis, 156 Bis y 182)	Prohíbe el uso de bolsas y popotes plásticos en supermercados, tiendas de autoservicio y similares.
2018	Ley de Gestión Ambiental Sustentable para el Estado de Durango. (Artículo 5°, fracción XXXIX, XL y XLI y 134)	Se reformó la Ley para implementar el programa "Durango dice adiós a las bolsas de plástico".
	Ley Ambiental del Estado de San Luis Potosí. (Artículo 104, fracción V, inciso c, 107 y 159)	Se prohíbe el uso de bolsas de plástico, desechables y popotes.
	Ley de Equilibrio Ecológico y Protección al Medio Ambiente de Sonora. (Artículo 136, fracciones X y XI, 143 Bis y 196)	Se prohíbe el uso de bolsas de plástico.
	Código para el Desarrollo Sustentable del Estado de Tamaulipas (Artículo 36, numeral 6°,7°, y 299)	Se prohíbe a los comercios el uso de bolsas fabricadas con materiales plásticos en un 100%, permitiéndose solamente las biodegradables a partir del 1 de enero de 2019
	Ley de Prevención y Gestión de Residuos Sólidos Urbanos Manejo Especial para el Estado de Veracruz. (Artículo 1°, fracciones XIII y XIV, 23 Ter y 79)	Se aprobó una reforma para disminuir el uso de popotes y plásticos.
2019	Reglamento de Protección Ambiental y Cambio Climático del Municipio de Querétaro. (Artículo 132 y 180, fracción I)	Prohíbe el uso de bolsas plásticas y contenedores de unicelel.
	Ley para la Gestión Integral de los Residuos de Yucatán.	Se envió iniciativa de modificación de Ley para la disminución y eliminación gradual del uso de bolsas y popotes de plástico.

Ley del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Guerrero.	Prohíbe el uso de bolsas plásticas y contenedores de unicel.
Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente de Jalisco. (Artículo 6° ,7°, 8° y 148)	Se prohíbe el uso de plásticos y popotes, a a partir del 2020.
Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (Fracción XVI al artículo 3°, artículo 6°, fracción XI y 25 fracción XI bis)	Se prohíbe el uso de artículos plásticos de un sólo uso.
Ley Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos de Oaxaca. (Artículo 68 Bis)	Se prohíbe el uso de unicel.

## 5 MARCO DE REFERENCIA

### 5.1 Antecedentes

Richards y Beger en 2011 realizaron estudios sobre basura marina en el atolón de Majuro, Australia. Esta área de estudio corresponde a una laguna arrecifal de 295 km<sup>2</sup> cercana a una zona de alta densidad de poblacional. Para esta investigación se muestrearon objetos >20 mm, los cuales se clasificaron según el material del cual estaban hechos, siendo el plástico uno de los materiales más comunes. La metodología de muestreo consistió en la utilización de transectos en banda de 3x50x2 m de ancho y transectos punto-intersección (PIT) de 3x50 m, los cuales se recorrieron mediante Buceo SCUBA y snorkel. Richards y Beger registraron un total de 7200 m<sup>2</sup> de desechos, se encontró una cantidad significativamente mayor en la laguna arrecifal que en arrecifes expuestos. Mediante esta investigación se pudo afirmar que en esta área de estudio existe una relación significativa entre el nivel de cobertura de basura marina y la cobertura de coralina, en la que la cobertura coralina disminuye a medida que aumenta la cobertura de basura marina.

En 2016 y 2020, Figueroa-Pico y colaboradores analizaron los desechos marinos en arrecifes rocosos de Manabí, Ecuador. Se eligieron dos sitios de estudio: Perpetuo Socorro y Ureles, ambos sitios con similitudes estructurales; arrecifes rocosos a profundidades entre 6 y 13 m, zonas geomorfológicas diferenciadas (cresta, talud y fondo). El muestreo se realizó utilizando buceo SCUBA, mediante transectos en banda por tiempo estandarizado a 20 min, para cada zona morfológica. Los objetos derivados del plástico constituyeron el 94-95% de los desechos marinos encontrados. Los contenedores de plástico y redes representaron el 90% de los desechos marinos totales que se encontraron en los arrecifes. En este estudio el 63% de los desechos marinos se asociaron a actividades pesqueras. Se encontraron redes de monofilamento en las crestas, líneas de multifilamento en las laderas y recipientes de plástico en el fondo del arrecife. Figueroa-Pico y colaboradores (2015), afirman que la distribución de estos desechos está relacionada con el tipo de fondo, el nivel de actividad de navegación, pesca y las características bentónicas. En este estudio se identifican las artes de pesca abandonadas como un factor clave en el proceso de fractura y fragmentación del coral. Además, los factores estacionales tuvieron un efecto significativo en la complejidad estructural de los arrecifes estudiados. Figueroa-Pico y

colaboradores (2015), concluyen que la destrucción de coral por artes de pesca en las zonas de cresta afecta drásticamente a las comunidades de invertebrados y peces.

El estudio de los residuos plásticos ha sido de interés en el Puerto de Veracruz, es por ello que López-Hernández (2018), realizó un trabajo de investigación en tres playas de la zona conurbada Boca del Rio-Veracruz-Antón Lizardo, la playa Villa del Mar, Vicente Fox y Arroyo Giotte; durante el periodo anual a partir de abril 2017; para este trabajo se consideraron temporadas vacacionales y fines de semana largos y solamente se tomaron en cuenta macroplásticos. Los resultados obtenidos indicaron que la playa Antón Lizardo es la que cuenta con mayor presencia de residuos sólidos plásticos, dentro de estos, los que más se contabilizaron fueron bolsas y botes de bebidas.

En 2020, Rivera-Garibay y colaboradores, evaluaron 21 Áreas Naturales Protegidas con presencia de arrecifes de coral contabilizando desechos plásticos mayores a 5 cm. En Veracruz, los arrecifes muestreados fueron Ingenieros, Sacrificios y Galleguilla. Durante los muestreos se registraron plásticos en columna de agua y fondo arrecifal, esto se llevó a cabo mediante un censo visual con equipo SCUBA a una profundidad de 1 a 18 m. El estudio identificó la presencia de piezas plásticas en todas las ANP estudiadas, tanto en la superficie como en la columna de agua como en el sustrato de los sitios arrecifales evaluados. En total se registraron 815 piezas hechas de plástico. De acuerdo con este estudio, el 51% de desechos plásticos se encontraron en el sustrato. En Veracruz el promedio fue de 1 pieza/180m<sup>2</sup> en el fondo arrecifal, este valor es equivalente a 6 277 piezas/km<sup>2</sup>. El reporte de la presencia de macroplásticos en el Sistema Arrecifal Veracruzano, confirma el impacto antropogénico que se genera en la zona de influencia de esta importante Área Natural Protegida, desafortunadamente hasta ahora no se ha analizado como es que estos desechos llegan desde la costa.

Actualmente se tiene un amplio conocimiento sobre la hidrodinámica del SAV, existen trabajos realizados por Salas-Pérez *et al.*, (2012), Salas, *et al.*, (2017) y Salas-Monreal *et al.*, (2017), que detallan las diversas corrientes marinas en las diferentes épocas del año; sin embargo, este conocimiento se ha aplicado mayormente a los patrones de dispersión de larvas de organismos marinos y a comprobar la conectividad en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México.

Santodomingo y colaboradores en 2021, realizaron estudios en 6 arrecifes costeros en el este de Sabah, a 5, 10 y 15 m de profundidad. La metodología de muestreo se llevó a cabo mediante video transectos en los que se identificó basura marina. Los plásticos representaron el 91% de los materiales encontrados; de los cuales el ~70% fueron plásticos de un solo uso, el ~25% correspondió a artes de pesca. En este estudio se encontró una relación entre la cantidad de basura marina y la cercanía a los centros urbanos; la basura marina aumenta en aquellos arrecifes cercanos a los centros urbanos.

## **5.2 Lugar de estudio**

### *5.2.1 Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)*

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) está conformado por un conjunto de 45 formaciones arrecifales, incluyendo seis islas y dos bajos arenosos, la extensión del sistema arrecifal es de 65516 ha (DOF, 2012; CONANP, 2017; Ortiz-Lozano *et al.*, 2018). Esta importante Área Natural Protegida se encuentra situada en la parte interna de la plataforma continental en el

sur-occidente del Golfo de México, Frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, en el estado de Veracruz, dentro de las coordenadas 19°02'24" - 19°16'00" N y 95°46'19" - 96°12'01" W. Estos arrecifes se encuentran en profundidades cercanas a los 40m; este es el sistema arrecifal de mayor tamaño y que alberga la mayor biodiversidad de especies arrecifales del oeste del Golfo de México, dentro de las cuales encontramos especies endémicas. (Tunnell, 1992; Spalding *et al.*, 2001; Horta-Puga y Tello-Musi, 2009).

Este sistema arrecifal está dividido geográficamente por la desembocadura del Río Jamapa en dos subsistemas: La zona norte se localiza frente al Puerto de Veracruz dentro de la isobata de los 37m, incluye a los arrecifes Gallega, Galleguilla, Isla de Sacrificios, Pájaros, Anegada de adentro, Isla Verde, Hornos, La Blanquilla, Ingeniero y Punta Gorda. La zona sur se ubica frente a Punta Antón Lizardo en la isobata de los 48 m, a 20 km aproximadamente al suroeste del Puerto de Veracruz, incluye los arrecifes Gote, Punta Coyol, Chopas, Polo, Blanca, Santiaguillo, Anegada de Afuera, Enmedio, Cabezo, el Rizo, Anegadilla y Topetillo. Al norte del parque se ubica la desembocadura del Río La Antigua y al sur el Río Papaloapan (CONANP, 2017). De igual manera, es posible dividir al PNSAV en cuatro grupos arrecifales por su cercanía a la costa:

- Arrecifes bordeantes: Se localizan en la costa, presentan estructuras que no exceden los 12 m de profundidad en barlovento
- Arrecifes intermedios: Tienen una pendiente de sotavento extensa y de inclinación muy suave.
- Arrecifes interiores: Formados por una gran cantidad de sedimento acumulado en la pendiente de sotavento.
- Arrecifes exteriores: Presentan desarrollo continuo en las pendientes de barlovento y sotavento.

De igual manera los arrecifes del PNSAV se pueden dividir estructuralmente en relación a los efectos de las corrientes, la sedimentación y el viento, en cuatro zonas:

- Sotavento: Presentan profundidad entre los 3 y 24 m, baja energía el oleaje que genera poco movimiento del agua, es posible observar alta turbiedad al igual que una alta tasa de depositación.
- Laguna arrecifal: Posee profundidades bajas de alrededor de los 3 m, debido a esto cuenta con intensidad luminosa elevada, además de una alta tasa de sedimentación y poco movimiento de agua.
- Cresta arrecifal: Zona con alta energía del oleaje, cuyas profundidades varían de los 0 a 3 m.
- Arrecife frontal: Cuenta con hasta 12 m de profundidad en arrecifes bordeantes y hasta 40 m en arrecifes exteriores.

De acuerdo con Ortiz-Lozano *et al.*, (2013) los arrecifes coralinos en esta región pueden ser de tres tipos:

- Bordeantes: Son arrecifes someros de profundidad máxima de 4 m, se desarrollan sobre la línea de costa. Cuentan con un frente de barlovento, y una laguna arrecifal cercana a la playa.

- Emergidos de plataforma: Arrecifes que crecen sobre la plataforma continental y sobresalen a la superficie del mar. Cuentan con un frente de barlovento donde rompen las olas, una pendiente de sotavento y una laguna arrecifal.
- Sumergidos de plataforma: Se encuentran a profundidades a partir de los 4 m y no cuentan con una zona de rompiente ni de laguna arrecifal (Figura 6).

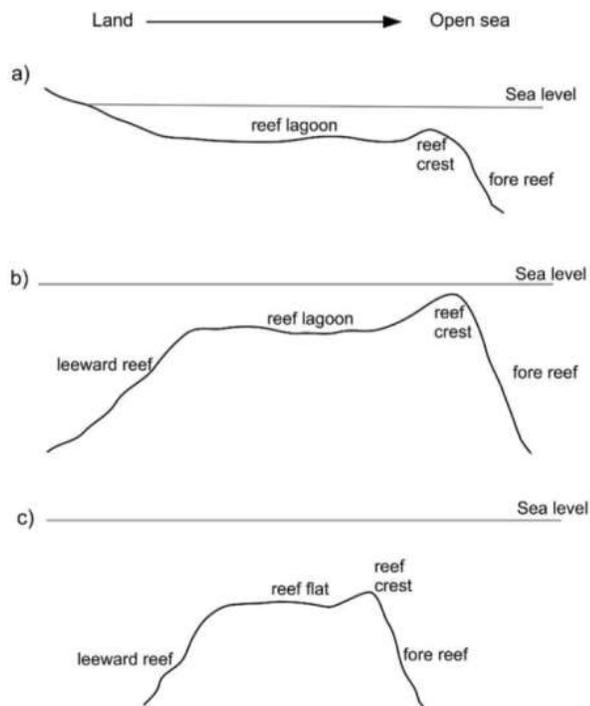


Figura 6. Tipos de arrecifes en el suroeste del Golfo de México: a) Bordeantes; b) Emergidos de plataforma; c) Sumergidos de plataforma (Tomado de Ortiz-Lozano *et al.*, 2013)

El PNSAV ofrece diversos servicios ambientales de gran importancia para la región, los servicios de provisión de alimento se deben a que los arrecifes ayudan al manteniendo núcleos de alta diversidad biológica los cuales han adquirido gran relevancia para la pesca; de igual manera este sistema arrecifal brinda protección a la costa y a la infraestructura portuaria contra fenómenos meteorológicos como nortes, los huracanes y tormentas; además, ofrece servicios recreativos y culturales en donde se pueden realizar actividades de gran demanda como los recorridos turísticos, esnórquel y buceo (Reyna-González *et al.*, 2014). También es importante destacar que los ecosistemas arrecifales son reguladores de los ciclos biogeoquímicos, pues producen oxígeno y sirven como reservorios de carbono al fijar el carbonato de calcio.

### 5.2.2 Modificaciones al polígono

Referente al PNSAV, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) realizó un Estudio Previo Justificativo, que buscaba desincorporar al arrecife de Punta Gorda y la Bahía Vergara, de la protección legal conferida por el decreto de 1992, como justificación a esto se manifestó que tanto ese arrecife como la bahía se encuentran en un proceso de deterioro irremediable y por lo cual es factible que sean excluidos de la protección legal, proponiéndose en cambio modificar la poligonal hacia el sur.

El 30 de agosto de 2011 se publicó en el DOF el aviso por el cual se inició el procedimiento administrativo dicha modificación. Esto significó un grave daño ecológico que inició con la modernización del Puerto de Veracruz a inicios del siglo XX, en la cual desapareció el arrecife La Caleta, el arrecife de Gallega perdió el 50% de su superficie original y el arrecife Hornos perdió el 12% aproximadamente. Además de que se fragmentaron los arrecifes de Lavandera y Hornos y el Canal del Norte se cerró, todas estas modificaciones a la estructura natural del arrecife provocaron que el patrón de corrientes y sedimentación cambio de manera definitiva (Valadez y Ortiz, 2013) (Figura 7).

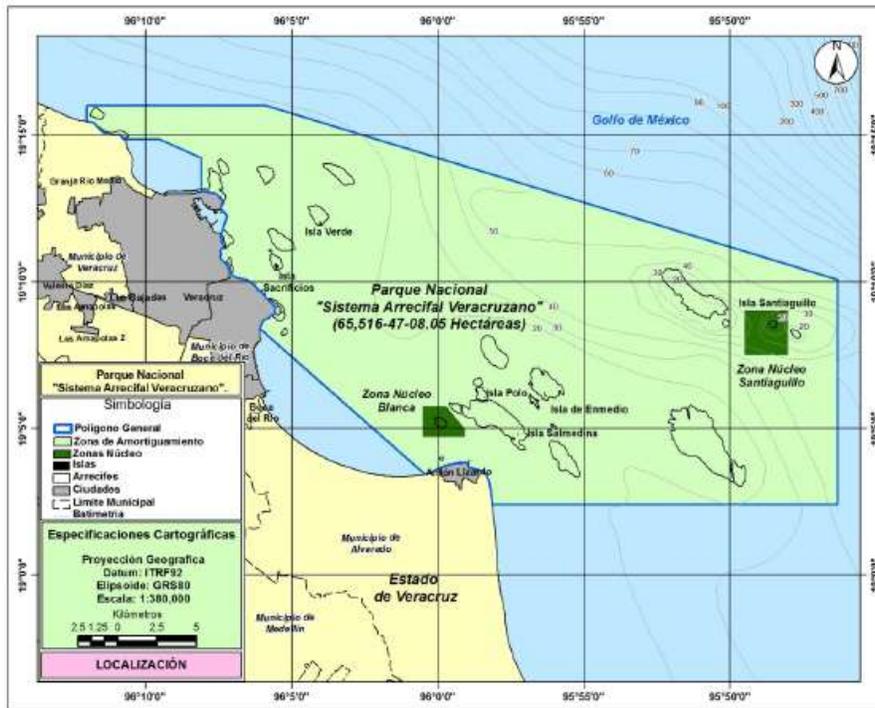


Figura 7. Nueva poligonal del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Conforme al decreto de 2012, donde el área de Bahía de Vergara y Punta Gorda han sido desincorporadas. Fuente: CONANP.

### 5.2.3 Arrecife de Enmedio (19.1218611, -95.9495)

Este arrecife intermedio de plataforma es representativo del grupo Antón Lizardo, cuenta con una cobertura coralina regular que incluye parches de octocorales. En este arrecife se han registrado las más altas tasas de sedimentación de PNSAV.

### 5.2.4 Arrecife Giote (19.0681667, -95.99630555555555)

Este arrecife costero se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento, en la Subzona de uso público localizado frente a las playas del municipio de Antón Lizardo. Este arrecife cuenta con estructuras arrecifales sin cobertura coralina, sedimentos acumulados que forman fondos arenosos, además de pastos marinos.

#### 5.2.5 Arrecife Blanquilla (19.228061, -96.1023295973485)

Es uno de los arrecifes más cercanos a la zona portuaria, presenta una gran cobertura coralina de especies en protección especial de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 como cuerno de alce (*Acropora palmata*) y cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*), además de abanico de mar (*Plexaura homomalla*) y coral blando (*Plexaurella dichotoma*).

#### 5.2.6 Arrecife Sacrificios (19.173864, -96.093276)

La Isla de Sacrificios es una porción emergida de este arrecife que se encuentra restringida a su acceso debido a que en ella se encuentra un campamento de la Secretaría de Marina. El arrecife que rodea esta isla se encuentra a 1.5 km aproximadamente de la costa y cuenta con un sustrato arrecifal que está formado por restos bioclásticos calcáreos predominantemente coralinos en diferentes grados de desintegración.

#### 5.2.7 Arrecife Anegadilla (19.13613, -95.79537)

Arrecife tipo plataforma emergente, ubicado aproximadamente a 21 km frente al pueblo pesquero de Antón Lizardo.

#### 5.2.8 Arrecife Santiaguillo (19.14440, -95.81107)

Arrecife de plataforma cuya base se encuentra en profundidades aproximadas de 45 m y que presenta parches coralinos de especies en protección especial de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 como cuerno de alce (*Acropora palmata*) y cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*). Además, cuenta con las tallas más grandes del PNSAV de colonias de coral *Montastraea cavernosa* y *Orbicella faveolata*, además de zonas de pastos marinos (*Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*). Presenta un cayo emergente, conocido como isla Santiaguillo, conformado principalmente por pedacera de coral cuerno de ciervo.

#### 5.2.9 Arrecife Anegada de adentro (19.228266, -96.062880)

Es uno de los arrecifes de plataforma externos representativos del subsistema Veracruz, siendo el más alejado de costa. La rompiente de sotavento tiene una cobertura regular y la pendiente de barlovento presenta colonias de *Acropora palmata*, especie en protección especial de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

#### 5.2.10 Arrecife Pájaros (19.186027, -96.092495)

Se encuentra situado al suroeste de Isla Verde, separado por un canal de entre 16 a 23 m de profundidad. Este arrecife presenta poca profundidad y estructuras rocosas que afectan su acceso.

#### 5.2.11 Arrecife Gallega (19.221013, -96.125088)

Se localiza al este de la Bahía Vergara, y al norte del Puerto de Veracruz, sobre su parte sur se encuentra el castillo de San Juan de Ulúa.

#### 5.2.12 Arrecife Hornos (19.194926, -96.122884)

Arrecife bordeante que cuenta con una superficie de 84.402542 ha, localizado en el Oeste del Parque Nacional. En la zona sur de este arrecife se encuentra un canal por el cual solo pueden navegar embarcaciones de poco calado las cuales atracan en el Muelle de pescadores.

#### 5.2.13 Arrecife Ingenieros (19.151352, -96.092136)

Es un arrecife costero, con muy baja cobertura coralina, ubicado a escasos metros de las playas turísticas, es el más cercano a la desembocadura del río Jamapa.

#### 5.2.14 Aspectos hidrológicos

El PNSAV está influenciado por los aportes de agua de los ríos Jamapa, La Antigua y Papaloapan, los cuales desembocan en el Golfo de México. Al norte se encuentra la desembocadura del río La Antigua, aproximadamente a 10 km de este sistema arrecifal, de esta fuente hidrológica fluye un volumen aproximado de 1,774.73 mm<sup>3</sup> anuales (SEMARNAT, 2008).

La cuenca del río Jamapa nace en las faldas del Pico de Orizaba, a este sistema hidrológico se une el río Cotaxtla, recorriendo aproximadamente 100 km de la llanura costera y desembocando en la parte central, justo frente al Sistema Arrecifal Veracruzano (CONAGUA, 2011).

En la zona sur, desemboca el río Papaloapan, el cual nace a 35 km, en las montañas del estado de Oaxaca, este río es un aporte hidrológico importante ya que descarga aproximadamente 47,000.00 mm<sup>3</sup> anuales, con fluctuaciones que van de 25,000 a 67,000 mm<sup>3</sup> (Consejo de Cuenca del río Papaloapan, 2013).

#### 5.2.15 Aspectos hidrodinámicos locales

El estado de Veracruz cuenta con un extenso litoral costero, dentro del cual se encuentran tres complejos arrecifales de gran trascendencia ecológica y social el “Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano” (PNSAV), el “Área de Defensa de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” (SALT) y el “Sistema Arrecifal de los Tuxtlas” (SAT). Dichos sistemas arrecifales cuentan con una conectividad debida a las corrientes marinas (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016). Estas corrientes se ven influenciadas por los vientos, los cuales dominan de forma estacional la circulación superficial, respecto a esto existen diversos estudios realizados en esta zona.

A lo largo de la temporada de nortes las corrientes marinas se mueven principalmente hacia el norte en la costa occidental del Golfo de México de igual manera se mueven de norte a sur en la temporada de suradas las, lo cual da lugar a un intercambio tanto nutrientes, organismos e incluso contaminantes entre tales sistemas arrecifales (Salas-Pérez *et al.*, 2007; Salas-Monreal *et al.*, 2009).

Zavala-Hidalgo *et al.*, (2003) y Mateos-Jasso *et al.*, (2012) aportaron estudios que señalan que la circulación en esta zona presenta un sentido ciclónico, por efecto de los frentes fríos que viajan de norte a sur en la temporada de nortes. Mientras que en la temporada de estiaje la circulación de las corrientes de agua se invierte y se presenta en sentido anticiclónico.

Posteriormente Salas, *et al.*, (2017), señalan la existencia del giro anticiclónico frente a los arrecifes SALT. Mencionan también que este movimiento del agua de sur a norte puede favorecer

que las partículas suspendidas provenientes de la zona arrecifal del PNSAV se concentren en esa zona.

Sin embargo, estos autores localizan un área divergente entre los arrecifes SAT y los arrecifes del PNSAV. Esta zona de divergencia se debe al giro de Campeche (Salas-Pérez *et al.*, 2012), el cual funciona como una barrera natural entre estos dos sistemas arrecifales en esta temporada, evitando el flujo de agua y por lo tanto la conectividad. Si bien, el giro de Campeche evita la conectividad en el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México en esta temporada, debería favorecer el intercambio de nutrientes, organismos e incluso contaminantes entre el sistema arrecifal SAT y los arrecifes del banco de Campeche y del Mar Caribe. Para la temporada de nortes, en el mes de octubre el patrón de corrientes observadas en 2016, muestra que las corrientes se mueven de norte a sur, lo cual facilita el intercambio de partículas suspendidas en el agua desde los arrecifes SALT hasta los arrecifes SAT pasando por la zona arrecifal del PNSAV, sin que aparentemente se observen interrupciones.

Por lo tanto, Salas y colaboradores en 2017 afirmaron que existe conectividad entre los tres sistemas arrecifes durante el mes de octubre (temporada de nortes), mientras que para el mes de agosto (temporada de estiaje) no existiría una conexión entre los sistemas arrecifales del suroeste del Golfo de México (Figura 8).

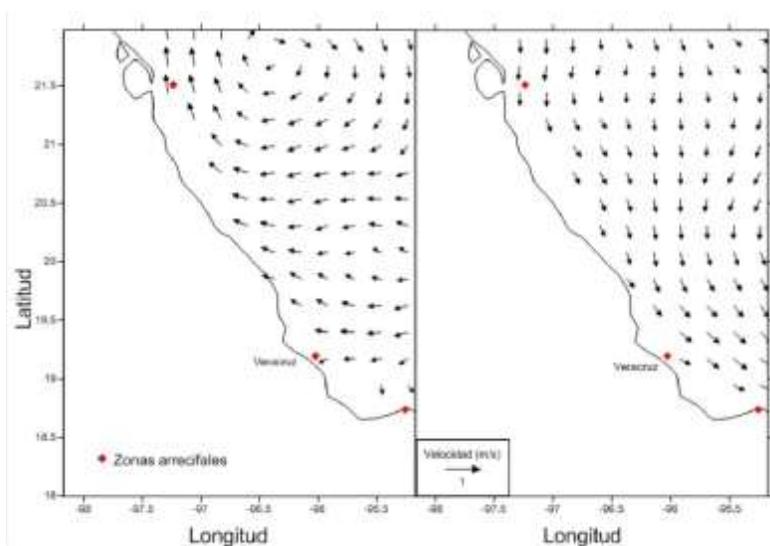


Figura 8. Patrón de corrientes en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Agosto (izquierda) y octubre (derecha) 2016. (Salas, *et al.*, 2017).

El patrón general de corrientes en el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México se ve influenciado por la presencia de las estructuras arrecifales, lo cual provoca la formación de giros que se mueven alrededor de ellas (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016) (Figura 9), con velocidades por debajo de los  $0.4 \text{ m s}^{-1}$  (Mateos-Jasso *et al.*, 2012).

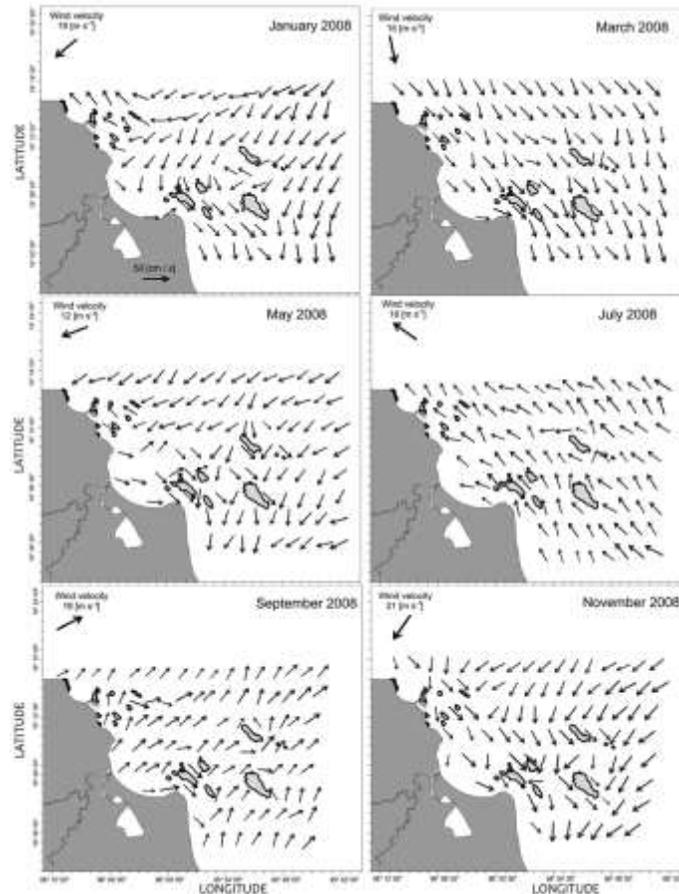


Figura 9. Velocidad de las corrientes superficiales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016).

En el PNSAV convergen aguas oceánicas, costeras y que resultan de la mezcla de los principales aportes hidrológicos de la zona. Estudios realizados por la Secretaría de Marina en 2008, señalan que el PNSAV tiene dos corrientes importantes, la “Corriente Principal”, determinada por la dirección del viento, desplazándose en promedio hacia el NW a una velocidad de  $19.03 \text{ cm s}^{-1}$ , con vientos del SE. La segunda corriente llamada “Bocana del Puerto”, no presenta relación directa con la dirección del viento, sin embargo varía en proporción a su magnitud.

### 5.2.16 Giro de Campeche

En la parte exterior de la plataforma continental del Golfo de México, la circulación está gobernada por el Giro de Campeche, el cual corresponde a un giro ciclónico, es decir en sentido contrario a las manecillas del reloj. Son importantes por sus características físicas, ya que implican surgencia en el vórtice, favorecen la renovación y el intercambio de agua debido a la fuerza de las corrientes. El Giro de Campeche presenta con un diámetro aproximado de 140 km, una profundidad de entre 700 y 1000 m, y se reportan velocidades entre  $0.1$  y  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  en promedio, alcanzando un máximo de  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  (Pérez-Brunius *et al.*, 2012). Se han registrado corrientes con dirección y velocidad similar a la del Giro de Campeche en la parte exterior del Sistema Arrecifal Veracruzano (Salas-Monreal *et al.*, 2009), lo cual sugiere una posible interacción entre la circulación de mesoescala y local durante todo el año (Pérez-Brunius *et al.*, 2012).

Es importante mencionar que el patrón de corrientes promedio, se ve afectado por la circulación asociada a los vientos, tal como lo han reportado Zavala-Hidalgo y colaboradores (2003) y Salas-Monreal y colaboradores (2009). En este último estudio, se encontró que las corrientes en la parte exterior al PNSAV son tres veces mayores debido al efecto del viento sobre las corrientes superficiales que al efecto producido por la advección (en profundidades menores de 60 m) (Figura 10).

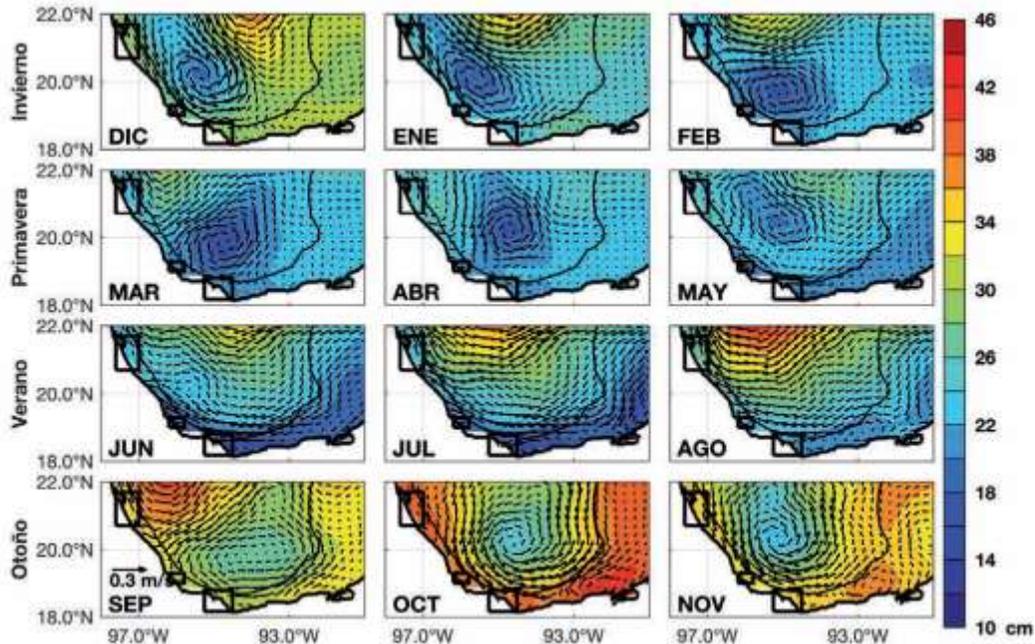


Figura 10. Promedios mensuales de mareas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) calculados entre 1993 y 2016. Para los mapas de altura dinámica absoluta y las corrientes geostróficas asociadas. La isóbata de 200 m, tomada como el quiebre de la plataforma continental se encuentra indicada en negro, así como los arrecifes del Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México (CASGM).

Se ha registrado la intensificación del giro en los meses de octubre y noviembre en dirección hacia el sureste, por efecto del aumento de la velocidad del viento en esta época. Esto demuestra la influencia del Giro de Campeche sobre la circulación en la plataforma continental), incluso de forma local en la parte externa al PNSAV, lo cual concuerda con las observaciones de Zavala-Hidalgo *et al.*, (2003), Riverón-Enzástiga *et al.*, (2016) y Salas-Monreal *et al.*, (2017).

No se observa la influencia del Giro de Campeche en los meses junio, julio y agosto. En lugar de ello existe una circulación de este a oeste con velocidades de hasta  $0.3 \text{ m s}^{-1}$  en promedio durante julio. Esta circulación sigue la topografía de la plataforma continental y es tan intensa como la observada en octubre para el Giro de Campeche.

### 5.2.17 Aspectos climatológicos

De acuerdo con en el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado a su vez por Enriqueta García (1988), el tipo de clima predominante en la zona costera del PNSAV se encuentra clasificado como cálido-húmedo.

El clima de esta zona presenta varias temporadas de eventos climáticos. De enero a mayo se presenta la temporada de estiaje, la cual se caracteriza por precipitaciones por debajo de la normal climatológica, con registros mínimos de 10 mm. De mayo a noviembre, se presenta la temporada de lluvias, con registros máximos de 500 mm en el mes de septiembre, esto corresponde a una precipitación por arriba de la media climatológica. Finalmente, en los meses de septiembre a mayo, presentan los eventos de norte, durante estos meses las ráfagas de viento en la línea de costa pueden superar los 100 km por hora, generando con ello oleaje por arriba de los tres metros de altura (CONAGUA, 2020).

### *5.2.18 Aspectos socio-económicos*

El puerto de Veracruz se considera un destino turístico importante en nuestro país, el cual, en el año 2021, presentó la afluencia de un millón ochocientos mil turistas (SECTUR), además cuenta con el desarrollo portuario más importante del país, registrando un movimiento de carga de treinta y dos millones de toneladas al cierre del 2021 (APIVER). Se ha estimado que el valor económico de los servicios ambientales que presta el SAV, para el año 2009 ascendieron a los US \$290, 500, 000 (doscientos noventa millones quinientos mil dólares americanos) (Arceo *et al.*, 2010). Entre los servicios ambientales cuyo valor económico se calculó están el tratamiento de desechos que provee el ecosistema de arrecife de coral en esa zona, hábitat y refugio de diversas especies de interés comercial, valores culturales, actividades de control biológico, ingresos provenientes de la pesca en la zona, recreación y turismo Scuba. Este cálculo fue presentado ante la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en relación a la modificación del Decreto de creación del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

Dentro de las actividades de mayor relevancia en el PNSAV se encuentra la pesca artesanal, existen registros de alrededor de 1000 familias de pescadores y existen otros pocos más no registrados (Jiménez-Badillo, 2008 y Castro-Gaspar, 2007). De los tres municipios frente a los cuales se encuentra el PNSAV, en Antón Lizardo es donde se centra principalmente la actividad pesquera (Jiménez-Badillo *et al.*, 2006; CONAPESCA, 2006; SAGARPA, 2008). La segunda actividad que más se realiza dentro del polígono del PNSAV, es el tránsito de embarcaciones mayores que se dirigen a la zona portuaria, estos buques de carga comercial, atraviesan el subsistema arrecifal Veracruz (APIVER, 2009).

## **6 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **6.1 Situación problemática**

Actualmente es posible afirmar que la contaminación por residuos plásticos es uno de los problemas más graves que enfrenta nuestro planeta. Es fácil identificar zonas marinas afectadas por macroplásticos debido a su gran tamaño, sin embargo cuando estos residuos se hunden es complicado estimar las afectaciones. Por una parte, existen múltiples complicaciones logísticas que surgen al realizar investigaciones subacuáticas, por otra parte, la inversión de recursos que implica realizar muestreos alejados de la costa aumenta si no se tienen una certeza de donde buscar. Aunado a esto, el hecho de que los macroplásticos estén influenciados por diversos factores como la hidrodinámica, las interacciones con los organismos marinos y el ser humano dificulta el estudio de estos materiales.

## **6.2 Delimitación del problema**

Esta investigación tiene como objeto de estudio los residuos plástico mayores a 2.5 cm, encontrados en el fondo marino, también llamados macroplásticos. Es posible definir el fondo marino como la porción de rocas, corales, sedimentos o pastos marinos sobre la cual se encuentra la columna de agua de mar. El área de estudio comprendió 13 de los 28 arrecifes que conforman el PNSAV.

Como punto de partida para la planificación del muestreo se tomó en cuenta la información obtenida por la encuesta realizada a buzos. El trabajo de muestreo se llevó a cabo entre los meses de abril a noviembre del 2022, abarcando las temporadas de estiaje, lluvias y norte. Los muestreos se realizaron mediante buceo SCUBA, recolectando los macroplásticos que fueran posibles y fotografiando aquellos que al retirarlos podrían causar daños a las estructuras coralinas.

La identificación de fuentes de contaminación, se realizó mediante recorridos a pie que abarcaron aproximadamente 15.5 km a partir del Muelle de la Armada en el municipio de Veracruz, hasta el Foro Boca en el municipio de Boca del Río. Durante los recorridos se identificaron desagües, residuos plásticos y contenedores de basura que se encontraban en la zona de playa. La zona de playa se delimito como aquel fragmento de tierra entre la barda que delimita el bulevar, hasta la zona intermareal.

Para la identificación de las principales actividades económicas, se tomaron en cuenta solo aquellas que se llevaban a cabo en la zona de playas, para la zona arrecifal se tomaron como referencia las que menciona el Programa de Manejo del PNSAV. En cuanto a la hidrografía, se utilizó la macroescala de corrientes marinas que abarca la zona dentro del PNSAV durante las temporadas de estiaje, lluvias y nortes para trazar el posible recorrido de los macroplásticos a partir del punto en donde fueron encontrados.

## **6.3 Planteamiento del problema**

La fabricación de los materiales plásticos inició en la segunda mitad del siglo XIX, como una forma de sustituir materiales naturales, costosos o difíciles de obtener. A partir del inicio de la industria de los plásticos, su uso ha aumentado en forma gradual, hasta convertirse en materiales insustituibles en la sociedad actual. Este aumento se deriva no sólo de su versatilidad, sino de la tendencia global al aumento en el uso de recursos por parte de la sociedad (Freinkel, 2011).

Estos materiales se empezaron a percibir como un problema y a tomar gran relevancia al observar que los plásticos se pueden encontrar en zonas costeras o en lugares remotos del ambiente marino como a mitad del océano formando islas de basura flotantes (Cózar *et al.*, 2014; Law, 2017), incluso en zonas profundas como la Fosa de las Marianas a 10.988 km de profundidad (PNUD, 2022). Además, es bien sabido que los objetos plásticos de gran tamaño al fragmentarse siguen provocando afectaciones y siguen dispersándose en el ambiente, hasta el punto de convertirse en residuos microscópicos que incluso pueden encontrarse en la placenta humana (Grafmueller *et al.*, 2015). Pero la problemática no sólo de deriva de la aglomeración de estos materiales en el mar, ya que un solo objeto por sí mismo puede generar afectaciones.

Los daños provocados a los organismos marinos empezaron a ser evidentes cuando quedaban atrapados en redes de pesca o en objetos plásticos y finalmente morían; esto a largo plazo ocasiona la pérdida de especies nativas y de interés comercial; lo cual deriva en el impacto negativo a las redes tróficas. Otro daño notorio es la pérdida de la complejidad estructural de los arrecifes producto de la acumulación de residuos plásticos en zonas muy contaminadas (Figuroa-Pico *et al.*, 2020); además de la presencia de especies invasoras que viajan adheridas a piezas de plástico.

A nivel mundial, el tema de los residuos plásticos en ambientes marinos se ha estudiado en su mayoría en zonas costeras, islas e incluso en mar abierto (López-Hernández, 2018; Iannacone *et al.*, 2019), son escasos los estudios realizados en fondos marinos, debido a las dificultades logísticas que la profundidad añade. En zonas arrecifales, a pesar de los importantes servicios que estos ecosistemas proveen las investigaciones siguen siendo insuficientes.

El puerto de Veracruz, al ser uno de los principales destinos turísticos de México, presenta una gran afluencia de visitantes, lo cual a su vez, genera una importante cantidad de desechos plásticos, los cuales al no ser dispuestos correctamente son emitidos al mar. A pesar de que en el estado de Veracruz se cuenta con legislación en materia de residuos sólidos urbanos, la gestión de estos es inadecuada, además no incluye normativas específicas para los productos plásticos, lo cual contribuye significativamente a la problemática de la contaminación por plásticos (Figura 11).

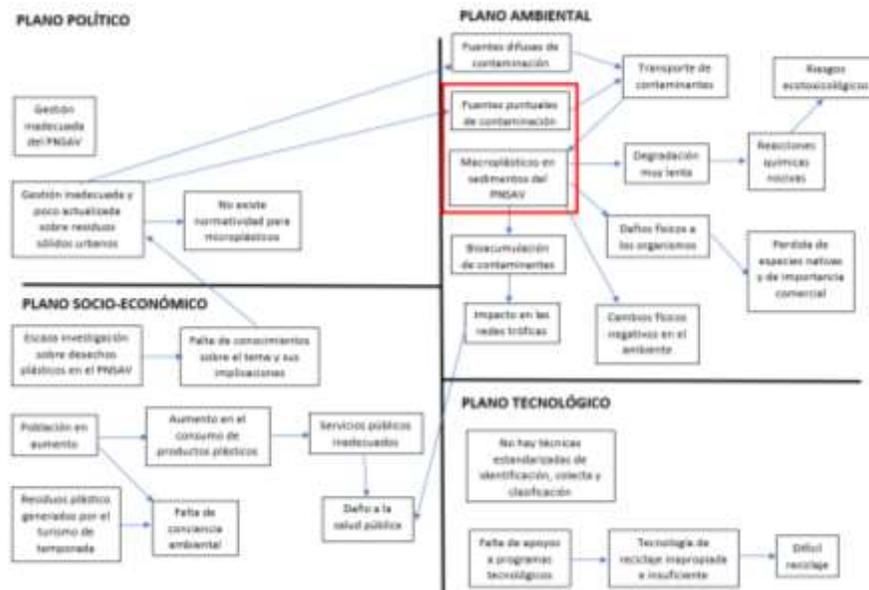


Figura 11. Diagrama del problema de investigación

## 6.4 Justificación

Los residuos plásticos de gran tamaño son el punto de partida a múltiples problemáticas, como cambios físicos en fondos marinos, ingestión por parte de animales marinos, enredos o enmallamientos, transporte de especies invasoras y de otros contaminantes. Estos materiales presentan un largo tiempo de degradación en el ambiente, sin embargo, se fragmentan en piezas

más pequeñas incluso hasta llegar a partículas microscópicas, que siguen afectando al ecosistema arrecifal.

Dentro de los factores que inciden en la presencia de macroplásticos en fondos arrecifales, se encuentran las fuentes de contaminación terrestres, como desagües, ríos o arroyos. Aunado a esto, los residuos generados por las actividades económicas en playas o directamente en los arrecifes son responsables de gran parte de que estos residuos lleguen al mar.

La investigación que aquí se plantea busca conocer las posibles rutas de ingreso de los macroplásticos en fondo del PNSAV, a partir del análisis de la concentración y distribución de estos residuos. Esto permitirá proponer acciones para evitar que estos contaminantes ingresen al ecosistema marino. De igual forma, conocer la distribución de los macroplásticos en el fondo arrecifal permitirá concebir una visión general de la retención de estos materiales por parte de PNSAV. Aunado a esto, analizar la concentración de macroplásticos encontrados en los diversos arrecifes, será un importante aporte para evaluar las zonas del PNSAV con mayor impacto antropogénico. Además, clasificar los objetos plásticos de acuerdo a su densidad, tamaño y forma, y contrastar esta información con las corrientes marinas y morfología del PNSAV; contribuirá una mejor comprensión de la dinámica general que presentan los macroplásticos al ingresar al ambiente marino dentro de las características específicas del PNSAV.

El conocimiento obtenido mediante esta investigación será un aporte importante para la adecuación de programas de gestión de residuos sólidos tanto a nivel local, como a nivel nacional. Los datos sobre distribución de macroplásticos en el PNSAV permitirán implementar programas de mitigación dirigidos a zonas prioritarias.

## **6.5 Pregunta de investigación**

¿Cuál es la relación que existe entre la distribución, concentración y clasificación de los macroplásticos en fondo arrecifal con respecto a las fuentes de contaminación, actividades económicas y la hidrodinámica anual en el (Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano) PNSAV?

## **7 HIPÓTESIS**

La clasificación de los macroplásticos en fondo arrecifal está directamente relacionada con las fuentes de contaminación y las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la zona. La distribución y concentración de macroplásticos se ve afectadas por la hidrodinámica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), la cual varía dependiendo de la temporada del año.

## **8 OBJETIVOS**

### **8.1 General**

Determinar la relación entre la distribución, concentración y clasificación de los macroplásticos en fondo arrecifal con respecto a las fuentes de contaminación, las actividades económicas y la hidrodinámica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

## 8.2 Particulares

- Identificar las fuentes puntuales de emisión de macroplásticos y las actividades económicas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).
- Evaluar la percepción del sector especializado en buceo sobre el impacto de los macroplásticos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).
- Analizar la distribución, concentración y clasificación de los macroplásticos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).
- Establecer la relación entre las fuentes de contaminación, las actividades económicas, la hidrodinámica y la presencia de macroplásticos en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

## 9 MATERIAL Y MÉTODOS

### 9.1 Área de estudio

El área de estudio en donde se realizó la identificación de las fuentes puntuales abarcó 15.5 km a partir del Muelle de la Armada de México hasta el Foro Boca, únicamente en la zona de playa, comprendida entre el muro del bulevar y la zona intermareal (Figura 12).



Figura 12. Localización del área de estudio en playas de Veracruz- Boca del Río para la identificación de fuentes puntuales de contaminación.

Se realizaron muestreos en 14 arrecifes del PNSAV, durante las tres temporadas del año: estiaje (mayo, 2022), lluvias (junio-julio, 2022) y nortes (octubre 2022) (Cuadro 7, Figura 13). La selección de los arrecifes se realizó buscando la representatividad del área, para esto se tomó en cuenta la distribución geográfica, seleccionando arrecifes de la zona norte y sur del PNSAV; teniendo en cuenta la cercanía a la costa, en cada zona se seleccionaron arrecifes cercanos a la costa, en un punto medio y lejanos a la costa. Otro aspecto importante para la selección de los

puntos de muestreo, fueron los reportes de arrecifes que presentan acumulación de macroplásticos, por parte de los buzos que respondieron la encuesta sobre residuos plásticos en el PNSAV. Finalmente, se consultó la evaluación de riesgo de pérdida de servicios ambientales realizada por *Ortíz-Lozano et al., (2015)* para identificar el estatus de los arrecifes seleccionados.

Cuadro 7. Puntos de muestreo

PM	Fecha	Coordenadas GMS		Arrecife
1	04/05/2022	19°07'18.7" N	95°56'58.2" O	Enmedio
2	04/05/2022	19°04'05.4" N	95°59'46.7" O	Giote
3	13/05/2022	19°13'41.0" N	96°06'08.4" O	Blanquilla
4	13/05/2022	19°10'25.9" N	96°05'35.8" O	Sacrificios
5	16/05/2022	19°08'10.1" N	95°47'43.3" O	Anegadilla
6	16/05/2022	19°08'39.8" N	95°48'39.9" O	Santiagoullo
7	30/06/2022	19°13'41.8" N	96°03'46.4" O	Anegada de adentro
8	30/06/2022	19°11'09.7" N	96°05'33.0" O	Pájaros
9	30/06/2022	19°13'15.7" N	96°07'30.3" O	Gallega
10	16/07/2022	19°11'41.7" N	96°07'22.4" O	Hornos
11	21/07/2022	19°09'04.9" N	96°05'31.7" O	Ingenieros
12	05/10/2022	19°03'12.0" N	95°55'21.7" O	Cabezo
13	05/10/2022	19°03'46.5" N	95°55'37.9" O	Rizo
14	05/10/2022	19°04'42.1" N	95°57'17.0" O	Chopas



Figura 13. Localización los puntos de muestreo de macroplásticos en fondo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)

## 9.2 Fuentes puntuales de emisión de residuos plásticos

La identificación de las fuentes puntuales, se realizó durante la temporada de nortes 2022 (noviembre-diciembre), mediante recorridos en los cuales se geolocalizaron los desagües que desembocan directamente a las playas de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río. Durante los recorridos se tomaron fotografías y se anotaron en un formato de campo las coordenadas geográficas, el tipo de desagüe, el material con el que estaba hecho el desagüe, la medida de diámetro, el color, así como la percepción sobre si presentaba algún olor y alguna descarga al momento de la identificación (Figura 14).

REGISTRO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE FUENTES PUNTUALES DE CONTAMINACIÓN

Fecha: \_\_\_\_\_ #: \_\_\_\_\_

REFERENCIA	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	TIPO	MATERIAL	COLOR	OLOR	DESCARGA PRESENTE

Figura 14. Formato de campo para la identificación de fuentes puntuales en zona de playas Veracruz-Boca del Río. Elaboración propia.

Las fuentes puntuales se clasificaron en desagües pluviales cuando se observaba que la infraestructura provenía del alcantarillado del boulevard, se clasificaron como cañerías todas aquellas fuentes puntuales en las que se observaba una descarga de agua y mal olor, finalmente, se clasificaron como fuentes puntuales de origen desconocido aquellos desagües que a simple vista no fue posible determinar de dónde provenía la descarga (Figura 15).



Figura 15. Principales tipos de desagües en zona de playas Veracruz-Boca del Río. Ejemplos de a) Desagüe pluvial, b) Cañería y c) Fuente puntual de origen desconocido.

Para representar en los mapas las fuentes de contaminación difusa, se generaron mapas en los cuales se delimitaron zonas con base en la distancia recorrida en cada visita al área de estudio. Se llevó a cabo el registro de los residuos plásticos observados durante los recorridos, el número de depósitos de basura y las principales actividades económicas que se llevan a cabo en las playas Veracruz-Boca del Río (Figura 16).

ZONA	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	OBJETOS PLÁSTICOS ENCONTRADOS	NÚMERO DE DEPÓSITOS DE BASURA

Figura 16. Formato de registro de información complementaria en zona de playas Veracruz- Boca del Río. Elaboración propia.

Los puntos georreferenciados de cada una de las fuentes puntuales, se vaciaron en una base de datos, la cual fue importada en un ambiente de SIG utilizando el programa ArcMap 10.3 (ESRI, 2010) para la generación de mapas temáticos.

### 9.3 Encuesta sobre residuos plásticos en el PNSAV

Se realizó la encuesta para recabar información sobre la presencia de macroplásticos en el PNSAV. Para lo cual se elaboraron 8 preguntas enfocadas a conocer las zonas de deposición y

acumulación en donde se han observado estos residuos, los tipos de macroplásticos que comúnmente son encontrados, sí existe entre los encuestados alguna preocupación por su presencia en el medio marino y sí se realiza alguna acción para disminuir esta problemática.

Esta encuesta fue dirigida a informantes especializados que realizan actividades subacuáticas en el PNSAV como agencias de buceo, instructores de buceo, buzos industriales, científicos y deportivos. La encuesta fue diseñada y distribuida utilizando la plataforma Formularios de Google.

#### **9.4 Hidrodinámica**

Para analizar la influencia de la hidrodinámica en los objetos plásticos encontrados en este estudio, se seleccionaron 6 macroplásticos que comúnmente cumplen con la característica de ser menores a 1 m de longitud lo cual aumenta la probabilidad de que sean arrastrados por las corrientes; el tipo de plástico del que comúnmente se encuentran elaborados es de una densidad mayor a la del agua de mar, lo cual garantiza su hundimiento; están elaborados con uno o dos tipos de plástico, lo cual permite obtener la densidad del macroplástico con mayor certeza y por lo tanto que las estimaciones sean más apegadas a la realidad; finalmente se eligieron macroplásticos que no se encontraban enredados en corales o sujetos a alguna estructura ya que estos plásticos tienen bajas posibilidades de viajar con las corrientes marinas.

Posteriormente se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre los registros de corrientes marinas en el PNSAV durante los meses en los que se llevaron a cabo los muestreos. A partir del cálculo de la velocidad y dirección de la corriente superficial, propuesta por (Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016), se sumaron 15° en el sentido de las manecillas del reloj para añadir el giro ocasionado por el efecto Coriolis. Posteriormente, se identificó, dependiendo del mes en el que se encontró el macroplástico, la profundidad de cada corriente marina siguiendo las gráficas de contorno de series de tiempo de temperatura propuestas por Salas-Monreal *et al.*, (2022).

Se corroboró, mediante una revisión bibliográfica, la densidad del material con el que posiblemente estaba compuesto el macroplástico y se multiplicó por el volumen del objeto para obtener su masa. Con estos datos se obtuvo la velocidad de precipitación para cada macroplástico. A esto se sumó la velocidad de cada capa de corriente y la velocidad resultante se multiplicó por la profundidad de la capa. Los cálculos realizados permitieron hacer una aproximación de la distancia recorrida por el macroplástico desde la superficie hasta la profundidad a la que fue encontrado y con ello trazar la ruta que posiblemente siguió el macroplástico.

#### **9.5 Muestreo**

La elección del punto de muestreo para cada arrecife fue aleatorio. El muestreo se efectuó mediante el buceo SCUBA, el tiempo total de inmersión fue variable dependiendo de la profundidad y características del sitio. El descenso se realizó en parejas, un buzo principal y un buzo de apoyo. Una vez realizado el descenso, al llegar a la zona más profunda se recolectó el sedimento utilizando un muestreador de metal con un diámetro de 19 cm y una altura de 7 cm. El recorrido se inició siempre en la zona más profunda cercana al punto de descenso, el rumbo fue orientado siguiendo la configuración geográfica del arrecife, ascendiendo en zigzag hacia la superficie. Tanto el buzo principal como el buzo de apoyo recolectaron las piezas de macroplásticos que fueron posibles de remover, las piezas de gran tamaño o que generaran

afectaciones al arrecife como resultado de su remoción se fotografiaron para su posterior clasificación mediante observación directa (Figura 17).

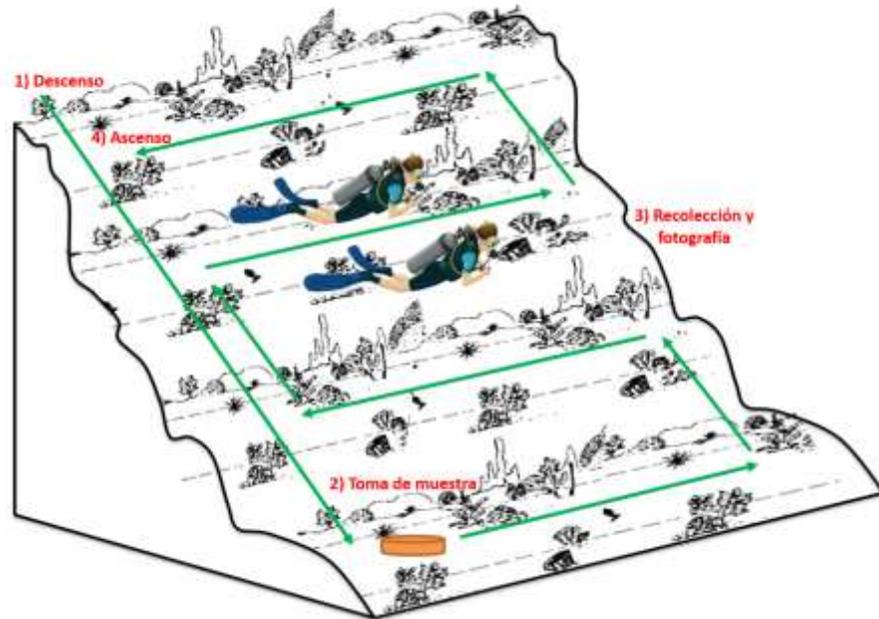


Figura 17. Plan de buceo para la toma de muestras de sedimento en fondo arrecifal.

### 9.6 Procesamiento de las muestras

En el Laboratorio de Investigación en Recursos Acuáticos (LIRA) se tamizaron las muestras con un tamiz de luz de malla de 5 mm, para separar las pizas de plástico las cuales se fotografiaron. Las categorías de clasificación fueron planteadas según el tipo de objeto, longitud, color, material, si presentaron bioincrustaciones y la zona arrecifal en la que fueron encontrados (Andrady, 2011; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; Avio *et al.*, 2017; Campoy y Beiras, 2019) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Clasificación de macrolásticos en muestras de sedimento arrecifal.

Objeto	Longitud	Color	Material	Bioincrustaciones	Zona arrecifal
Red	>2.5cm	Blanco	HDPE	Si	Laguna interna
Tubo	>10cm	Transparente	PVC	No	Arrecife interno
Envase	>50cm	Rojo	PES		Cresta
Bolsa	>1m	Naranja	PP		Arrecife externo
Cuerda		Amarillo	PS		Fondo fuera del arrecife
Llanta		Verde	LDPE		
Cubrebocas		Azul	Etc.		
Etc.		Morado			
		Negro			

## 10 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 10.1 Fuentes de contaminación en zona de playas Veracruz-Boca del Río

Se registraron 142 fuentes puntuales; de las cuales 88 corresponden a desagües pluviales, 50 a cañerías y 4 fuentes puntuales de origen desconocido. Del total de fuentes puntuales localizadas en la zona de playa, el 63% corresponde a desagües pluviales, el 35% a cañerías y el 3% a fuentes puntuales cuyo origen no se pudo identificar (Figura 18).



Figura 18. Porcentajes de fuentes puntuales en zona de playas Veracruz-Boca del Río durante la temporada de nortes 2022.

Es importante recalcar el aporte de los desagües pluviales como una fuente de contaminación, ya que se estima que el 80% de los plásticos, tres cuartas partes de los desechos que llegan al mar provienen de fuentes terrestres que resultan de una falta o ineficiente recolección y gestión inadecuada de residuos (Barboza *et al.*, 2018; Gallo *et al.*, 2018; Lebreton *et al.*, 2018; Derraik, 2002). Una importante fracción de los residuos plásticos que se encuentran en las calles de la ciudad de Veracruz son arrastradas por los vientos y se acumulan en distintos puntos de la ciudad, posteriormente en la temporada de lluvias, estos residuos viajan hacia la red de alcantarillado pluvial, la cual los envía directamente al mar (Arroyo-Valverde, 2020). Este aporte de contaminantes se pudo confirmar al observar dentro de algunos desagües, en especial los de gran tamaño, la presencia de residuos plásticos. Una vez en el mar, los residuos plásticos son transportados por las corrientes marinas hacia el Sistema Arrecifal Veracruzano ocasionando en todo momento graves afectaciones a este importante ecosistema.

Las descargas residuales comúnmente no contienen macroplásticos ya que durante el tratamiento de este tipo de aguas, los residuos sólidos de gran tamaño, ya sea en suspensión o flotantes, son los primeros que se retiran durante el tratamiento primario (Ramalho, 2021). Sin embargo al igual que en el caso de los desagües pluviales, es posible que en algún punto de la red de alcantarillado existan rupturas o grietas por donde los macroplásticos puedan ingresar y llegar al mar.

El Río Jamapa constituye una de las principales fuentes de contaminación terrestre que impacta al PNSAV debido a la influencia directa del intercambio entre el mar y el sistema lagunar. Dentro de los agentes contaminantes que predominan en estos aportes de agua dulce desechos sólidos que contienen gran cantidad de materiales plásticos (Herrera-Silveira *et al.* 2011; Landeros-Sánchez *et al.* 2012). La contaminación generada cuenca arriba por actividades industriales, agrícolas, ganaderas y acuícolas, influye en la presencia de residuos plásticos en la desemboca del Río Jamapa (Ortiz-Lozano, 2012). En la temporada de lluvias, se observa un aumento en la remoción y transporte de estos contaminantes debido al aumento del caudal de los ríos y arroyos (Hurley *et al.*, 2018).

## 10.2 Macroplásticos relacionados a actividades económicas en playas Veracruz-Boca del Río

Las zonas densamente pobladas o áreas industrializadas han sido reconocidas como las principales fuentes terrestres de desechos sólidos (Derraik, 2002). El puerto de Veracruz es considerado como un destino turístico importante en nuestro país, el cual, en 2021, presentó una afluencia de turistas de más de un millón ochocientos mil (SECTUR), además cuenta con un gran desarrollo portuario, el cual registró un movimiento de carga de treinta y dos millones de toneladas al cierre del 2021 (API). Esta región ha presen un desarrollo industrial acelerado y con él, un aumento en el crecimiento poblacional (Ortiz-Lozano, 2018; Fuentes *et al.*, 2017). Las principales actividades económicas reportadas en este estudio son el turismo, comercio y servicios de alimentos, las cuales están presentes en todas las zonas. En la zona 1, 2 y 5 además se llevan a cabo actividades de pesca y transporte marítimo (Figura 19).



Figura 19. Principales actividades económicas en playas de Veracruz-Boca del Río a) Pesca y transporte marítimo, b) Turismo, c) Comercio y d) Servicios de alimentos.

Dentro de los macroplásticos encontrados en las diferentes zonas se destacan las tapas, botellas, envolturas, y desechables de unicel por ser los más abundantes (Cuadro 9). Los fragmentos de artes de pesca fueron también un elemento común, aún en zonas en donde no se realizan actividades de pesca. Los cubrebocas son artículos que se relacionan con la pandemia por Covid-19, por lo que es común encontrarlos en estas zonas concurridas.

Cuadro 9. Fuentes de puntuales contaminación en playas de Veracruz-Boca del Río.

Zona	Actividades económicas	Macroplásticos	DB	DP	CÑ	OD
1. Muelle de la Armada de México-Acuario	Turismo, comercio, servicios de alimentos, transporte marítimo y pesca	Bolsas, tapas, botellas, redes de pesca, monofilamentos y envolturas	2	19	3	0
2. Acuario-Plaza de la Soberanía	Turismo, comercio, servicios de alimentos, transporte marítimo y pesca	Bolsas, tapas, botellas, desechables de unicel, sillas, cubrebocas, popotes, lonas y redes de pesca	29	6	5	3
3. Plaza de la Soberanía-Penacho del Indio	Turismo, comercio y servicios de alimentos	Bolsas, tapas, botellas, desechables de unicel, cubrebocas, monofilamentos y popotes	23	21	6	0
4. Penacho del Indio-Fiesta Inn	Turismo, comercio, servicios de alimentos y construcción	Tubos de PVC, tapas, botellas, desechables de unicel, hule espuma, bolsas, zapatos, tubos eléctricos flexibles, monofilamentos, cubrebocas, redes de embalaje, juguetes de playa, popotes, cuerdas y espuma térmica	2	3	4	0
5. Fiesta Inn-Andamar	Turismo, comercio, servicios de alimentos y pesca	Tubos, botellas, tapas, asientos, bolsas negras, desechables de unicel, bolsas negras y redes de pesca	22	6	8	1
6. Andamar-Paradise	Turismo, comercio y servicios de alimentos	Lentes, bolsas, cubiertos, ropa, tapas, botellas, cubrebocas y láminas de policarbonato	24	11	11	0
7. Paradise-Foro Boca	Turismo, comercio y servicios de alimentos	Envolturas, sillas de plástico, tapas, botellas, cubiertos, desechables de unicel, popotes, hule espuma, costales de plástico	11	2	2	0

Depósitos de basura (DB), Desagües pluviales (DP), Cañerías (CÑ), Origen desconocido (OD).

Se identificaron 90 depósitos de basura en el área de estudio, en promedio cada depósito de basura abarca 172 m de playa aproximadamente, lo cual no es suficiente para contener la basura generada en las playas. Aunado a esto, la distribución de los depósitos de basura no es uniforme, en algunas zonas se registraron escasos depósitos cubriendo grandes extensiones de playa y en otras zonas se registró una mayor cantidad de depósitos de basura en extensiones de playa más reducidas. En ambos casos la presencia de residuos plásticos confirma el impacto al ecosistema costero por parte de las actividades antropogénicas y la deficiencia de los servicios de gestión de residuos sólidos (Thompson y Napper, 2019).

Es posible constatar la insuficiencia de los depósitos de basura en zonas extensas como la del Muelle de la Armada de México-Acuario y la de Penacho del Indio-Fiesta Inn, ya que solo se encontraron 2 depósitos de basura; en algunos casos los contenedores se encontraban en la zona del boulevard, sin embargo para este estudio sólo se contabilizaron los que se encontraban en la playa. En playas más concurridas, como en zona Acuario-Plaza de la Soberanía, la mayoría de los depósitos de basura pertenecen a los locatarios y no se encuentran señalizados o visibles. Es posible que los visitantes al no encontrar contenedores de basura cercanos decidan dejar sus residuos en las playas.

López-Hernández (2018), realizó un trabajo de investigación en el que clasifican y cuantifican los residuos plásticos encontrados durante periodos vacacionales y fines de semana largos, en tres playas: Villa del Mar, Vicente Fox y Antón Lizardo. En el presente estudio solamente se determinaron los residuos plásticos observados durante el recorrido de identificación de fuentes puntuales y los recorridos fueron realizados durante la temporada de nortes en los meses diciembre y enero 2021 (Figura 20-26). A pesar de la diferencia en la metodología utilizada se pudo realizar una comparación del tipo de residuos plásticos observados y se encontraron algunas coincidencias.

La zona 1 que comprende la a partir del Muelle de la Armada hasta la plaza acuario, las actividades económicas reportadas son turismo, comercio, servicios de alimentos, transporte marítimo y pesca. En esta zona se ubicaron tres cañerías y 19 desagües pluviales, por lo que podría existir un aporte de macroplásticos desde estos desagües pluviales en época de lluvias. Por otra parte los macroplásticos encontrados en la zona de playas, se encuentran relacionados con la pesca y los servicios de alimentos (Figura 20).



Figura 20. Zona 1. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

En la playa Villa del Mar, la cual se encuentra dentro de la zona Acuario-Plaza de la Soberanía, López-Hernández (2018), encontró que los tipos de residuos plásticos más comunes fueron los denominamos como “otros”, dentro de estos tipos de residuos se clasifican los fragmentos de objetos plásticos, por ejemplo, pedazos de bolsas, envolturas, botes, vasos, zapatos, pañales, toallas sanitarias, juguetes playeros, sillas, mesas, entre otros. En segundo lugar, reporta una abundancia de bolsas, en especial de la cadena “Oxxo”, lo cual coincide con el presente estudio, sin embargo, no se observó una tendencia hacia una mayor cantidad de bolsas plásticas de algún comercio en especial. Es importante destacar la presencia de las bolsas de plástico y residuos de un sólo uso, como popotes, a pesar de que a partir del primero de enero del 2020, entró en vigor la Ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz, la cual prohíbe el uso de este tipo de plásticos en establecimientos comerciales. En tercer lugar otro de los residuos plásticos reportados por López-Hernández (2018), son diferentes tipos de envolturas, lo cual coincide con las envolturas observadas en este estudio.

En la zona de playa comprendida entre el Acuario y la Plaza de la Soberanía (Figura 21) se observó la mayor presencia de depósitos de basura, pero también la mayor cantidad de fuentes puntuales de origen desconocido, con respecto a las demás zonas. Esta zona es de las más visitadas durante todo el año, las principales actividades económicas están relacionadas con el turismo, el transporte marítimo y los servicios de alimentos; a lo largo de las playas se pueden encontrar múltiples artículos plásticos relacionados con estas actividades. Ambos trabajos coinciden en que en esa zona es muy común encontrar popotes, tapas y desechables de unicel. A diferencia de lo mencionado por López-Hernández (2018), durante los recorridos a pie se encontraron cubrebocas, esto debido a que a inicios del 2019 se detonó la pandemia por Covid-19, provocando un aumento en el uso de este artículo.



Figura 21. Zona 2 Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

En la zona 3 Plaza de la Soberanía-Penacho del Indio (Figura 22) se observó la mayor cantidad de desagües pluviales, la mayor parte de esta zona presenta una superficie rocosa que dificulta las actividades turísticas en las playas, por lo que la mayoría de los visitantes acceden a esta zona sobre el boulevard, de igual manera los depósitos de basura en su mayoría se encuentran sobre el boulevard. Se identificaron monofilamentos lo cual coincide con las actividades de pesca deportiva se realizan a pequeña escala en esta zona.



Figura 22. Zona 3. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

La zona 4 Penacho del Indio-Fiesta Inn (Figura 23) registró una mayor variedad de macroplásticos en la playa, relacionados principalmente con actividades turísticas pero también con actividades de construcción como hule espuma, tubos eléctricos flexibles y espuma térmica. Se reportaron solamente 2 depósitos de basura en toda esta zona, la cual se encuentra frente a hoteles con acceso a la playa; es posible que la escasez de depósitos de basura se deba a que estos son ubicados dentro de los hoteles y no en la zona de playa.



Figura 23. Zona 4. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

Los macroplásticos observados en la zona 5 Fiesta Inn-Andamar (Figura 24) se encuentran relacionados principalmente con las actividades turísticas y de servicios de alimentos, además se observaron redes de pesca, lo cual coincide con la presencia de una pequeña cooperativa pesquera en la zona. Destaca la presencia de objetos plásticos utilizados con la construcción en la zona de playas, debido a que en el arrecife Ingenieros, que se encuentra en esta zona, se pudo recuperar un fragmento de plástico con características similares a las del PPMA, material catalogado como plástico de ingeniería que usualmente se utiliza en la construcción. Por otra parte, se recuperó un fragmento de film que posiblemente sea PE-LD, ya que este material es utilizado para fabricar empaque, en la industria de la construcción o de servicios de alimentos.



Figura 24. Zona 5. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

La zona 6 Andamar-Paradise (Figura 25) presentó la mayor cantidad de cañerías, a pesar de ser una zona con poca presencia de hoteles y comercios en la playa; la presencia de estas cañerías podría deberse a que del otro lado del boulevard se encuentra el fraccionamiento El Morro. En la zona de playas se encontraron artículos plásticos relacionados con las actividades económicas de turismo y servicios de alimentos, principalmente de alimentos.



Figura 25. Zona 6. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

En la playa Vicente Fox, la cual comprende la zona Paradise-Foro Boca, López-Hernández (2018) encontró en primer lugar tanto envolturas como fragmentos de plástico, en segundo lugar, vasos de plástico y, en tercer lugar, tapas. A excepción del hule espuma y los costales, los demás objetos reportados por este estudio en la zona Paradise-Foro Boca (Figura 26), coinciden con lo reportado por López-Hernández (2018). Por su parte, López-Hernández (2018), identificó rejillas de sixpack, objeto que no fue observado durante los recorridos de esta investigación. Esta zona de playas es visitada en su mayoría por habitantes del centro de Boca del Río, en la Playa Vicente Fox se localiza un establecimiento de la cadena Oxxo y algunos negocios informales de comida, debido a esto la presencia de residuos plásticos relacionados con alimentos. Los negocios informales de comida utilizan costales llenos de arena para cimentar de manera improvisada sus locales, al desgastarse los costales con el paso del tiempo son reemplazados por otros y los anteriores son descartados en la misma playa. Es posible que los objetos plásticos relacionados con la construcción lleguen, transportadas por el viento, desde las casas que se encuentran en el centro de Boca del Río, a unas cuadas de la Playa Vicente Fox.



Figura 26. Zona 7. Fuentes puntuales en playas de Veracruz-Boca del Río.

### 10.3 Encuesta sobre macroplásticos en fondo del PNSAV

En el Golfo de México se lleva a cabo el 11.51% de las actividades subacuáticas a nivel nacional, dentro del PNSAV se localizan 84 sitios de buceo (dataMares, 2022), estas actividades económicas forman parte del 20% de los residuos plásticos que provienen de fuentes de contaminación marina (Lebreton *et al.*, 2018; Barboza *et al.*, 2018). Así mismo, son los buzos quienes realizan gran parte del trabajo de remoción de macroplásticos en las zonas arrecifales que frecuentan.

La pregunta 1 de la encuesta se planteó específicamente durante la temporada alta, sin embargo, la información recabada es pertinente como punto de partida para determinar que arrecifes incluir en los puntos de muestreo. La mayoría de los encuestados señala que los arrecifes en donde se

observan macroplásticos son Sacrificios, Pájaros y Anegada de adentro; seguidos de Blanquilla, Giotte, Galleguilla, Gallega y Enmedio (Figura 27). En el presente estudio se identificó la presencia de macroplásticos en los arrecifes Pájaros, Anegada de adentro, Gallega y Enmedio; en los arrecifes Sacrificios y Blanquilla no se encontraron macroplásticos y en el arrecife Galleguilla no se realizaron muestreos.

Otros arrecifes mencionados por los buzos en los que se encontraron macroplásticos fueron Hornos e Ingenieros. Estos arrecifes costeros cuentan con poca profundidad por lo que la mayor parte de las actividades subacuáticas realizadas en esta zona corresponden a esnórquel.

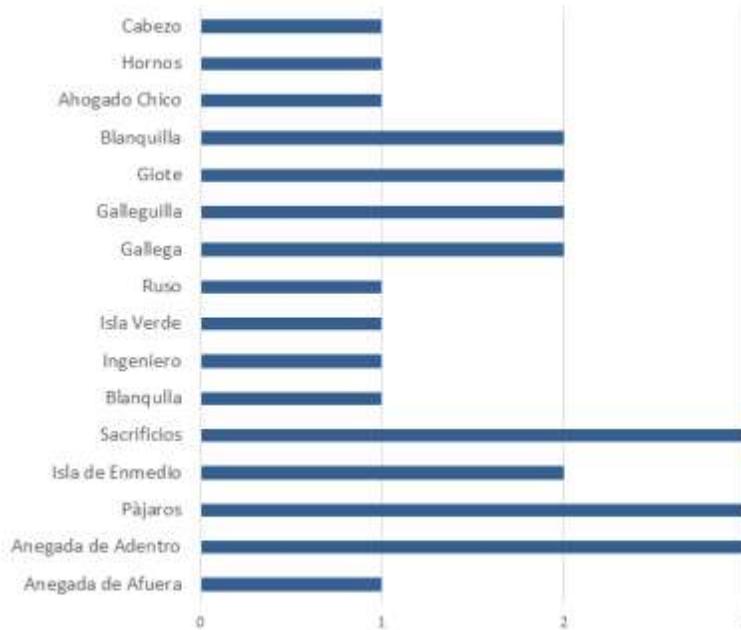


Figura 27. Respuesta a la pregunta 1: Durante la temporada alta (marzo-agosto), ¿En qué arrecifes del PNSAV has observado residuos plásticos?

La zona arrecifal en donde los buzos mayormente encuentran residuos plásticos es la laguna interna, seguido del arrecife interno y la zona de playa (Figura 28). Gran parte de las actividades subacuáticas se realizan en estas zonas por lo que es posible que los desechos sean emitidos al mar desde allí, además la cresta arrecifal y el arrecife interno por su morfología tienen una mayor capacidad de retención de macroplásticos (Figuroa-Pico *et al.*, 2020).

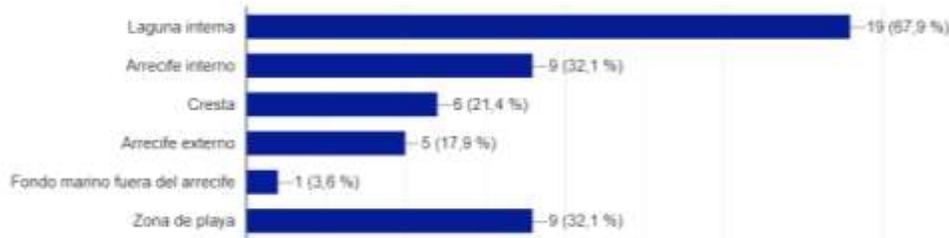


Figura 28. Respuesta a la pregunta 2: Durante la temporada alta (marzo-agosto), ¿en qué arrecifes del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) has observado residuos plásticos?

Los objetos plásticos reportados por los encuestados, en el fondo arrecifal del PNSAV fueron muy variados, principalmente bolsas de plástico, botellas, tapas, redes y líneas de pesca (Figura 29); estos objetos también han sido reportados en zonas de playas y cerca de las fuentes puntuales (López-Hernández, 2018). El 50% de los encuestados señala haber observado cubrebocas en el fondo marino, artículo que se ha reportado en playas con gran afluencia de visitantes, objetos que se ha vuelto muy común a partir de la reapertura de las playas a partir de la Pandemia por Covid19.

Estudios realizados por Rivera-Garibay en 2020, señalan que los fragmentos cuyo origen no es posible determinar conforman la mayor parte de los macroplásticos en zonas arrecifales. Además coinciden con lo señalado por los encuestados sobre la presencia de bolsas, tapas, botellas, artes de pesca, desechables y etiquetas.

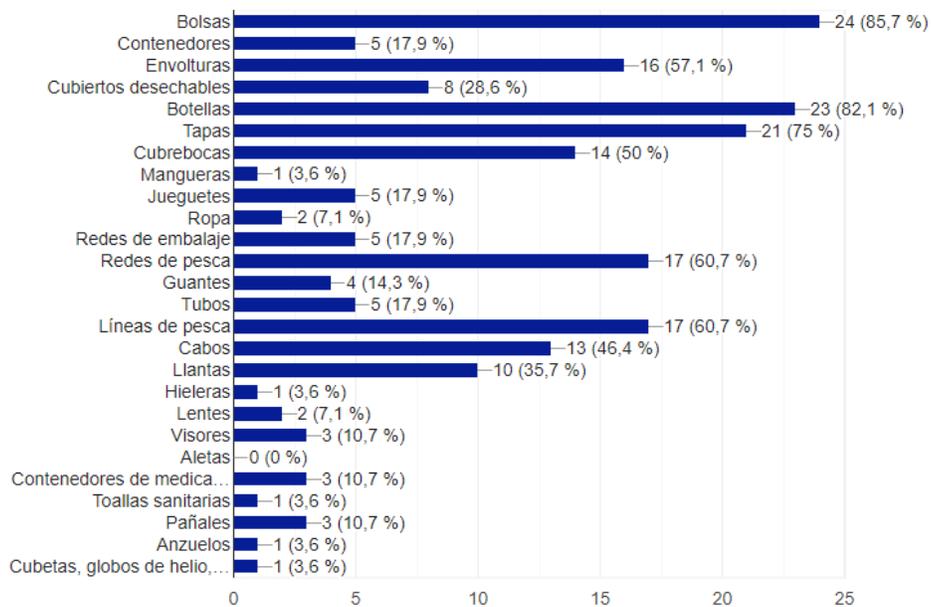


Figura 29. Respuesta a la pregunta 3: ¿Qué residuos plásticos has observado en el fondo arrecifal?

El 75% de los encuestados refiere que no es común perder objetos plásticos en el PNSAV, sin embargo se reportan pérdidas esporádicas en un 25% y muy comunes en un 5% (Figura 30).

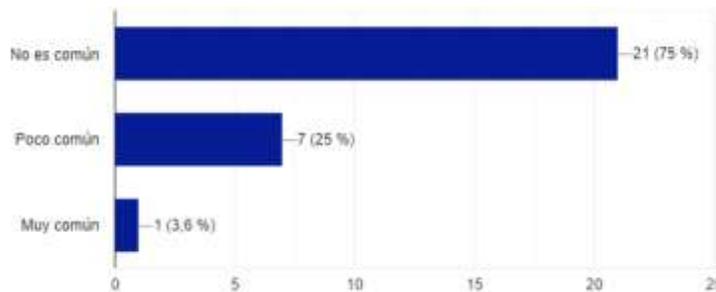


Figura 30. Respuesta a la pregunta 4: ¿Qué tan común es para ti perder objetos plásticos en el PNSAV?

Ninguno de los buzos encuestados refiere descargar deliberadamente residuos plásticos en el PNSAV (Figura 31).

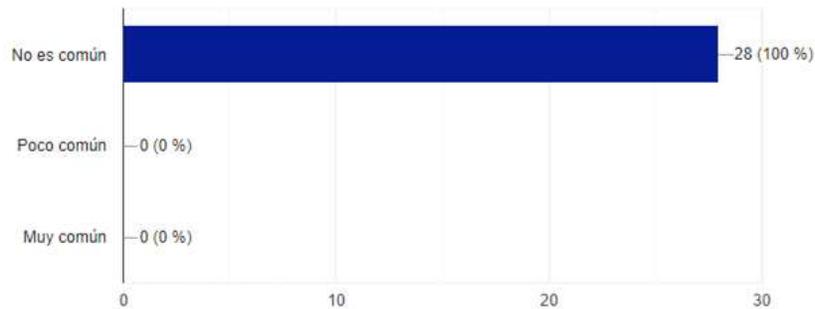


Figura 31. Respuesta a la pregunta 5: ¿Qué tan común es para ti arrojar residuos plásticos al PNSAV?

El 60.7% de los buzos recoge residuos plásticos durante las inmersiones, para el 35.7% es una práctica poco común y para el 7.1% no es común (Figura 32).

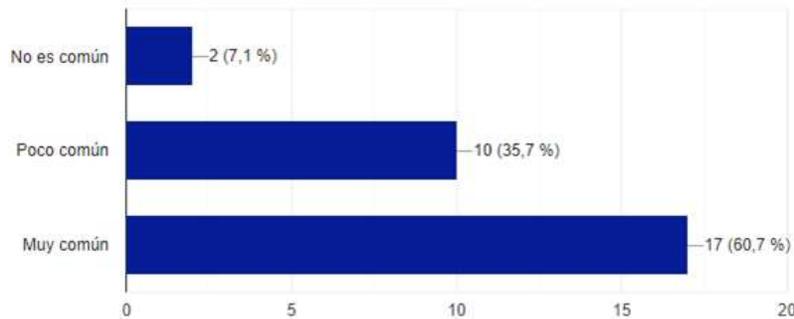


Figura 32. Respuesta a la pregunta 6: Durante las inmersiones, ¿es común que recojas residuos plásticos que encuentres a tu paso?

En cuanto a la participación en limpiezas de arrecifes para el 21.4% no es común participar en este tipo de actividades, para el 28.6% es muy común y para el 50% restante es una práctica poco común (Figura 33). Los 30 buzos encuestados señalan que la presencia de residuos plásticos en preocupación

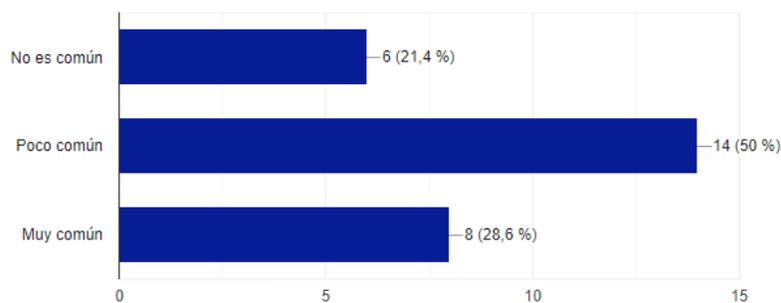


Figura 33. Respuesta a la pregunta 7: ¿Qué tan común es para ti participar en limpiezas de arrecife?

## 10.4 Concentración de macroplásticos con relación a la densidad, forma, tamaño y presencia de bioincrustación

En este estudio se reportaron un total de 21 macroplásticos en fondo marino del PNSAV, de los cuales se lograron recuperar 17 y 4 fueron fotografiados (Cuadro 10, Anexo 1). La mayor parte de los materiales plásticos con que fueron fabricados los objetos encontrados presenta similitud con las diferentes proporciones de tipos de plásticos reportados en los residuos sólidos urbanos, entre los cuales destacan el polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60%) y en menor proporción poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), polimetacrilato de metilo (PMMA) (Arandes *et al.*, 2004).

Cuadro 10. Macroplásticos encontrados en el fondo del PNSAV

ID	Arrecife	Objeto	Long.	Color	Material	Bioincrustación
1a	Enmedio	Línea de pesca	0.18 m	Verde	PA6	Si
5a	Anegadilla	Grampín	20 m	Café	PP	Si
5b	Anegadilla	Palangre 3 líneas	10 m	Verde	PA6	No
7a	Anegada de adentro	Tubo	0.29 m	Blanco	PVC	Si
7b	Anegada de adentro	Bolsa para diálisis	0.78 m	Transparente	PVC	Si
7c	Anegada de adentro	Red	2.09 m	Verde	PA6	Si
7d	Anegada de adentro	Línea de pesca	2 m	Verde	PA6	Si
7e	Anegada de adentro	Red	0.4 m	NE	PA6	Si
8a	Pájaros	Fragmento playera	0.78 m	Gris	PES	Si
8b	Pájaros	Fragmento cinta industrial	0.11 m	Gris	PE-LD	Si
9a	Gallega	Fragmento tabla	0.14 m	Blanco	PPMA	Si
9b	Gallega	Línea de pesca	1.53 m	Verde	PA6	No
9c	Gallega	Línea de pesca	1.80 m	Verde	PA6	Si
9d	Gallega	Línea de pesca	3.85 m	Gris	PA6	Si
9e	Gallega	Línea de pesca	1.50 m	Verde	PA6	Si
9f	Gallega	Línea de pesca	19.43 m	Gris	PA6	Si
10a	Hornos	Fragmento pañal	0.21 m	Blanco	PP	Si
10b	Hornos	Fragmento textil	0.7 m	Azul	PES	Si

11a	Ingenieros	Fragmento film	0.45 m	Blanco	PE-LD	Si
11b	Ingenieros	Fragmento rígido	0.05 m	Transparente	PPMA	Si
11c	Ingenieros	Línea de pesca	.12 m	Verde	PA6	Si

La flotabilidad de un objeto plástico en el medio marino se encuentra relacionado con la densidad del material y con su volumen. Sin embargo, el valor de la densidad del material únicamente puede ser usado como referencia inicial de su comportamiento, ya que este valor se verá modificado a lo largo del tiempo por la degradación y la interacción con los organismos marinos (Flores-Vargas, 2022).

Otras características relevantes como la capacidad de los materiales para absorber o repeler el agua que influyen en el tiempo que tarda un macroplástico en llegar al fondo marino. Además de esto, aquellas características que permiten a los plásticos retardar la degradación influyen tanto en su flotabilidad como en la distribución dentro de los ecosistemas arrecifales. A pesar de no haber realizado análisis para confirmar los materiales con los que fueron elaborados con macroplásticos encontrados, se realizó una investigación bibliográfica para conocer que objetos se fabrican con cada tipo de plástico. Es importante identificar las diferentes características de cada tipo de plástico, ya que permite comprender su comportamiento en el medio marino y a partir de esto se realizar una inferencia de la influencia que el tipo de material tiene en la dispersión y distribución de los macroplásticos en fondo del PNSAV; además de poder indicar las posibles fuentes (GESAMP, 2019).

El 55% de los macroplásticos recolectados corresponden a artes de pesca elaboradas comúnmente a partir de nylon (PA6), material cuya densidad ( $1.14 \text{ g cm}^{-3}$ ) es más alta que la del agua de mar ( $1.027 \text{ g cm}^{-3}$ ), lo cual favorece su hundimiento (Silva-Rodríguez y Sanz-Aragón, 1997). Estas redes y monofilamentos se encuentran atados a plomos o anzuelos que se quedan atorados en rocas o en corales y debido a su longitud se enredan con facilidad.

El resto de los materiales se encontraron en igual proporción (9%). El polipropileno PP es uno de los materiales plásticos más utilizados (Nicholson, 2006), en el caso de los pañales desechables este material es usualmente empleado por su baja absorción de humedad y su ligereza lo hacen un material muy útil para este tipo de productos, sin embargo, en el ambiente marino al ser uno de los plásticos con menor densidad, este puede viajar con la corriente grandes distancias y su resistencia al agua permite que no se degrada con facilidad. Es posible que el fragmento de pañal encontrado en arrecife Hornos haya sufrido degradación mecánica al atorarse en rocas o corales, lo cual contribuiría a que los sedimentos se adhieran a este objeto y al fragmentarse estos se hundan.

El PVC es un material ampliamente utilizado en la construcción, para este estudio, fue posible identificar que la fuente de dónde provino el tubo de PVC encontrado en el arrecife Anega de adentro corresponde a estructuras construidas con fines científicos, en las cuales se utilizó este material por su resistencia a la corrosión y su ligereza debido a su baja densidad ( $1.13\text{-}1.14 \text{ g cm}^{-3}$ ) (IARC, 2018). Sin embargo estas estructuras al estar constantemente impactadas por la

acción del oleaje se fragmentan, dichos fragmentos al tener una densidad superior al agua de mar, se hunden con facilidad y al contar con espacios huecos son colonizados por diversos organismos. Las aplicaciones médicas son otro uso común del PVC, en el arrecife Anegada de adentro se recuperó una bolsa suero que concuerda con la actividad científica de la zona.

Aunque existen muchas variantes posibles del poliéster, la más conocida es la termoplástica llamada PET, este material cuenta con una densidad mayor a la del agua de mar ( $1.22 \text{ g cm}^{-3}$ ) por lo que se hunde fácilmente, sin embargo la baja tasa de absorción de agua al interior de las fibras, permite que sea más duradero (Webb *et al.*, 2013). El poliéster es uno de los materiales más utilizados en la fabricación de fibras textiles ya que cuenta con una serie de propiedades como a la abrasión, la decoloración y a los rayos UVA, lo que hace a las prendas elaboradas a base de este material no se fragmenten con facilidad.

El polietileno de baja densidad PEBD ( $0.91\text{-}0.94 \text{ g cm}^{-3}$ ) es un material muy ligero que tiende a flotar en el agua de mar. Sin embargo, uno de los macroplásticos encontrados durante el estudio, un fragmento de cinta industrial que comúnmente se elabora a partir de este material, se encontraba colonizado por algas, lo cual posiblemente haya contribuido a su hundimiento; por otra parte, se recuperó parcialmente del fondo marino un fragmento de film, el PEBD es ampliamente utilizado para fabricar películas de empaque, es posible que este macroplástico al contar con una forma alargada se haya atorado en las rocas y la acumulación de sedimentos lo haya sumergido (Silva-Rodríguez y Sanz-Aragonés, 1997).

Existen estudios que afirman que los microplásticos menos intemperizados conservan una densidad similar al material original de su fabricación, por lo que se esperaría encontrarlos suspendidos en la columna de agua (Wright *et al.*, 2013). Sin embargo, con el paso del tiempo, la degradación física y microbiana puede aumentar la densidad de las partículas, las cuales tienden a precipitar y depositarse (Muthukumar *et al.*, 2011; Chubarenko *et al.*, 2018). Estas condiciones pueden ser aplicadas a los macroplásticos, quienes están expuestos a procesos similares de degradación.

Se encontraron dos macroplásticos con características similares al polimetilmetacrilato (PPMA). Este polímero muestra una alta resistencia a la intemperie y a los rayos UV, por lo que se destaca como uno de los plásticos de ingeniería. El PPMA cuenta con un bajo peso debido a su baja densidad ( $1.18 \text{ g cm}^{-3}$ ), además cuenta con una alta resistencia al impacto por lo que es resistente a la degradación mecánica. En el medio marino estos macroplásticos se hunden con facilidad ya que son más densos que el agua de mar ( $1.027 \text{ g cm}^{-3}$ ), debido a la dificultad para la degradación mecánica de estos materiales, es posible que hayan entrado al medio en forma de fragmentos de un tamaño similar al que fueron encontrados. Además, el hecho de que uno de los fragmentos que posiblemente esté hecho de PPMA presente una alta cantidad de bioincrustación permite asegurarse que ha pasado un largo periodo en el fondo marino. Es importante señalar que este material no se encuentra dentro de los tipos de plásticos que comúnmente se encuentran en el medio marino (Andrady, 2011; Avio *et al.*, 2017), no obstante su presencia puede estar relacionada con la utilización de este tipo de plástico como material de construcción en zonas cercanas a los arrecifes (Figura 34).

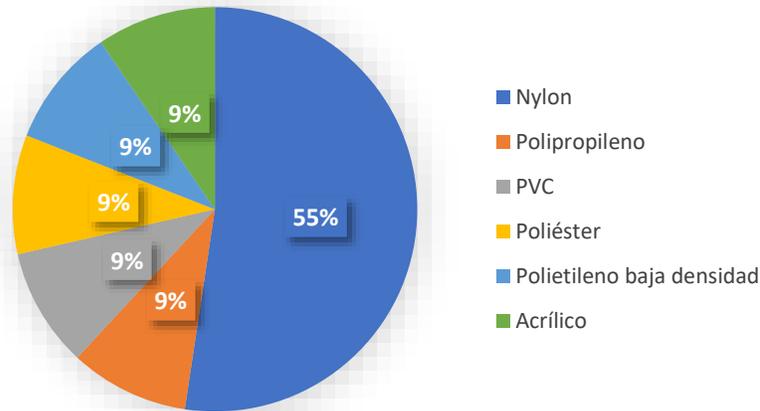


Figura 34. Porcentaje de la composición de macroplásticos encontrados en el fondo marino del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

En 2020, Oliveira-Castro y colaboradores, analizaron los sedimentos del fondo de dos ensenadas en Niterói, Brasil. En este estudio los plásticos más comunes en fragmentos fueron polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliamida (PA6); en films fueron PE, PP y en fibras fueron PE, PP, PA6. Los polímeros reportados en el presente trabajo coinciden en que los films fueron asociados a polietileno de baja densidad (PE-LD) y en fibras fueron asociados a poliéster (PES), en el caso de los fragmentos estos fueron asociados a Polimetilmetacrilato (PPMA), a diferencia del estudio de Oliveira-Castro y colaboradores.

Flores-Vargas en 2022, reportó la presencia de microplásticos en playas y sedimentos del fondo del PNSAV, en dicho estudio se identificaron diversos polímeros: El polímero más abundante fue el poliéster (PES) (47%), seguido del polímero semisintético celofán (9%), el polipropileno (PP) y el poliacrilonitrilo (PAN), los cuales se encontraron en la misma proporción (8% cada uno), seguidos del nylon (5%), el poliestireno (PS) (4%) y el Cloruro de polivinilo (PVC) (1%). Se encontraron coincidencias en algunos polímeros asociados a macroplásticos reportados en el presente trabajo como el PP y el PVC.

Otro factor a tomar en cuenta en la concentración de macroplásticos en fondos marinos es la colonización de organismos en la superficie de los plásticos. Es de esperar que un objeto compuesto por plástico de densidad menor que el agua de mar flote, sin embargo, la bioincrustación es una de las principales causa de hundimiento ya que añaden un peso extra. Así mismo, la bioincrustación se encuentra limitada por la superficie, por lo que artículos más pequeños, con formas alargadas, aplanadas o complejas se hunden con mayor facilidad (Artham *et al.*, 2009, Bravo *et al.*, 2011). Otros autores mencionan que el comportamiento de los macroplásticos en el medio marino es dinámico y que su composición, es decir, su densidad, porosidad y forma influyen en su flotabilidad o hundimiento (Wright *et al.*, 2013; Lusher, 2015; GESAMP, 2016; Galloway *et al.*, 2017; Foley *et al.*, 2018). De acuerdo a lo antes mencionado, es necesario analizar las características de los diferentes tipos de plásticos para comprender su comportamiento en el medio marino.

La mayor parte de los macroplásticos reportados por este estudio presentan bioincrustaciones. Gran parte de las líneas y redes de pesca identificadas en este estudio que se encontraban

enredadas en los corales fueron colonizadas por organismos como esponjas, corales y algas (Rivera-Garibay, 2020); esto podría ser riesgo potencial para especies que se alimentan o refugian en estas zonas, ya que en estas especies pueden sufrir enredos y enmallamientos debido a la pesca fantasma (Moore, 2008; Macfadyen *et al.*, 2009; Figueroa-Pico *et al.*, 2020).

También se observaron fragmentos textiles en zonas con alta sedimentación como Arrecife Hornos y Pájaros, en dichos macroplásticos se formó una película oscura típica de ambientes anaerobios, respecto a esto, se ha comprobado un aumento en la abundancia bacteriana y algal en sitios en donde se reporta la presencia de plásticos, lo cual tiene un amplio rango de efectos negativos en el ecosistema (Beaumont *et al.*, 2019). Además, se encontró un fragmento de film con bioincrustaciones, lo cual pudo contribuir a su hundimiento, atrapándolo en el sedimento, el cual se continuó acumulado sobre este macroplástico (Bozhko, 2019; Lebreton *et al.*, 2019) (Figura 35).

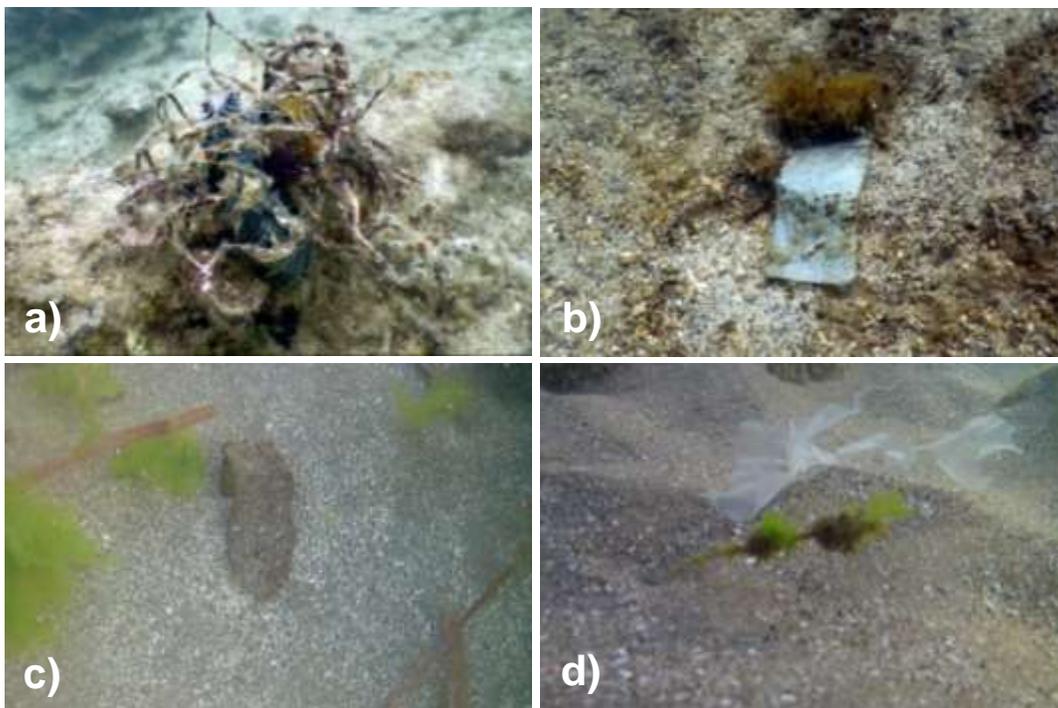


Figura 35. Macroplásticos con bioincrustaciones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV). a) Red de pesca, b) Cinta Industrial c) Fragmento de film y d) Línea de pesca.

Al contrastar las 7 mil 813 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos que se generan en Veracruz, de los cuales el 13.6% corresponde a residuos plásticos (SEMARNAT, 2020); con los 525 residuos plásticos encontrados en total en playas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Antón Lizardo por López-Hernández (2018); a su vez al compararlos con los 21 macroplásticos reportados en este trabajo de investigación, podemos afirmar que la concentración de macroplásticos en el fondo marino del PNSAV es mucho menor que en otros compartimentos marinos de acuerdo a los volúmenes de residuos que se generan.

Existen diversas contradicciones en cuanto al porcentaje de residuos plásticos en cada compartimento marino, Bozhko (2019) estima que el 15% de los residuos plásticos permanece en la superficie, otro 15% en la columna de agua y el 70% se deposita en el fondo marino. Sin embargo, Oliveira-Castro y colaboradores (2020) reportan concentraciones de plásticos en sedimentos de playa Mucho más altos que en aguas superficiales y sedimentos de fondo. Además de este estudio, existen otros que reportan un patrón similar (Galloway y Lewis, 2016; Frère *et al.*, 2017; Digka *et al.*, 2017; Sagawa *et al.*, 2018)

### 10.5 Distribución de macroplásticos en relación a las principales actividades económicas en zona costera y arrecifal

En el presente estudio se reporta un mayor número de macroplásticos en el subsistema Veracruz con 18 objetos, a diferencia de los 3 objetos plásticos encontrados en el subsistema Antón Lizardo (Figura 36). La mayor cantidad de residuos plásticos observados en el subsistema Veracruz puede estar relacionada con: una mayor influencia de las aguas provenientes del Río Jamapa, el menor hidrodinamismo en el norte del PNSAV ya que presenta velocidades de corriente más bajas que en los arrecifes del sur (Coe y Rogers, 1997; Riveron-Enzastiga *et al.*, 2016; CONANP, 2017) y el mayor número de potenciales fuentes de contaminación ubicadas tanto en zona de playa como en los arrecifes; todo esto que justifica las mayores concentraciones de macroplásticos encontradas en el subsistema Veracruz.

En el subsistema Veracruz las estructuras arrecifales se encuentran más cerca de la costa lo cual podría contribuir a hacerlos más propensos a perturbaciones humanas, como la emisión de contaminantes plásticos (Tunnell, 1992; Jones *et al.*, 2008; Ortiz-Lozano *et al.*, 2009). En 2008, Jiménez-Badillo y colaboradores señalaron que los arrecifes ubicados en el subsistema Antón Lizardo concentraban la mayor actividad pesquera, en el cual se extraía el 86 % de las capturas, mientras que en los arrecifes del subsistema Antón Lizardo, se extraía sólo el 13 % de la captura total. Estos datos difieren con lo reportado por la CONANP para 2010, en donde se señala que la mayor parte de las actividades pesqueras en el PNSAV se llevan a cabo en las estructuras arrecifales o en áreas cercanas del subsistema Veracruz.

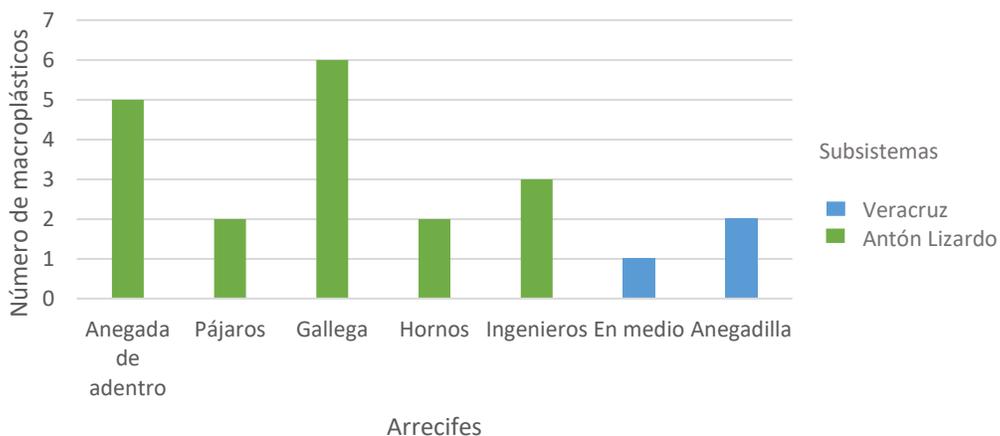


Figura 36. Distribución de macroplásticos en fondo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Flores-Vargas en 2022, realizó muestreos a 3 arrecifes del PNSAV, siendo el arrecife Verde el que presentó un mayor número de microplásticos con 5 microplásticos/100 g de sedimento, seguido del arrecife Sacrificios e Ingenieros con 3 microplásticos/100 g de sedimento. En el presente estudio se muestreo el arrecife Anegada de adentro, siendo el segundo arrecife con mayor número de macroplásticos reportados. Este arrecife se encuentra en la zona más alejada dentro del PNSAV a 2 km aproximadamente del arrecife Verde muestreado por Flores-Vargas, por lo tanto es posible afirmar que existe un aumento en la presencia de contaminantes plásticos en esta zona en comparación con arrecifes dentro de la zona media del PNSAV como el arrecife Pájaros y sacrificios, o en la zona cercana a la costa, como el arrecife Ingenieros.

Si bien algunos autores afirman que la mayoría de los macroplásticos presentes en el ambiente marino se derivan de fuentes de contaminación terrestre (Coe y Rogers, 1997). En este estudio los residuos plásticos encontrados en el fondo del PNSAV se relacionan en su mayoría con fuentes de contaminación acuática, en especial con la pesca ya que el 57% (12 piezas) de los macroplásticos hallados correspondan a redes, monofilamentos, palangre y grampín (Figura 37). Lo antes mencionado posiblemente se deba a que los arrecifes Gallega, Anegada de adentro, Anegadilla y Enmedio, en los cuales se encontraron las artes de pesca fantasma, de acuerdo al Programa de Manejo del PNSAV, forman parte de la subzona de Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales Pesca, la cual comprende un polígono con una superficie de 61,224.436317 hectáreas (DOF, 2017).

Dentro del grupo de arrecifes en los que se encontraron artes de pesca, destaca el arrecife Gallega, el cual se encuentra al norte del PNSAV, cercano a la zona portuaria. La pesca es la principal actividad económica que se lleva a cabo (Reyna-González, 2014). En este arrecife se encontró la mayor cantidad de líneas de pesca (5 piezas). Debido a que estos macroplásticos difícilmente viajan con las corrientes marinas al enredarse en las estructuras rocosas o arrecifales, es posible que se emitan desde puntos muy cercanos a donde fueron encontrados.

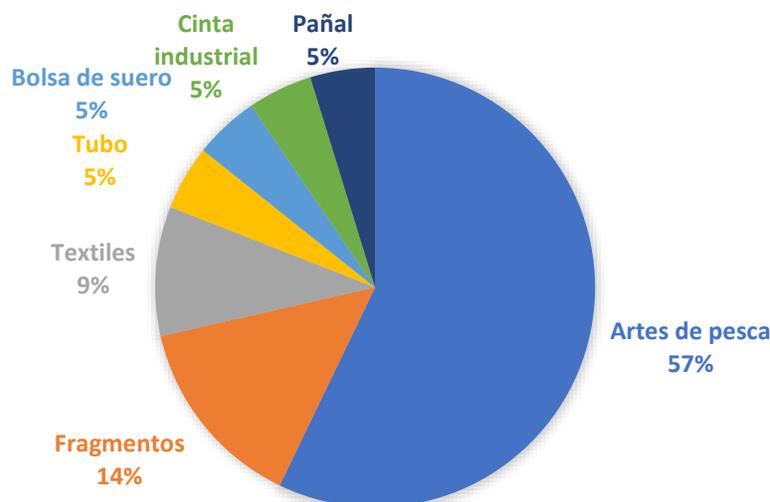


Figura 37. Tipos de macroplásticos reportados en todos los sitios de muestreo en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV)

Los fragmentos son definidos como piezas plásticas visibles al ojo humano que debido a su nivel de degradación no es posible determinar su forma o función (Rivera-Garibay, 2020). Este tipo de macroplástico fue el segundo más común en el presente estudio (14%); a pesar de que en otros estudios se han reportado grandes cantidades de fragmentos plásticos en zonas arrecifales (59%) (Rivera-Garibay, 2020).

En cuanto a la presencia de fragmentos textiles sintéticos (9%), en el arrecife Hornos posiblemente provengan de turistas que visitan las playas del municipio de Veracruz, ya que este arrecife forma parte del Polígono 2 de la Subzona de Uso Público-Actividades de Playa-Actividades Recreativas Costeras (DOF, 2017). Por otra parte, en el arrecife Pájaros se ubica un bajo arenoso conocido como Cancuncito, que presenta una gran afluencia de turistas, la cual se encuentra dentro del Polígono 1 de la Subzona de Uso Público – Destinos de Recorridos en Embarcaciones Motorizadas (Reyna-González, 2014; DOF, 2017).

Tanto la bolsa de suero (5%) como el tubo de PVC (5%) se relacionaron con actividades de investigación de instituciones universitarias en la zona costera (Reyna-González, 2014). Estos macroplásticos se encontraron en el arrecife Anegada de adentro, sitio que forma parte del polígono 1 de la Subzona de Uso Público–Buceo Autónomo (DOF, 2017).

El fragmento de cinta industrial (5%) posiblemente esté asociado a las actividades de transporte marítimo o de turismo que realizan recorridos en el arrecife Pájaros o en zonas aledañas (Reyna-González, 2014). El fragmento de pañal encontrado en el arrecife Hornos, al presentar un avanzado estado de fragmentación, es posible que sea más complicado relacionarlo a alguna zona en particular, sin embargo en toda la zona de playas es común ver este tipo de residuos plásticos.

Ryan (2020) señala que es muy probable que la composición de los residuos plásticos en el mar sea muy similar a los residuos generados cerca de zonas urbanas costeras. Al respecto de esto, la pesca y el turismo son actividades económicas predominantes tanto en zona de playas como en arrecifes, debido a esto la mayoría de los macroplásticos reportados se relacionaron a estas actividades. En cambio, se observaron residuos correspondientes a actividades de investigación lo cual no se observa directamente en la zona de playas, sin embargo al tratarse de una zona arrecifal de gran importancia en el Golfo de México es muy común que se lleven a cabo diversas investigaciones. Por otra parte, las actividades económicas relacionadas al servicio de alimentos son muy comunes en la zona de playas, sin embargo, la mayor parte de los macroplásticos generados por estas actividades son artículos desechables, como contenedores de unicel, bolsas de plástico o envolturas (López-Hernández, 2018); por lo que difícilmente se hundan.

El PNSAV al estar ubicado en un área costera cercanas a uno de los principales asentamientos urbanos del estado de Veracruz, es potencialmente más propenso a los impactos de los macroplásticos debido a la proximidad con las actividades antropogénicas que se realizan en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río, lo cual puede generar diversas fuentes de contaminación terrestres y marinas (Heery *et al.*, 2018).

El porcentaje de los macroplásticos reportados en este estudio, difiere en gran medida de los hallazgos de Oliveira-Castro y colaboradores (2020), quienes analizaron los sedimentos del fondo

de dos ensenadas en Niterói, Brasil. En dicho estudio las fibras fueron los tipos de macroplásticos más comunes (82%), seguidos de los fragmentos (10%) y las películas plásticas (8%).

### 10.6 Distribución de macroplásticos en relación a la influencia de la hidrodinámica anual del PNSAV

Se realizó la simulación de la ruta de distribución de 8 macroplásticos encontrados en el fondo del PNSAV (Cuadro 11).

Cuadro 11. Velocidad de precipitación de macroplásticos con influencia hidrodinámica

ID	Arrecife	Objeto	Abreviatura	Nombre comercial	Densidad g cm <sup>3-1</sup>	Profundidad m
1a	En medio	Línea de pesca	PA 6	Nylon	1.13 – 1.15	18
8a	Pájaros	Fragmento playera	PES	Poliéster	1.38 – 1.39	11
9a	Gallega	Fragmento tabla	PPMA	Acrílico	1.18	8
10b	Hornos	Fragmento textil	PES	Poliéster	1.38 – 1.39	2
11b	Ingenieros	Fragmento rígido	PPMA	Acrílico	1.18	1
11c	Ingenieros	Línea de pesca	PA 6	Nylon	1.13 – 1.15	1
10a	Hornos	Fragmento pañal	PP	Polipropileno	0.89 - 0.91	2
11a	Ingenieros	Fragmento film	PE-LD	Polietileno de baja densidad	0.91 - 0.93	1

Densidad del agua de mar 1.027g cm<sup>3-1</sup>

La batimetría del PNSAV presenta profundidades someras menores a 70 metros, la generación de giros ciclónicos y anticiclónicos, aunado a la dirección y velocidad de las corrientes, determina recirculación de cualquier cuerpo a la deriva dentro de la zona arrecifal y en zonas cercanas a la costa donde se presentan estos giros o remolinos (Riveron- Enzastiga *et al.*, 2016). Los arrecifes de coral actúan como barreras naturales en donde fácilmente quedan atrapados residuos plásticos debido a sus cambios batimétricos (Salas-de León *et al.*, 2004), lo cual podría estar teniendo efecto en la distribución de los macroplásticos.

El arrecife de Enmedio fue muestreado durante la temporada de estiaje y forma parte del subsistema arrecifal Antón Lizardo del PNSAV. En este arrecife fue encontrada una línea de pesca de nylon (ID: 1a) de 0.18 m a 18 m de profundidad, al calcular el recorrido que posiblemente realizó la este macroplástico se puede observar que el sitio desde el cual fue emitido se encuentra al noroeste del arrecife de Enmedio, cerca de la zona de fondeadero (DOF, 2017).

En la zona de fondeadero transitan embarcaciones que zarpan desde las cooperativas pesqueras en el Río Jamapa, en dirección hacia los arrecifes del sur, por lo cual es posible encontrar este tipo de macroplásticos en la zona. Otro aspecto importante de mencionar es que esta línea de pesca se encontró en una laguna arrecifal de 18 m de profundidad (Figura 38), esta zona existe un nivel bajo de intercambio de agua a profundidades por debajo de la cresta arrecifal (Kjerfve, 1982); por lo que es viable que esta línea de pesca una vez depositada en la laguna arrecifal pueda viajar hacia otras zonas con las corrientes marinas.

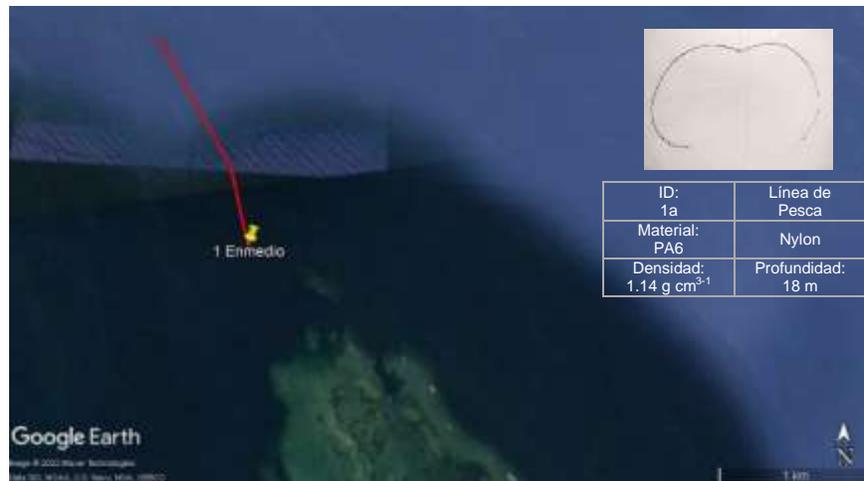


Figura 38. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 1a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

El arrecife Pájaros forma parte del subsistema arrecifal Veracruz fue muestreado en la temporada de lluvias. En este punto de muestreo se encontró un fragmento de lo que parece ser una playera (ID: 8a), este macroplástico se encontró semienterrado en fondo marino desnudo, a 11 m de profundidad. De acuerdo a la simulación del recorrido, es posible que este objeto provenga de la zona noreste del arrecife, ya que en toda esta área es muy común la presencia de turistas que realizan recorridos en embarcaciones motorizadas (DOF, 2017) (Figura 39).

Un macroplástico de este tipo al estar fabricado con un polímero de densidad mayor que el agua de mar se hunde con mayor rapidez, por lo que las corrientes marinas ejercen un reducido efecto sobre él (Chubarenko *et al.*, 2016). Por otra parte, en la zona en donde se encontró el fragmento de playera no se observan grandes estructuras arrecifales de acuerdo a la batimetría de la zona (Salas-Monreal, 2022), lo cual refuerza el recorrido propuesto. Posiblemente este macroplástico al tocar fondo se cubrió con sedimento y esto evitó que continuara viajando sobre el fondo marino (Bozhko, 2019; Lebreton *et al.*, 2019), la cantidad de sedimento encontrada sobre este objeto y la presencia de bioincrustaciones permiten afirmar que el este macroplástico se encontraba atrapado en el sedimento desde hace tiempo.

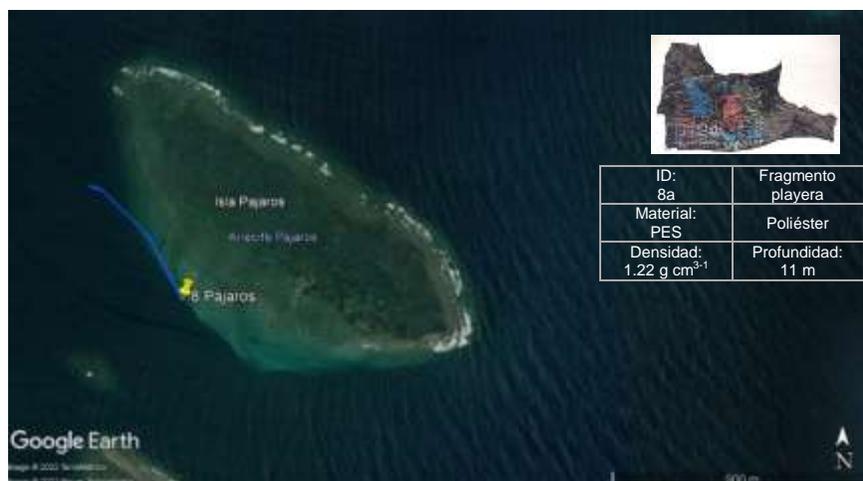


Figura 39. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 8a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Del arrecife Gallega fue posible recuperar un macroplástico rígido, por sus características se denominó como un fragmento de tabla de acrílico (ID: 9a) (Figura 40). De acuerdo a la dirección de las corrientes marinas para el mes de junio (Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016), es posible que este objeto haya sido emitido al sureste de donde se encontró. Sin embargo, es posible que el recorrido se haya visto modificado ya que esta zona presenta una gran cantidad de parches coralinos y que al ser parte del arrecife externo el oleaje, las mareas tengan gran influencia sobre la ruta de distribución de este macroplástico.

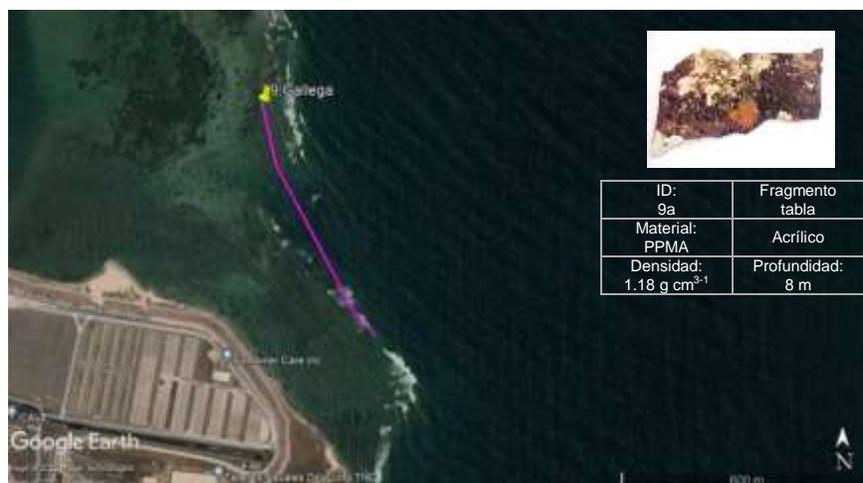


Figura 40. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 9a en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

En el arrecife Hornos, a 2 m de profundidad, se recuperó un fragmento textil que no se logró identificar de qué prenda provenía, este fragmento se encontraba semienterrado en el sedimento y presentaba bioincrustaciones (Figura 41). Este objeto se encontró en la zona entre el arrecife interno y la escollera del Muro de pescadores, la trayectoria estimada para este macroplástico se dirige hacia el sureste del arrecife interno. Es posible que las lluvias transportaran este objeto

hacia el mar y que debido a su densidad difícilmente ascienda con las corrientes marinas y atraviese la cresta arrecifal (Chubarenko *et al.*, 2016). Al mantenerse limitado a una zona la sedimentación pudo haber enterrado este objeto y con el tiempo haber promovido la bioincrustación (Bozhko, 2019; Lebreton *et al.*, 2019).



Figura 41. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 10b en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Se recuperó un fragmento rígido (11b) de características similares al acrílico (Figura 42), a 1 m de profundidad en el arrecife Ingenieros, durante la temporada de lluvias. Este macroplástico se encontró cubierto de algas calcáreas por lo que se estima que ha pasado un largo tiempo que ha pasado en el medio (Artham *et al.*, 2009, Bravo *et al.*, 2011).

La ruta propuesta para este objeto sitúa hacia el este el posible punto de emisión, en el fondo marino anterior al arrecife interno. Esta zona presenta un gran hidrodinamismo producido por el oleaje, el descenso y ascenso del nivel del mar durante los eventos de mareas (Salas-Pérez *et al.*, 2007; Salas-Monreal *et al.*, 2009; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016), aunado a la presencia en la zona de playas de macroplásticos relacionados a la construcción. Estos elementos permiten relacionar el fragmento con características similares al acrílico como un posible desecho generado por las actividades de construcción en la zona, que pudo ser arrastrado por las lluvias y al subir la marea el oleaje lo transportó hacia el mar.



Figura 42. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 11b en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Finalmente, la línea de pesca (ID: 11c) encontrada en el arrecife Ingenieros (Figura 43), este arrecife se encuentra cercano a la desembocadura del río Jamapa, desde donde salen lanchas pesqueras que se dirigen hacia los arrecifes del subsistema Veracruz y pasan frente a este arrecife, por lo que estos factores pueden ser responsables de la presencia de este macroplástico (DOF, 2017). Al trazar la ruta de distribución para este macroplástico durante la temporada de lluvias, esta sitúa el posible punto de emisión hacia el este en el fondo marino anterior al arrecife interno. Sin embargo, al ser un objeto delgado y de tamaño pequeño pudo haber atravesado la cresta arrecifal al tratarse de una zona con gran hidrodinamismo producido por el oleaje, el descenso y ascenso del nivel del mar durante los eventos de mareas (Salas-Pérez *et al.*, 2007; Salas-Monreal *et al.*, 2009; Riverón-Enzástiga *et al.*, 2016).



Figura 43. Simulación de ruta de distribución del macroplástico ID: 11c en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Riveron-Enzastiga y colaboradores (2016) señalan que el tiempo residual dentro del PNSAV es de aproximadamente 5 días, pero debido a la rectificación algunas de las larvas de coral podrían

permanecer dentro del sistema hasta 45 días en los arrecifes del norte y 40 días en los arrecifes del sur. El tiempo de permanencia de las masas de agua en el PNSAV puede influir en la distribución de los macroplásticos. Por otra parte, Riveron-Enzastiga y colaboradores encontraron que las capas de corrientes integradas verticalmente, siempre se mueven de forma paralela a la costa de los arrecifes, independientemente de la velocidad del viento o el patrón de corriente primaria observado en aguas adyacentes. Este patrón sugiere que las corrientes son rectificadas por los arrecifes, moviéndose alrededor de ellos en lugar de moverse en la misma dirección que el viento en un movimiento ciclónico de noviembre a mayo de 2008 y un movimiento anticiclónico de enero a abril 2008. Es posible que un macroplástico emitido en un punto cercano a algún arrecife sea transportado por la corriente de forma paralela al arrecife hasta hundirse y quedara atrapado en alguna estructura arrecifal.

En general, es muy complicado describir el comportamiento de los residuos plásticos, ya que forman parte de una clase heterogénea de materiales sintéticos con alta variabilidad en sus propiedades físicas y químicas así como orígenes particulares, por lo que para representar la forma en que se pueden transportar y acumularse se requiere de agrupaciones según sus características y aun así el comportamiento, acumulación y degradación sería incierta (Flores-Vargas, 2022).

### 10.7 Propuesta de modelo teórico de distribución y concentración de macroplásticos en fondos arrecifales

Como resultado final del análisis de la clasificación, distribución y concentración de macroplásticos en fono de PNSAV, se propone el siguiente modelo teórico (Figura 44): Los tipos de macroplásticos se encuentran relacionados con la distancia desde el punto en donde se emiten hasta la costa, arrecifes cercanos a las costas presentarán con mayor frecuencia macroplásticos relacionados con las actividades económicas realizadas en tierra; arrecifes lejanos a las costas presentarán un mayor número de macroplásticos relacionados a actividades realizadas cerca de los arrecifes.

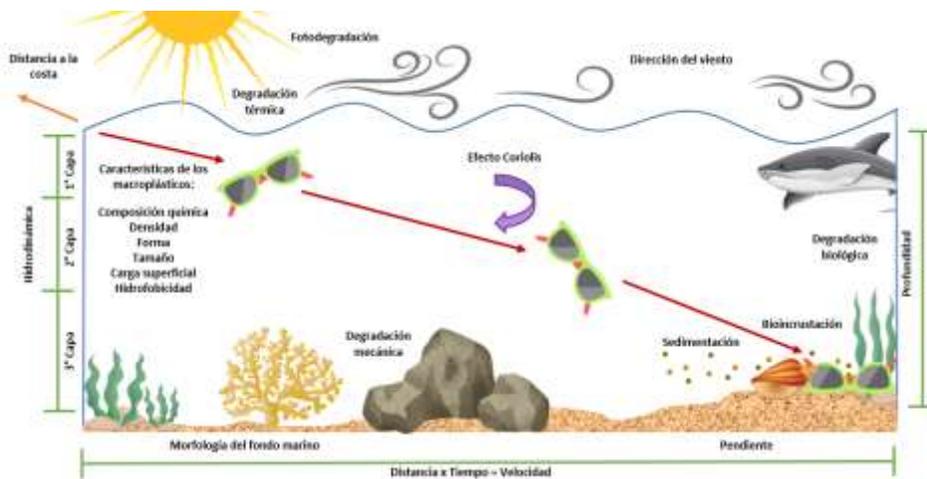


Figura 44. Factores que influyen en la distribución, concentración y clasificación de macroplásticos en fondos arrecifales

La concentración de macroplásticos en el fondo del ecosistema marino se encuentra relacionada con la forma del objeto y su tamaño; ya que formas más alargadas, aplanadas y grandes tienden a hundirse con mayor facilidad que formas globosas, irregulares o pequeñas. Por otra parte, la densidad y composición química de los polímeros con la que fueron elaborados los macroplásticos influye en su potencial de hundimiento. Macroplásticos con densidad menor que el agua de mar permanecen periodos más largos en la superficie y recorren grandes distancias; por el contrario, aquellos con densidad mayor que la del mar tienden a hundirse con facilidad y difícilmente son arrastrados por las corrientes marinas. Aunado a esto la hidrofobicidad, determina la rapidez con la que un material absorbe el agua, lo cual añadirá peso al macroplástico. Finalmente, la facilidad con la que un macroplástico se hunde se encuentra relacionado con la carga superficial, dada por la carga que es capaz de soportar la superficie del agua de mar antes de que se hunda un objeto.

Una vez que los macroplásticos empiezan a hundirse, estos son arrastrados por la corriente superficial, la cual está directamente relacionada con la dirección y velocidad del viento. Posteriormente, al pasar la primera capa de corrientes marinas, los macroplásticos giran 15° en dirección a las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte por el efecto de Coriolis. El número de capas que atravesarán depende de la profundidad de la zona y de la interacción que puedan llegar a tener con la fauna o con el ser humano, ya sea que esta interacción cambie su dirección al ser transportados o empujados hacia otro sitio, o bien que sea removida del medio marino. Además de esto, la pendiente del terreno y su morfología pueden frenar el recorrido de un macroplástico en la corriente marina.

Otros factores como la bioincrustación, la degradación mecánica, térmica, biológica y la fotodegradación influyen de tal manera que logran que plásticos de densidad menor que la del agua de mar se hundan. Una vez en el fondo marino, los macroplásticos podrían ser arrastrados sobre el fondo marino hasta detenerse con alguna estructura arrecifal, rocas o alguna construcción hecha por el hombre. También es posible que los macroplásticos sean colonizados por organismos de tal manera que lleguen a formar parte del paisaje arrecifal o bien, que sean enterrados poco a poco a causa de la sedimentación.

## **11 CONCLUSIONES**

En este estudio se mostró que la clasificación de los macroplásticos en fondo arrecifal se encuentra influenciada mayormente por las actividades antropogénicas que se llevan a cabo en la zona arrecifal. La distribución y concentración de macroplásticos se ve afectadas por la hidrodinámica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), la cual varía dependiendo de la temporada del año. Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

1. El 63% de las fuentes de contaminación presentes en la zona de playas Veracruz-Boca del Río corresponden a desagües pluviales, el 35% a cañerías y el 3% a fuentes puntuales cuyo origen no se pudo identificar.
2. La encuesta sobre macroplásticos en fondo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), es una herramienta útil como punto de partida para identificar zonas en donde es común la presencia de residuos plásticos en esta Área Natural Protegida.

3. La concentración de macroplásticos en el fondo del ecosistema marino se encuentra relacionada con la forma, tamaño y densidad del plástico.

4. El 57% de los macroplásticos encontrados en este estudio corresponden a artes de pesca, los fragmentos plásticos corresponden el segundo grupo más numeroso de residuos encontrados con un 14% y el tercer grupo corresponde a textiles con un 9%.

5. La mayor parte de los macroplásticos se encontró distribuida en los arrecifes del subsistema Veracruz, en los arrecifes Gallega (6 objetos), Anegada de adentro (5 objetos) Ingenieros (3 objetos), Pájaros (1 objeto) y Hornos (1 objetos); por su parte en los arrecifes del subsistema Antón Lizardo solamente se encontraron macroplásticos en el arrecife Anegadilla (2 objetos) y Enmedio (1 objeto).

6. En cuanto a la concentración de macroplásticos en el fondo arrecifal, a mayor densidad de los macroplásticos con respecto al agua de mar, las actividades económicas realizadas cerca de los arrecifes tienen una mayor influencia en comparación con la hidrodinámica. Contrario a lo que sucede con los macroplásticos de densidad menor que el agua de mar, en este caso la hidrodinámica tiene una mayor influencia en comparación con las actividades económicas.

## **12 RECOMENDACIONES**

1. Realizar monitoreos mensuales y análisis más completos de la hidrodinámica en el PNSAV para identificar las zonas de acumulación, las rutas de distribución y las fluctuaciones en la emisión de macroplásticos.

2. Se recomienda realizar pruebas experimentales para evaluar la distribución por tipo de material plástico, esto permitiría una mejor comprensión de la dinámica de los macroplásticos en el medio marino.

3. Realizar estudios de identificación de polímeros por medio de técnicas como Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (IRTF).

4. Implementar políticas de uso y manejo de áreas naturales más estrictas, que limiten el uso de artes de pesca en zonas de poca profundidad en el arrecife.

5. Implementar programas de educación ambiental dirigidos especialmente a pescadores, prestadores de servicios de alimentos y de transporte marítimo, buzos y turistas para concientizarlos sobre efectos negativos de los macroplásticos en el ambiente marino.

6. El conocimiento obtenido mediante esta investigación puede ser utilizado para la adecuación de programas de gestión de residuos sólidos tanto a nivel local, como a nivel nacional.

7. Los datos sobre distribución de macroplásticos en el PNSAV son un insumo más para implementar programas de mitigación dirigidos a zonas prioritarias.

## REFERENCIAS

- Acampora, H., Berrow, S., Newton, S. and O'Connor, I. (2017). Presence of plastic litter in pellets from Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*) in Ireland. *Marine pollution bulletin*, 117 (1-2): 512-514.
- Acampora, H., Schuyler, Q. A., Townsend K. A., and Hardesty, B. D. (2014). Comparing plastic ingestion in juvenile and adult stranded short-tailed shearwaters (*Puffinus tenuirostris*) in eastern Australia. *Marine pollution bulletin*, 78 (1-2): 63-68.
- Administración Portuaria Integral de Veracruz S. A. de C.V. (APIVER). (2009). Programación de buques. <http://www.puertode-veracruz.com.mx>
- Administración Portuaria Integral de Veracruz S. A. de C.V. (APIVER). (2021). Movimiento histórico del Puerto de Veracruz. Recuperado de 24 de febrero de 2022 <https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/blog/movimiento-historico-del-puerto-de-veracruz/>
- Allsopp, M., Pambuccian, S. E., Johnston P. and Santillo D. (2008). State of the World's Oceans. *Springer Science & Business Media*.
- Amélineau, F., Bonnet, D., Heitz, O., Mortreux, V., Harding, A. M. A., Karnovsky, N. *et al.* (2016). Microplastic pollution in the Greenland Sea: Background levels and selective contamination of planktivorous diving seabirds. *Environmental Pollution* 219, 1131-1139. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.017>. Accessed 11 January 2021.
- Andrady, A. L. (2003). *Plastics and the Environment*. John Wiley & Sons.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62 (8): 1596-1605.
- Andrady, A. L. and Neal, M. A. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 364 (1526): 1977-1984.
- Arandes, J., Bilbao, J., y López, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 5(1), 28-45.
- Arreguín-Cortés, F., Gómez-Balandra, A., e Izurieta-Dávila, J. (2000). "Contaminación difusa". *Tlálac* 7(19): 8-10, julio-septiembre.
- Arroyo-Valverde, A. (2020). Análisis y estudio de las islas de basura oceánicas. Trabajo Final de Grado. Facultad de Náutica de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Astudillo, J., Bravo, M., Dumont, C., y Thiel, M. (2009). Detached aquaculture buoys in the SE Pacific: potential dispersal vehicles for associated organisms. *Aquat Biol.* 5:219-231.
- Au, S. Y., Bruce, T. F., Bridges W. C. and Klaine, S. J. (2015). Responses of *Hyaella azteca* to acute and chronic microplastic exposures. *Environmental toxicology and chemistry*, 34 (11): 2564-2572.

- Avery-Gomm, S., Provencher, J., Morgan K. and Bertram. D. (2013). Plastic ingestion in marine-associated bird species from the eastern North Pacific. *Marine pollution bulletin*, 72 (1): 257-259.
- Avery-Gomm, S., Provencher, J. F., Liboiron, M., Poon, F. E. and Smith, P. A. (2018). Plastic pollution in the Labrador Sea: An assessment using the seabird northern fulmar *Fulmarus glacialis* as a biological monitoring species. *Marine pollution bulletin*, 127: 817-822.
- Avio, C. G., Gorbi, S. and Regoli, F. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*. 128: 2-11.
- Bakir, A., Rowland, S. J. and Thompson, R. C. (2014). Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions. *Environmental Pollution*, 185: 16-23.
- Barboza, L. G. A., Cózar, A., Giménez, B. C., Barros, T. L., Kershaw, P. J. y Guilhermino, L. (2019). "Macroplastics pollution in the marine environment", en Charles R. C. Sheppard (ed.), *World seas: an environmental evaluation*, Estados Unidos, *Academic Press*, pp. 305-328.
- Beaumont, N. J., Aanesen, M., Austen, M. C., Börger, T., Clark, J. R., Cole, M. ... y Wyles K. J. (2019). "Global ecological, social, and economic impacts of marine plastic", *Marine Pollution Bulletin*, núm.142, pp. 189-195.
- Beltrán-Barron, N. D. (2018). Identificación de señales atrapadas al talud en el Golfo de México relacionadas con la Corriente de Lazo y sus remolinos a partir de simulaciones numéricas.
- Bergmann, M., Sandhop, N., Schewe, I. y D'Hert D. (2016). Observations of floating anthropogenic litter in the Barents Sea and Fram Strait, *Arctic. Polar Biol.* 39: 553.
- Betts, K. (2008). Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans, *ACS Publications*.
- Bozhko, A. (2019). Remediation of Marine Plastic Waste. Bachelors Degree Thesis Materials Processing Technology. *Arcada*.
- Bravo, M., Astudillo, J.C., Lancellotti, D., *et al.* (2011). Rafting on abiotic substrata: properties of floating items and their influence on community succession. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 439: 1-17. <http://dx.doi.org/10.3354/meps09344>
- Bugoni, L., Krause, L. G. and Petry, M. V. N. (2001). Marine debris and human impacts on sea turtles in southern Brazil. *Marine pollution bulletin*, 42 (12): 1330-1334.
- Campbell, *et al.* (2004). *Diffuse Pollution: An Introduction to the Problems and Solutions*. IWA Publishing. Cornwall, United Kingdom. 322 pp.
- Campoy, P. and Beiras, R. (2019). Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso-y microplásticos. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(11), 581.
- Carpenter, E. J. and Smith. K. (1972). Plastics on the Sargasso Sea surface. *Science*, 175 (4027): 1240-1241.

- Chubarenko, I., Bagaev, A., Zobkov, M. and Esiukova, E. (2016). On some physical and dynamical properties of microplastic particles in marine environments. *Marine Pollution Bulletin* 108(1-2), 105-112. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.048>. Accessed 12 January 2021.
- Chubarenko, I., Esiukova, E., Bagaev, A., Isachenko, I., Demchenko, N., Zobkov, M., Efimova, I., Bagaeva, M. and Khatmullina, L. (2018). Behavior of microplastics in coastal zones. In *Microplastic contamination in aquatic environments*. Elsevier. Pp. 175-223.
- Codina-García, M., Militão, T., Moreno, J. and González-Solís, J. (2013). Plastic debris in Mediterranean seabirds. *Marine pollution bulletin*, 77 (1-2): 220-226.
- Coe, J. M. and Rogers, D. B. (1997). *Marine debris: Sources, impacts, and solutions*. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-8486-1>
- Cole, M. and Galloway, T. S. (2015). Ingestion of nanoplastics and microplastics by Pacific oyster larvae. *Environmental Science & Technology*, 49 (24): 14625-14632.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C. and Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental Science & Technology*, 49 (2): 1130-1137.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., Goodhead, R., Moger, J. and Galloway, T. S. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47 (12): 6646-6655.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62 (12): 2588-2597.
- Collignon, A., Hecq, J.H., Galgani, F., Collard, F. and Goffart, A. (2014). Annual variation in neustonic micro- and meso-plastic particles and zooplankton in the Bay of Calvi (Mediterranean–Corsica). *Marine pollution bulletin*, 79 (1): 293-298.
- Collins, C. and Hermes, J.C. (2019). Modelling the accumulation and transport of floating marine micro-plastics around South Africa. *Mar Pollut Bull.*139:46–58. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.028>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca (CONAPESCA). (2006a). Actualización de la carta nacional pesquera. [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona\\_actualizacion\\_de\\_la\\_carta\\_nacional\\_pesquera](http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/cona_actualizacion_de_la_carta_nacional_pesquera).
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010). Bitácora de registro de actividades realizadas en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2010). Comisión de Áreas Naturales Protegidas. Bitácora de uso del PNSAV 2007-2010.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2011). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la declaratoria del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión de Áreas Naturales Protegidas. Veracruz, México. 87pp.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2017). Programa de Conservación y Manejo Sistema Arrecifal Veracruzano. Documento para consulta diciembre 2017. 208 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2020). Servicio Meteorológico Nacional, Informe Anual 2020. 30 pp.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2021). Biodiversidad mexicana. Ecosistemas de México. Arrecifes Recuperado el 25 de junio de 2021. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>
- Da Silva Mendes, S., de Carvalho, R. H., de Faria, A. F. and de Sousa, B. M. (2015). Marine debris ingestion by *Chelonia mydas* (Testudines: Cheloniidae) on the Brazilian coast. *Marine pollution bulletin*, 92 (1-2): 8-10.
- Daniel, W. (1997). Bioestadística: Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud. *Utthea*. México. 878 p.
- DataMares. (2022). Atlas de buceo y esnórquel. DataHistoria. <https://datamares.org/wp-content/uploads/2022/08/ATLAS-DE-BUCEO.pdf>
- De Stephanis, R., Giménez, J., Carpinelli, E., Gutierrez-Exposito, C. and Cañadas, A. (2013). As main meal for sperm whales: Plastics debris. *Marine pollution bulletin*, 69 (1-2): 206-214.
- Derraik, J. G. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine pollution bulletin*, 44 (9): 842-852.
- Desforges, J P., Galbraith, M. and Ross, P.S. (2015). Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 69, 320-330. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0172-5>. Accessed 11 January 2021.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2012). Decreto que modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave, con una superficie de 52,238-91-50 hectáreas, publicado los días 24 y 25 de agosto de 1992. Tercera Sección. 29 de noviembre de 2012.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2000). Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf>. Acceso: 20 de Septiembre (2013).

- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2017). Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Área Natural Protegida con categoría de Parque Nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2020). Ley de prevención y gestión integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para el estado de Veracruz.consultada el 13 de octubre de 2022.
- Donohue, K., Watts, D., Hamilton, P., Leben, R. y Kennelly, M. (2016). Loop Current eddy formation and baroclinic instability. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 76: 195–216.
- Elvira, J. (2004). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana: NOM-083-SEMARNAT-2003.
- Eschenhagen, M. L. (2007). Diversas consideraciones y aproximaciones a la noción de complejidad ambiental. *Gestión y ambiente*, 10(1), 83-94.
- Escobar, J. (2002). La Contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *División de Recursos Naturales e Infraestructura*
- Espinosa, C., Beltrán, J. M. G., Esteban M. A. and Cuesta, A. (2018). In vitro effects of virgin microplastics on fish head-kidney leucocyte activities. *Environmental Pollution*, 235: 30-38.
- Espinosa, C., Cuesta, A. and Esteban, M. Á. (2017). Effects of dietary polyvinylchloride microparticles on general health, immune status and expression of several genes related to stress in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Fish & shellfish immunology*, 68: 251-259.
- Figueroa-Pico, J., Mero-Del Valle, D., Castillo-Ruperti, R., & Macías-Mayorga, D. (2016). Desechos marinos: Implicaciones para la conservación de arrecifes rocosos en Manabí, Ecuador (Costa del Pacífico Sur). *Boletín de contaminación marina*, 109 (1), 7-13.
- Figueroa-Pico, J., Tortosa, F. S. and Carpio, A. J. (2020). Coral fracture by derelict fishing gear affects the sustainability of the marginal reefs of Ecuador. *Coral Reefs*, 39(3), 819-827.
- Flores-Vargas, M. (2022). Ocurrencia y distribución de microplásticos en el Sistema Arrecifal Veracruzano, suroeste del golfo de México. Tesis de maestría. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana.
- Foley, C.J., Feiner, Z.S., Malinich, T.D., Höök, T.O., 2018. A meta-analysis of the effects of exposure to microplastics on fish and aquatic invertebrates. *Sci. Total Environ.* 631–632, 550–559. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.046>.
- Fossatti, M., Teixeira de Mello, F. and Lozoya, J.P. (2020). Mesoplastics and large microplastics along a use gradient on the Uruguay Atlantic coast: Types, sources, fates, and chemical loads. *Science of The Total Environment* 721, 137734. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137734>. Accessed 13 January 2021.
- Freinkel, S. (2011). Plastic. A toxic love story. Boston, E. U.: *Houghton Mifflin Harcourt*. 324 p.

- Fuentes, J. C. N., Granados, P. A. y Martins, F. C. (2017). Coastal management in Mexico: Improvements after the marine and coastal policy publication. *Ocean & Coastal Management*, 137, 131-143.
- Gallo, F., Fossi, C., Weber, R., Santillo, D., Sousa, J., Ingram, I., Nadal, A. and Romano, D. (2018). Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. *Environmental Sciences Europe*. 30:1-14.
- Galloway, T. S., Cole, M. and Lewis, C. (2017). Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. *Nat. Ecol. Evol.* (5), 116
- García, J. M. (2020). Ciencias de la complejidad: Teoría General de Sistemas, Pensamiento Sistémico y sus aplicaciones prácticas en procesos de emergencia en las ciencias económicas, ambientales y sociales. Juan Martín García.
- García-Marín, L. M. (2019). Plásticos en los océanos. *Nota-INCyTU*. No. 034. Noviembre 2019.
- GESAMP, 2016. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. In: Kershaw, P.J., Rochmann, C.M. (Eds.), (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 93, (220 p).
- GESAMP, G. (2019). Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean. *GESAMP Reports Stud.*, 99(130).
- Goldstein, M.C., Titmus, A. and Ford, M. (2013). Scales of spatial heterogeneity of plastic marine debris in the Northeast Pacific Ocean. *PLoS ONE* 8(11), e80020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080020>. Accessed 12 January 2021.
- Gray, A. D. and J. E. Weinstein. (2017). Size-and shape-dependent effects of microplastic particles on adult daggerblade grass shrimp (*Palaemonetes pugio*). *Environmental toxicology and chemistry*, 36 (11): 3074-3080.
- Gregory MR& Andrady AL. (2003). Plásticos en el medio marino. *Plásticos y medio ambiente* (ed. & Andrady AL), págs. 379–402. Nueva York, NY: Wiley
- Green, D. S. (2016). Effects of microplastics on European flat oysters, *Ostrea edulis* and their associated benthic communities. *Environmental Pollution*, 216: 95-103.
- Green, D. S., Boots, B., Blockley, D. J., Rocha C. and Thompson, R. (2015). Impacts of discarded plastic bags on marine assemblages and ecosystem functioning. *Environmental Science & Technology*, 49 (9): 5380-5389.
- Green, D. S., Boots, B., Sigwart, J., Jiang, S. and Rocha, C. (2016). Effects of conventional and biodegradable microplastics on a marine ecosystem engineer (*Arenicola marina*) and sediment nutrient cycling. *Environmental Pollution*, 208: 426-434.
- Gregory, M. R. (2009). Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions.

- Philosophical Transactions of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 364 (1526): 2013-2025.
- Grinder, J. and Bandler, R. (1988). Using Your Brain for a Change.
- González, M. and Monreal, R. (2019). Senado de la República. ([http://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10/1/assets/documentos/Inic\\_MORENA\\_residuos.pdf](http://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10/1/assets/documentos/Inic_MORENA_residuos.pdf) )
- Gutiérrez, S. D. (2007). El objeto de estudio en la investigación. Diversas aproximaciones. *Revista de educación y desarrollo*, 7, 41-50.
- Hallanger, I. G. and Gabrielsen, G. W. (2018). Plastics in the European Arctic. Brief Report No. 045, *Norwegian Polar Institute*. [http://www.synturf.org/images/NPI\\_Report\\_-\\_Kortrapport45.pdf](http://www.synturf.org/images/NPI_Report_-_Kortrapport45.pdf). Accessed 12 January 2021.
- Heery, E. C., Hoeksema, B. W., Browne, N. K., Reimer, J. D., Ang, P. O., *et al.* (2018) Arrecifes de coral urbanos: degradación y resiliencia de conjuntos de corales duros en ciudades costeras del este y sureste de Asia. *Contaminación*. Toro. 135, págs. 654 - 681, 10.1016/j.marpolbul.2018.07.041
- Herrera-Silveira, J. A., Morales-Ojeda, S. M. y Cortes-Balan, T. O. (2011). Eutrofización en los ecosistemas costeros Del Golfo de México: V.1. SEMARNAT-NOAA-GEF-UNIDO. 88 p.
- Holdren, C., Jones, W. and J. Taggart. (2001). Managing Lakes and Reservoirs. North American Lake Management Society and Terrene Institute, in cooperation with the Office of Water Assessment and Watershed Protection Division U.S. *Environmental Protection Agency (EPA)*. Madison, Winsconsin, 382 pp.
- Hoss, D. E. and Settle, L. R. (1990). Ingestion of plastics by teleost fishes. *En: Proceedings of the Second International Conference on Marine Debris. NOAA Technical Memorandum. NOAA-TM-NMFS-SWFSC-154*. Miami, FL, 693-709.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2020). Información por entidad. Veracruz de Ignacio De la Llave. Territorio. [https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/div\\_municipal.aspx?tema=me&e=30](https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=30)
- International Agency for Reserch on Cancer (IARC). (2018). Vinyl chloride. Monographs. Consultado el 1 de noviembre de 2018.
- Imhof, H. K., Sigl, R., Brauer, E., Feyl, S., Giesemann, P., Klink, S. *et al.* (2017). Spatial and temporal variation of macro-, meso- and microplastic abundance on a remote coral island of the Maldives, Indian Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 116, 340-347. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.010>. Accessed 12 January 2021.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (INVEMAR-MADS). (2017). Resolución No. 646 de 2017. Formulación de lineamientos, medidas de conservación, manejo y uso de ecosistemas marinos y costeros, con la

intención de apoyar acciones de fortalecimiento en la gestión ambiental de las zonas costeras de Colombia. 278 p + Anexos

- Ioakeimidis, C., Galgani, F. y Papatheodorou, G. (2017). Occurrence of marine litter in the marine environment: A world panorama of floating and seafloor plastics. In: Takada H, Karapanagioti HK, editors. Hazardous chemicals associated with plastics in the environment. *Handbook Environ Chem.*; 78:93–120. [https://doi.org/10.1007/698\\_2017\\_22](https://doi.org/10.1007/698_2017_22)
- Isobe, A., Kubo, K., Tamura, Y., Kako, S. I., Nakashima, E. and Fujii, N. (2014). Selective transport of microplastics and mesoplastics by drifting in coastal waters. *Marine pollution bulletin*, 89 (1): 324-330.
- Isobe, A., Uchiyama-Matsumoto, K., Uchida, K. and Tokai, T. (2017). Microplastics in the Southern Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 114(1), 623-626. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.037>. Accessed 12 January 2021
- Jabeen, K., Su, L., Li, J., Yang, D., Tong, C., Mu, J. and Shi, H. (2017). Microplastics and mesoplastics in fish from coastal and fresh waters of China. *Environmental Pollution*, 221: 141-149.
- Jiménez-Badillo, L., Arenas-Fuentes, V. y Pérez-España, H. (2008). The Conservation–Exploitation Paradox in a Mexican Coral Reef Protected Area. *American Fisheries Society Symposium* 49: 587-595.
- Jones, J., Withers, K. y Tunnell, J. W .Jr. (2008). Comparison of benthic communities on six coral reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 Julio 2008. N.p.
- Kanhai, L.D.K., Officer, R., Lyashevskaya, O., Thompson, R.C. and O'Connor, I. (2017). Microplastic abundance, distribution and composition along a latitudinal gradient in the Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin* 115(1-2), 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.025>. Accessed 12 January 2021.
- Kanhai, L.D.K., Johansson, C., Frias, J.P.G.L., Gårdfeldt, K., Thompson, R.C. and O'Connor, I. (2019). Deep sea sediments of the Arctic Central Basin: A potential sink for microplastics. *Deep-Sea Research I: Oceanography Research Papers* 145, 137-142. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.03.003>. Accessed 12 January 2021.
- Kershaw, P., Katsuhiko, S., Lee, S., Samseth, J. and Woodring, D. (2011). Plastic Debris in the Ocean. *UNEP Year Book*,.
- Keswani, A., Oliver, D., Guitierrez, T. y Quilliam, R. (2016). Microbial hitchhikers on marine plastic debris: Human exposure risks at bathing waters and beach environments. *Marine Environmental Research*, 118:10-19.
- Kjerfve, B. (1982). Water exchange across the reef crest at Carrie Bow Cay, Belize. pp. 59-63. En: Rotzler, K. Y McIntyre, I. G. (Comps.). *The Atlantic barrier reef ecosystem at Carrie Bow Cay, Belize. 1. Structure and communities. Smithsonian Contributions to Marine Science*, 12

- Klemchuk, P.P. (1990). Plásticos degradables: una revisión crítica. *polim. Degradar*. 27, 183–202. (doi:10.1016/0141-3910(90)90108-J ).
- Kühn, S., Bravo Rebolledo, E.L. y Franeker, J.A.V. (2015). Efectos nocivos de la basura sobre la vida marina. *Basura antropogénica marina*, 75-116.
- Landeros-Sánchez, C., Lango-Reynoso, F., Galaviz-Villa, I. and Palomarez-García, J. M. (2012). Evaluación de la contaminación del agua en diferentes sistemas acuáticos: acuíferos, granjas acuáticas en el río Jamapa y zonas costeras. *Journal of Agricultural Science*, 4 (7).
- Lebreton, L. C. M., Greer, S. D. and Borrero, J. C. (2012). Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Mar Pollut Bull*; 64:653–661. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.027>
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R. *et al.* (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports* 8, 4666 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>. Accessed 13 January 2021.
- Lebreton, L., Egger, M. and Slat, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Sci Rep*; 9, Art. #12922, 10 pages. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>
- Leff, E. (2007). La complejidad ambiental. Polis. *Revista Latinoamericana*, (16).
- Liaño-Carrera, F., Camarena-Luhrs, T., Gómez-Barrero, A., Martos-Fernández, FJ, Ramírez-Macias, JI, & Salas-Monreal, D. (2019). Nuevas estructuras de arrecifes de coral en un sistema de arrecifes de coral tropical. *Revista latinoamericana de investigaciones acuáticas*, 47 (2), 270-281.
- López, C. (2007). Reseña de E. Durkheim, *Lecciones de Sociología*, 74.
- López-Hernández, A. A. (2018). Análisis de la presencia de residuos sólidos plásticos en las playas turísticas de Veracruz
- Laist, D. W. (1987). Overview of the biological effects of lost and discarded plastic debris in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 18 (6): 319-326.
- Li, T. J. and Yorke, J. (1975) Period three implies chaos. *J Am Math Monthly*; 82:985.
- LI, W. C., Tse, H. and Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of the Total Environment*, 566: 333-349.
- Lippiatt, S., Opfer, S. and Arthur, C. (2013). Marine debris monitoring and assessment: recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46. Feigenbaum M. Quantitative universality for a class of nonlinear transformations. *J Stat Phys* 1978; 19:25
- Lusher, A.L., Burke, A., O'Connor, I. and Officer, R. (2014). Microplastic pollution in the Northeast Atlantic Ocean: Validated and opportunistic sampling. *Marine Pollution Bulletin* 88(1-2), 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.023>. Accessed 13 January 2021.

- Lusher, A. L. (2015). Microplastics in the marine environment: Distribution, interactions and effects. In: Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (Eds.), *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham, pp. 245–307.
- NOM-001-SEMARNAT-96 Límites máximos permisibles de Contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, de fecha 06 de enero de 1997. Y aclaración en D.O.F de fecha 30 de abril de 1997.
- Macfadyen, G., Huntington, T. and Cappell, R. (2009). Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Mateos-Jasso, A., Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R. and Allende-Arandia, M.E. (2012). Variability of the thermohaline structure in the northern Veracruz Coral Reef System, Mexico. *Continental Shelf Research*, 50(51). doi.org/10.1016/j.csr.2012.10.001.
- Mato, Y., Isobe, T., Takada, H., Kanehiro, H., Ohtake, C. and Kaminuma, T. (2001). Plastic resin pellets as a transport medium for toxic chemicals in the marine environment. *Environmental Science & Technology*, 35 (2): 318-324.
- May, R. (1976). Simple Mathematical Models with very complicated dynamics. *Nature*; 261:459.
- Montgomery, D. (1984). Design and analysis of experiments. Williams. Nueva York. 538 p.
- Moore, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108 (2): 131-139.
- Moore, C. J., Moore, S. L., Leecaster, M. K. and Weisberg, S. B. (2001). A comparison of plastic and plankton in the North Pacific central gyre. *Marine pollution bulletin*, 42 (12): 1297-1300.
- Mouat, J., Lozano, R.L. and Bateson, H. (2010). Economic Impacts of Marine Litter. KIMO.
- Mu, J., Zhang, S., Qu, L., Jin, F., Fang, C., Ma, A. *et al.* (2019). Microplastics abundance and characteristics in surface waters from the Northwest Pacific, the Bering Sea, and the Chukchi Sea. *Marine Pollution Bulletin* 143, 58-65, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.023>. Accessed 13 January 2021.
- Muthukumar, T., Aravinthan, A., Lakshmi, K., Venkatesan, R., Vedaprakash, L., and Doble, M. (2011). Fouling and stability of polymers and composites in marine environment. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 65-2, 276-284.
- Nelms, S. E., Duncan, E. M., Broderick, A. C., Galloway, T. S., Godfrey, M. H., Hamann, M., Lindeque, P. K. and Godley, B. J. (2015). Plastic and marine turtles: a review and call for research. *ICES Journal of Marine Science*, 73 (2): 165-181.
- Nicholson, J.W. (2006). *The Chemistry of Polymers*, 3rd ed. RSC Paperbacks. ISBN 978-0-85404-684-3.
- Nicolau, L., Marçalo, A., Ferreira, M., Sá, S., Vingada, J. and Eira, C. (2016). Ingestion of marine litter by loggerhead sea turtles, *Caretta Vigoda*, in Portuguese continental waters. *Marine pollution bulletin*, 103 (1-2): 179-185.

- Ocean Health Index y Plos One. (2018). Océanos de plástico. Recuperado el 25 de julio de 2022. <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/oceanos-de-plastico/>
- Obbard, R.W. (2018). 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>. Accessed 13 January 2021.
- Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K. O., Wollenberger, L., Santos, E. M., Paull, G. C. and Van Look, K. J. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526): 2047-2062.
- Oliveira-Castro, O., Lopes-da Silva, M., Marques, M. R. y Vieira-de Araújo, F. (2020). Evaluación espacio-temporal de macro, meso y microplásticos en aguas superficiales, sedimentos de fondo y playa de dos ensenadas en Niterói, RJ, Brasil. *Boletín de contaminación marina*, 160, 111537.
- Onink, V., Wichmann, D., Delandmeter, P. and van Sebille, E. (2019). The role of Ekman currents, geostrophy, and Stokes drift in the accumulation of floating microplastic. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 124, 1474- 1490. <https://doi.org/10.1029/2018JC014547>. Accessed 13 January 2021.
- Ortiz-Lozano L. (2012). Identification of priority conservation actions in marine protected areas: Using a causal networks approach. *Ocean & Coastal Management* 55: 74-83.
- Ortiz-Lozano, L., Colmenares-Campos, C. and Gutiérrez-Velázquez A. (2018). Submerged Coral Reefs in the Veracruz Reef System, Mexico, and its implications for marine protected area management. *Ocean & coastal management*. 158: 11-23.
- Ortiz-Lozano, L. D., Granados-Barba, A. y Espejel, I. (2009). Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: applications for the Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, Mexico. *Ocean. Coast. Manage.* 52: 317-323.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Espejel, I., Salas-Pérez, J., and González-Gándara, C. (2015). La zona costera de Veracruz a Antón Lizardo: un análisis sobre la vulnerabilidad de sus servicios ambientales. *E-Bios*, 2(8), 151-178.
- Pabortsava, K. and Lampitt. R.S. (2020). High concentrations of plastic hidden beneath the surface of the Atlantic Ocean. *Nature Communications* 11, 4073. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17932-9>. Accessed 13 January 2021.
- Pedà, C., Caccamo, L., Fossi, M. C., Gai, F., Andaloro, F., Genovese, L., Perdichizzi, A., Romeo, T. and Maricchiolo, G. (2016). Intestinal alterations in European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) *Exposed to microplastics: preliminary results*. *Environmental Pollution*, 212: 251-256.

- Pérez-Brunius, P., García-Carrillo, P., Dubranna, J., Sheinbaum, J. and Candela, J. (2012). Direct observations of the upper layer circulation in the southern Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research II* 85: 82-94.
- Pérez-España H., Santander-Monsalvo, J., Bello-Pineda, J., Gómez-Villada, R.S., Ake-Castillo, J.A., Lozano-Aburto, M.A., Román-Vives, M.A. and Marín-Hernández, M. (2012). Caracterización ecológica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Sánchez A.J., X. Chiappa-Carrara & R. Brito-Pérez (eds). Recursos acuáticos costeros del sureste. Vol. II. *Re-corecos*, Sisal, Yucatán. 581-601 pp.
- Pfaff M. C., Logston, R. C., Raemaekers, S. J. P. N., Hermes, J. C., Blamey, L. K., Cawthra, H. C., *et al.* (2019). A synthesis of three decades of socio-ecological change in False Bay, South Africa: Setting the scene for multidisciplinary research and management. *Elementa Sci Anthropol.*;7, Art.#32, 49 pages. <https://doi.org/10.1525/elementa.367>
- Pham, C.K., Ramirez-Llodra, E., Alt, C.H.S., Amaro, T., Bergmann, M., Canals, M., Company, J.B., Davies, J., Duineveld, G., Galgani, F., Howell, K.L., Huvenne, V.A.I., Isidro, E., Jones, D.O.B., Lastras, G., Morato, T., Gomes-Pereira, J.N., Purser, A., Stewart, H., Tojeira, I., Tubau, X., Van Rooij, D., Tyler, P.A., (2014). Marine litter distribution and density in European seas, from the shelves to deep basins. *PLoS ONE* 9, e95839.
- Plastics Europe. (2018). Plastics - the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data. [https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics\\_the\\_facts\\_2018\\_AF\\_web.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf).
- Plastics Europe. (2016). <https://www.plasticseurope.org/es>. Obtenido de <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf>
- Plastics Europe. (2021). Plastics - the Facts. Bruselas, Bélgica; 2022.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2022). Una marea de plástico. Consultado el 13 de octubre de 2022. <https://feature.undp.org/una-marea-de-plastico/#:~:text=Hace%20dos%20d%C3%A9cadas%2C%20un%20submarino,encontr%C3%B3%20una%20bolsa%20de%20pl%C3%A1stico>
- Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales. *Reverté*.
- Rech, S., Borrell, Y. y García-Vázquez, E. (2016). Marine litter as vector of non-native species: what we need to know. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2):40-43.
- Reyna-González, P. C. (2014). Modelo de soporte para la toma de decisiones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.
- Ríos, L.M., Moore, C., y Jones, P. R. (2007). Persistent organic pollutants carried by synthetic polymers in the ocean environment. *Marine Pollution Bulletin* 54(8):1230-1237.
- Richards, Z. T. and Beger, M. (2011). A quantification of the standing stock of macro-debris in Majuro lagoon and its effect on hard coral communities. *Marine pollution bulletin*, 62 (8): 1693-1701.

- Riverón-Enzástiga, M., Carbajal, N. and Salas-Monreal, D. (2016). Tropical coral reef system hydrodynamics in the western Gulf of Mexico. *Scientia Marina*, 80(2): 237-246.
- Rivera-Garibay, O.O., Álvarez-Filip, L., Rivas, M., Garelli-Ríos, O., Pérez-Cervantes, E. y Estrada-Saldívar, N. (2020). Impacto de la contaminación por plástico en áreas naturales protegidas mexicanas. *Greenpeace México*.
- Rochman, C. M. (2015). The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment. *Marine anthropogenic litter*. Springer, Cham. 117-140.
- Rojo-Nieto, E., and Montoto Martínez, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global.
- Ryan, P. G. (2020). The transport and fate of marine plastics in South Africa and adjacent oceans. *South African Journal of Science*, 116(5-6), 1-9. <https://dx.doi.org/10.17159/sajs.2020/7677>
- Ryan, P. G., Weideman, E. A., Perold, V., Durholz, D. and Fairweather, T. P. (2020) A trawl survey of seabed macrolitter on the South African continental shelf. *Mar Pollut Bull*; 150, Art.#110741, 6 pages. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110741>
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo rural Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2008). Prospectiva del Subsector Acuícola y Pesquero en el Estado de Veracruz. Gobierno del Estado, 203 p.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2021). En línea: <http://www.veracruz.gob.mx/2021/11/26/Veracruz-esta-profesionalizado-en-turismo-visitantes-generan-derrama-de-2-mil-170-mdp-sectur/>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2003). Al ambiente, P. F. D. P., De México, C. D. I. G., & Federal, G. D. D. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.
- Salas-Monreal D., Salas-de-León, D.A., Monreal-Gómez, M.A. and Riverón-Enzástiga, M.L. (2009). Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, 28: 871-879.
- Salas-Pérez J. and J. A. Granados Barba. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3): 281-301.
- Salas-Monreal, D., Monreal-Jimenez, R., Contreras-Tereza, V.K., *et al.*, (2022) Hydrographic variation in a tropical coral reef system: The Veracruz Reef System, Gulf of Mexico. *Oceanologia*, <https://doi.org/10.1016/j.oceano.03.002>
- Salas-Peréz, J.J., Ocaña-Valencia, A.N. and González-Gándara, C. (2015). Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el Golfo de México occidental. En: A. Granados-Barba, L.D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del sistema

- Arrecifal Veracruzano: Hacia el corredor arrecifal del suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, México. 366 pp.
- Santodomingo, N., Perry, C., Waheed, Z., bin Syed Hussein, M. A., Rosedy, A. y Johnson, K. G. (2021). Contaminación por basura marina en los arrecifes de coral de Darvel Bay (East Sabah, Malasia). *Boletín de contaminación marina*, 173, 112998.
- Schuyler, Q., Hardesty, B. D., Wilcox, C. and Townsend, K. (2014). Global analysis of anthropogenic debris ingestion by sea turtles. *Conservation biology*, 28 (1): 129-139.
- Schuyler, Q. A., Wilcox, C., Townsend, K. A., Wedemeyer-Strombel, K. R., Balazs, G., van Sebille, E. and Hardesty, B. D. (2016). Risk analysis reveals global hotspots for marine debris ingestion by sea turtles. *Global Change Biology*, 22 (2): 567-576.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2021). Recuperada el 24 de febrero de 2022 <http://www.veracruz.gob.mx/2021/11/26/veracruz-esta-profesionalizado-en-turismo-visitantes-generan-derrama-de-2-mil-170-mdp-sectur/>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Diario Oficial de la Federación (DOF). (2008). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios de disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Actopan, Río La Antigua, Río Jamapa, Río Cotaxtla, Jamapa-Cotaxtla y llanuras de Actopan, mismos que forman parte de la porción de la Región Hidrológica, denominada Papaloapan.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2001). Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., 228 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). En línea: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/fuentes-de-contaminacion-atmosferica>
- Shashoua, Y. (2008). Conservation of plastics: materials science. *Degradation and Preservation*.
- Sigler, M. (2014). The effects of plastic pollution on aquatic wildlife: current situations and future solutions. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225 (11): 2184.
- Silva-Rodríguez, F. and Sanz-Aragón, J. E. (1997). Tema 11. Los plásticos. Termoplásticos. Estos plásticos tienen la ventaja de que se pueden reciclar. *Tecnología industrial I* (1ª edición). Aravaca (Madrid, España): McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. pp. 164-174. ISBN 84-481-0444-7.
- Smolowitz, R. J., (1978) Lobster, *Homarus americanus*, trap design and ghost fishing. L. N. Corps and N. F. Center. *Marine Fisheries Review*, 40 (5-6): 2-8.
- Stramma, Lo. (1988). «Seasonal changes in the North Atlantic subtropical gyre». *Journal of Geophysical Research* 93 (C7): 8111. Bibcode: 1988JGR....93.8111S. doi:10.1029/JC093iC07p08111.

- Technical Subgroup on Marine Litter. (2013). Guidance on monitoring of marine litter in European Seas. Joint Research Centre Scientific and Policy Reports, European Commission. Directive, Strategy Framework: 128.
- Tirelli, V., Suaria, G., and Lusher, A.L. (2020). Microplastics in polar samples. In Handbook of Microplastics in the Environment. Rocha-Santos, T., Costa, M. and Mouneyrac, C. (eds.), Cham: Springer. 1-42. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-10618-8\\_4-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-10618-8_4-1). Accessed 13 January 2021.
- Thevenon, F., Carroll, C. and Sousa, J. (2014). Plastic debris in the ocean: the characterization of marine plastics and their environmental impacts, situation analysis report. *Gland, Switzerland: IUCN*, 52.
- Thompson, R. C. and Napper, I. E. (2019). Marine Plastic Pollution: Other Than Microplastics. *University of Plymouth*. 425-442.
- Tunnell, J. W. (1992). Natural versus human impacts to southern Gulf of Mexico coral reef resources. Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium. University of Guam Press, UOG Station, Guam, June 22 27, 1992. Pp. 535 544.
- Tunnell, J.W. Jr. (2007). Reef distribution. In: Tunnell, J.W. Jr, Chávez, E.A., Withers, K. (Eds.), Coral reefs of the southern Gulf of Mexico. *Texas A&M University Press*, Texas, U.S.A., pp. 14-22.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). From pollution to solution. A global assessment of marine litter and plastic pollution [Internet]. Nairobi, Kenia. p. 148. Disponible en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36963/POLSOL.pdf>
- Van der Mheen, M., Pattiaratchi, C. and van Sebille, E. (2019). Role of Indian Ocean dynamics on accumulation of buoyant debris. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 124, 2571–2590. <https://doi.org/10.1029/2018JC014806>. Accessed 12 January 2021.
- Velásquez, L. (2013). Modelación del transporte de sedimentos en el golfo de Urabá, Colombia. Universidad EAFIT Escuela de Ingeniería. Departamento de geología. Medellín.
- Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J. e Ivanova, E. P. (2012). Degradación de plásticos y sus implicaciones ambientales con especial referencia al poli (tereftalato de etileno). *Polímeros*, 5 (1), 1-18.
- Welden, N. A. and Lusher, A. L. (2017). Impacts of changing ocean circulation on the distribution of marine microplastic litter. *Integrated Environmental Assessment and Management* 13 (3), 483-487. <https://doi.org/10.1002/ieam.1911>. Accessed 14 January 2021.
- Woodall, L. C., Sanchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L. J., Coppock, R., Sleight, V., *et al.* The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R Soc Open Sci.* 2014;1:140317. <https://doi.org/10.1098/rsos.140317>

- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S., 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environ. Pollut.* 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.
- Wright, R. J., Langille, M. G. I. and Walker, T. R. (2020). Food or just a free ride? A meta-analysis reveals the global diversity of the Plastisphere. *The ISME Journal: Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*.
- Yimin, Y., Pitcher, R., Dennis, D. and Skewes, T. (2005). Constructing abundance indices from scientific surveys of different designs for the Torres Strait ornate rock lobster (*Panulirus ornatus*) fishery, Australia. *Fish. Res.* 73, 187–200.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L. and O'Brien, J. J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research* 108(C12). doi:10.1029/2003JC001879.
- Zemelman, H. (2000). Problemas antropológicos y utópicos del conocimiento. Ed. Jornadas 126 COLMEX. México
- Zettler, E. R., Mincer, T. J. and Amaral-Zettler, L. (2013). Plastisphere. Microbial communities on plastic marine debris. *Environmental Science and Technology* 47(13):7137-7146.

ANEXO I

