



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS EN LA RESERVA ECOLÓGICA
ARROYO MORENO, VERACRUZ.

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

PRESENTA

Biól. Iliana Paola Cervantes Aguilar

DIRECTORA

Dra. Fabiola Lango Reynoso

CODIRECTORA

Dra. María Del Refugio Castañeda Chávez

ASESORES

Dra. Claudia Araceli Dávila Camacho

Dr. Pedro César Reyna González

OCTUBRE 2022

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

Boca del Río, Ver **10/OCTUBRE/2022**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

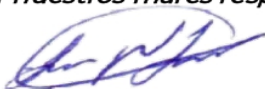
**C. ILIANA PAOLA CERVANTES AGUILAR
PASANTE DEL PROGRAMA MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
PRESENTE**

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:

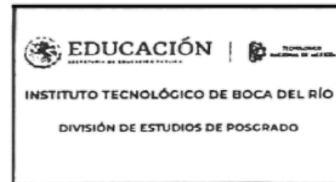
“MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO, VERACRUZ”

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



Km. 12 Carretera Veracruz-Córdoba, Boca del Río, Ver. C.P. 94290.
Tel. (229) 690 5010 dir01_bdelrio@tecnm.mx | tecnm.mx | bdelrio.tecnm.mx



ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Número Registro: **A-01205-110221**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:00 horas del día 10 del mes de octubre de 2022 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:

"MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO, VERACRUZ"

Que presenta el (la) alumno(a):

ILIANA PAOLA CERVANTES AGUILAR
Aspirante al Grado de:
Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental


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. FABIOLA LANGO REYNOSO

Directora



DRA. CLAUDIA ARACELI DÁVILA CAMACHO
Asesor



DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ
Co-Directora



DR. PEDRO CÉSAR REYNA GONZÁLEZ
Asesor





Boca del Río, Veracruz, **17/junio/2022**
Asunto: **CESION DE DERECHOS Y NO PLAGIO**

H. CONSEJO DE POSGRADO
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO/ INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
PRESENTE

En la Ciudad de Veracruz, Veracruz a los 17 días del mes junio del año **2022**. El que suscribe ILIANA PAOLA CERVANTES AGUILAR por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: "MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO, VERACRUZ" (en lo sucesivo la "TESIS") manifiesto que cedo a título gratuito la totalidad de los derechos patrimoniales de autor que sobre ella me corresponden, a favor del Tecnológico Nacional de México (en lo sucesivo el "TecNM"). Lo anterior en términos de los antecedentes y consideraciones siguientes:

- I. Que la presente cesión de derechos de la "TESIS" se transfiera en virtud de lo estipulado en los establecido en los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, sin reservarme acción legal de ningún tipo.
- II. Manifiesto bajo protesta de decir verdad, que la "TESIS" es original, inédita y propia, no existiendo impedimento de ninguna naturaleza para la cesión de derechos que se está haciendo, respondiendo además por cualquier acción de reivindicación, plagio u otra clase de reclamación que al respecto pudiera sobrevenir.
- III. Que la titularidad de derechos de autor de la "TESIS" en términos del artículo 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor (reproducción, en todas sus modalidades, transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de explotación que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer, son propiedad única y exclusiva del "TecNM", adquiriendo el derecho de reproducción en todas sus modalidades, el derecho de transformación o adaptación, comunicación pública, distribución y en general cualquier tipo de uso que de la "TESIS" se pueda realizar por cualquier medio conocido o por conocer. La cesión de derechos se realiza con carácter permanente e irrevocable.
- IV. El TecNM podrá exhibir la "TESIS" a través de cualquier medio, en cualquier parte del mundo, incluso ser modificada, comprendida, traducida y de cualquier forma explotada en su totalidad o parcialidad.
- V. Que no he otorgado, ni otorgaré por ningún motivo, consentimiento alguno para la utilización de la "TESIS" por cualquier medio y su materialización en productos o servicios de cualquier naturaleza, a favor de ninguna persona física o moral, distinta a el "TecNM".
- VI. Estoy enterado del contenido y alcance legal de la presente cesión de derechos, firmando al final del presente documento para su certificación.

Señalo como correo electrónico para recibir futuras notificaciones: m20990026@bdelrio.tecnm.mx.

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

ATENTAMENTE

ILIANA PAOLA CERVANTES AGUILAR

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE DE POSGRADO

c.c.p. Archivo



DEDICATORIA

A mi abuelito Emiliano que desde el cielo nunca ha dejado de mandarme su luz.

A mi familia que siempre ha estado a mi lado apoyándome en cada decisión y aconsejándome para siempre crecer profesionalmente.

A la vida, al universo y a la nueva versión propia que construí estos años.

A mis amigos (as) incondicionales fuente de motivación y alegrías.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo de beca para mi formación profesional con número de registro 1083291.

Al programa de posgrado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental.

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río por la atención e infraestructura brindada a lo largo de mi formación de posgrado.

A la Dra. Fabiola Lango Reynoso por permitirme formar parte de este proyecto de investigación, por su apoyo y asesoría.

A la Dra. Claudia Dávila Camacho por su paciencia, apoyo, charlas, y asesoría brindada.

A la Dra. María Del Refugio Castañeda Chávez y al Dr. Pedro César Reyna González por formar parte de mi comité.

RESUMEN

El plástico está presente en el medio ambiente desde hace décadas, pero solo recientemente hemos tomado conciencia de la gravedad de una contaminación plástica que es global y afecta a todos los sectores de la sociedad. Si bien, los productos plásticos han dado beneficios a la sociedad debido a su bajo costo en producción, versatilidad y durabilidad han ocasionado en los últimos años un incremento de producción de 320 millones de toneladas de plástico por año, de las cuales 13 millones son vertidos a ríos y océanos causando daños graves en ecosistemas y organismos.

Los contaminantes plásticos no solamente incluyen desechos de gran tamaño sino también pequeños fragmentos de partículas de menos de cinco milímetros (5 mm) definidos como *microplásticos* los cuales se clasifican en primarios originados directamente de la manufactura de quien los produce y los secundarios que son el resultado de los fragmentos de grandes plásticos por medios físicos, químicos y biológicos. Los microplásticos se consideran contaminantes emergentes que se han localizado en todos los entornos que nos rodean desde las aguas oceánicas, los ríos, los lagos, los arroyos, el aire, el hielo, los sedimentos, el suelo, el tracto digestivo de animales marinos y terrestres; y actualmente se han documentado en la sangre y en la placenta humana.

Es importante destacar que a pesar de los esfuerzos de investigación sobre microplásticos que se han realizado hasta la fecha, estos se han centrado más en ambientes oceánicos y solo muy poca investigación se ha enfocado en ambientes de agua dulce, sobre todo para México. A pesar de que estos últimos tienen una mayor proximidad a fuentes puntuales de contaminación principalmente de origen antropogénicos, son típicamente más pequeños, presentan diferencias espaciales y temporales marcadas y son una vía de acceso hacia el océano.

La Reserva Ecológica Arroyo Moreno es un sistema de agua dulce que se caracteriza por interactuar con el río Jamapa y presentar zonas de humedales con vegetación de mangle los cuales son de gran importancia ambiental. Es un sitio catalogado como Reserva Ecológica por la importancia que tiene al servir como refugio a especies silvestres locales y migratorias que intervienen en el equilibrio ecológico del lugar. Sin embargo, en los últimos años este sitio se ha ido contaminando por acción de actividades humanas que dan paso al origen de estos contaminantes.

Por ello se realizó el primer estudio de microplásticos en sedimentos para el área durante tres temporalidades (lluvias, nortes y estiaje) con el objetivo de establecer la relación entre la distribución, diversidad y abundancia de microplásticos; para este fin se localizaron y determinaron seis puntos de muestreo catalogados como posibles fuentes puntuales de contaminación ya que estos sitios se caracterizan por ser vertidos directos de aguas de tipo domésticas y/o industriales, presentarse cercanas a zonas habitacionales o actividades de pesca, entre otras.

Los microplásticos fueron identificados de manera visual y clasificados principalmente por tamaño, color y forma; registrando un total de 146 *items/kg_{ss}* en las tres temporalidades distribuidos de mayor a menor abundancia, siendo la temporalidad de lluvias con la mayor abundancia de microplásticos con 67 *items/kg_{ss}*, seguido de nortes con 46 *items/kg_{ss}* y estiaje con 33 *items/kg_{ss}*. Las fuentes puntuales con mayor abundancia de microplásticos correspondieron al P-2 (zona urbana residencial "Tampiquera) y P-5 (desfogue del canal de la Zamorana) ya que son sitios donde se vierten directamente las aguas residuales sin pasar por algún tratamiento previo y es donde mayor zona urbana existe en el área, lo que genera mayores residuos plásticos. En cuanto a la forma de microplásticos la mayor diversidad correspondió a fragmentos y fibras en temporada de lluvias y nortes, mientras que en estiaje predominó el tipo filamentos; el color que predominó para las tres temporalidades fue el color blanco, seguido del verde y azul; por tamaño de microplásticos en la temporada de lluvias fue <2 mm, mientras que para nortes y estiaje predominó el tamaño de 5mm.

Este estudio permite tener un primer acercamiento espacio-temporal sobre la distribución, diversidad y abundancia de microplásticos en cuerpos de agua dulce sobre todo en sitios de importancia ecológica con la finalidad de seguir su monitoreo y promover una mejora en el plan de manejo y conservación.

Palabras clave: microplásticos, contaminación, Reserva Ecológica Arroyo Moreno

ABSTRACT

Plastic has been present in the environment for decades, but only recently become aware of the seriousness plastic pollution that is global and affects all sectors of society. Although plastic products have provided benefits to society due to their low production cost, versatility and durability, in recent years they have caused an increase in production of 320 million tons of plastic per year, which 13 million are dumped to rivers and oceans causing serious damage to ecosystems and organisms.

Plastic contaminants not only include large debris, also small particles less than five millimeters (5 mm) defined as microplastics which are classified as primary microplastics that include cosmetic and medical products and secondary microplastics originate from physical, chemical, and biological processes resulting in fragmentation of plastic debris.

It is important to note that despite the research efforts on microplastics, these have more focused on ocean environments and only very little research has focused on freshwater environments, especially for Mexico like the Ecological Reserve Arroyo Moreno in Veracruz. This site is a freshwater system that is characterized by interacting with the Jamapa River and present mangrove vegetation which have an environmental importance. However, in recent years this site has been contaminated by the presence of anthropogenic activities; for this reason, the first study of microplastics in sediments for the area was carried out during three seasons (rainy, north and dry) with the aim of establishing the relationship between the distribution, diversity and abundance of microplastics.

Microplastics were identified and classified by size, color and shape; finding a total of 146 *items/kgss*, being the rainy season with the highest abundance of microplastics with 67 *items/kgss*, followed by norths with 46 *items/kgss*, and dry season with 33 *items/kgss*. The point sources with the highest abundance of microplastics in the three temporalities corresponded to P-2 (urban area-Tampiquera) and P-5 (Zamorana watercourse). The greatest diversity corresponded to fragments and fibers in rainy and north seasons, while in the dry season the filament type predominated; the color for the three temporalities was white, followed by green and blue; by size of microplastics in the rainy season was <2 mm, while for north and dry season the size of 5 mm predominated.

Keywords: microplastics, pollution, Ecological Reserve Arroyo Moreno

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
2.1 Sedimentos	5
2.2 Teoría de transporte de sedimentos	6
2.3 Sedimentos y microplásticos	8
2.4 Los Plásticos	8
2.4.1 Origen de los plásticos	9
2.4.2 Tipos de plásticos.....	13
2.4.3 Identificación de los plásticos	16
2.4.4 Bioplásticos	18
2.4.5 Cómo se producen los bioplásticos.....	19
2.4.6 Plásticos biodegradables	19
2.4.7 Problemática y daños directos de los plásticos	20
2.4.8 Principales fuentes de ingreso de basura plástica.....	24
2.4.9 Reciclaje de la basura plástica en México.....	25
2.4.10 Gestión de residuos plásticos en México	29
2.4.11 Economía Circular de los plásticos	31
2.5 Microplásticos (MP)	33
2.5.1 Tipos de microplásticos	34
2.5.2 Distribución de microplásticos	35
2.5.3 Mecanismos de degradación de microplásticos.....	35
2.5.4 Efectos dañinos por microplásticos	36
2.5.5 Efectos en el medio ambiente por microplásticos	40
2.5.6 Los sistemas de agua dulce como reservorio de microplásticos.....	40
2.5.7 Factores que influyen el transporte de microplásticos en sistemas de agua dulce	41
3. ANTECEDENTES	44
4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	48
5. JUSTIFICACIÓN	49
6. HIPÓTESIS	49

7. OBJETIVOS	49
General	49
Particulares	49
8. MATERIALES Y MÉTODOS	50
8.1 ÁREA DE ESTUDIO	50
8.2 ETAPA DE CAMPO	58
8.3 ETAPA DE LABORATORIO	60
8.4 ETAPA DE GABINETE.....	62
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
10. CONCLUSIONES	87
11. RECOMENDACIONES	88
12. LITERATURA CITADA	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de sedimentos (https://glossary.slb.com/es/terms/s/sorting).	5
Figura 2. Transporte de sedimentos (https://www.youtube.com/watch?v=rQTctqvqsoM). .	7
Figura 3. Representación química del polímero Baquelita (Oliva-Civera, 2012).	10
Figura 4. Historia del plástico (Amaral-Zettler et al., 2020).	10
Figura 5. Producción mundial del plástico 2012 por regiones (Góngora Pérez, 2014).	11
Figura 6. Producción mundial de plástico por tipo de uso (Góngora Pérez, 2014).	11
Figura 7. Distribución global de la producción de plásticos en 2019 (PlasticsEurope, 2020).	11
Figura 8. Usos y aplicaciones de plásticos más convencionales. Elaboración propia.	12
Figura 9. Código de identificación de resinas de plásticos (https://www.umhsapiens.com/wp-content/uploads/2014/04/plasticos-01.jpg).	16
Figura 10. Símbolo de identificación y clasificación de plásticos (PAOT, 2015).	17
Figura 11. Composición de un bioplástico. Elaboración propia.	19
Figura 12. Proceso de biodegradación (Vázquez Morillas et al., 2016).	20
Figura 13. Desperdicios plásticos Foto ONU/Martine Perret.	21
Figura 14. Daños e impactos directos de la basura plástica (PNUMA, 2021).	23
Figura 15. Vías de entrada de la basura plástica y representación de los posibles caminos a lo largo del ciclo de vida de la basura plástica en su viaje de la tierra al mar (Amaral-Zettler et al., 2020).	25
Figura 16. Jerarquía del manejo de residuos. Adaptado de Vázquez Morillas et al., 2016.	26
Figura 17. Destino de los plásticos reciclados (PlasticsEurope, 2020).	29
Figura 18. Etapa de la gestión de residuos entre ellos el plástico en México (SEMARNAT, 2020).	30
Figura 19. Proceso de economía circular de plásticos (PlasticsEurope, 2022).	32
Figura 20. Tipos de microplásticos a) Nurdles y b) microplásticos secundarios.	34
Figura 21. Mecanismos de degradación para los microplásticos en ambientes marinos. Adaptado de Cashman et al., 2020.	36
Figura 22. Presencia de microplásticos en fauna a) pez arcoíris y b) fibras en ostras.	37
Figura 23. Acumulación de microplásticos en la cadena alimenticia	38
Figura 24. Exposición humana a partículas microplásticas (PNUMA, 2021).	39
Figura 25. Vías de entrada de microplásticos (Horton y Dixon, 2018).	41
Figura 26. Plastisfera: comunidad microbiana en microplásticos (Amaral-Zettler et al., 2020).	42
Figura 27. Esquema del problema de investigación enfocada al plano ecológico en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Elaboración propia.	48
Figura 28. Localización de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.	50
Figura 29. Flora representativa de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías del ITBOCA.	53
Figura 30. Fauna representativa de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías de Naturalista.	55
Figura 31. Problemas ambientales dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.	57

Figura 32. Recorrido y ubicación de fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.	58
Figura 33. Nucleador y proceso de recolección de muestras de sedimento. Fotografías propias.....	59
Figura 34. Proceso de secado de muestras de sedimento en laboratorio. Fotografías propias.....	60
Figura 35. Proceso de tamizaje de muestras de sedimento, serie de tamices y almacenamiento. Fotografías propias.....	61
Figura 36. Proceso de identificación de microplásticos por color, tipo y tamaño en sedimentos tamizados. Fotografías propias.	62
Figura 37. Mapa de localización de las seis fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	64
Figura 38. Fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.	65
Figura 39. Microplásticos identificados en sedimentos dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.	67
Figura 40. Abundancia de microplásticos por temporalidad de muestreo dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	68
Figura 40 Abundancia de microplásticos por temporalidad de muestreo dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	68
Figura 41. Abundancia de microplásticos por sitios de muestreo durante las tres temporalidades dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.	69
Figura 42. Diversidad de microplásticos por temporalidad de muestreo 2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	71
Figura 43. Porcentaje de color de microplásticos por temporalidad dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	73
Figura 44. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	75
Figura 45. Diversidad de microplásticos durante lluvias-2021dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	76
Figura 46. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de <i>microplásticos</i> en sedimentos durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).	77
Figura 47. Tamaño de microplásticos obtenidos durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	78
Figura 48. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	79
Figura 49. Diversidad de microplásticos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	80
Figura 50. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de microplásticos en sedimentos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).	81
Figura 51. Tamaño de microplásticos obtenidos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	82
Figura 52. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	83

Figura 53. Diversidad de microplásticos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	84
Figura 54. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de microplásticos en sedimentos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).	85
Figura 55. Tamaño de microplásticos obtenidos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.....	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reportes de microplásticos en diversos entornos.....	3
Tabla 2. Clasificación de los polímeros	13
Tabla 3. Termoplásticos más comunes en la industria.....	14
Tabla 4. Los 4 procesos de reciclaje de plásticos	27
Tabla 5. Criterios de recuperación de residuos para su reciclaje	28
Tabla 6. Nivel de recuperación de los residuos sólidos.....	28
Tabla 7. Categorías de tamaños de piezas de plásticos	33
Tabla 8. Rangos de densidad de los polímeros más comunes de relevancia ambiental...	42
Tabla 9. Flora perteneciente a la Reserva Ecológica Arroyo Moreno	53
Tabla 10. Fauna perteneciente a la Reserva Ecológica Arroyo Moreno.....	54
Tabla 11. Problemas ambientales detectados en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno...	56
Tabla 12. Localización y descripción de puntos de muestreo	63
Tabla 13. Abundancia total de microplásticos durante las tres temporalidades y puntos de muestreo	68

1. INTRODUCCIÓN

Antes de crearse los primeros polímeros sintéticos, la naturaleza era la única y exclusiva fuente de materiales con que el hombre contaba para la realización de sus herramientas y objetos de uso cotidiano, entre ellas se encontraba la seda, la lana, el algodón, la celulosa, el almidón, el marfil o el caucho natural pero sus propiedades no satisfacían todas las demandas existentes así que, el hombre en su innato afán de investigación y búsqueda comenzó a aplicar sustancias que suplieran estas carencias (García, 2009).

Fue a partir de 1907 con la aparición del primer plástico completamente sintético llamado “Baquelita” que comenzó una serie de optimización de técnicas para fabricaciones más económicas dando como resultado la producción en masa de plásticos más ligeros, duraderos y resistentes; estos atributos han llevado al uso extensivo de plásticos para un sinnúmero de aplicaciones diarias para el ser humano. Desde su producción en masa en 1940 estos polímeros han entrado en nuestras vidas y palabras como poliestireno, polietileno, cloruro de polivinilo, poliamidas o PET se nos han hecho más y más familiares; se calcula que aproximadamente 230 millones de toneladas de plástico fueron producidos a nivel mundial en 2009 lo que representó el 8% de la producción mundial de petróleo (Cole et al., 2011) y para el 2015 esta cifra se elevó a 322 millones de toneladas; sólo en Europa se consumieron 49 millones de toneladas, de las cuales un 40% fueron destinadas a embalajes y envases, casi el 20% a la construcción, cerca del 9% a la fabricación de automóviles y el 5,8% a aparatos electrónicos.

El plástico se ha ido incorporando a todas las sociedades tanto industrializadas como agrícolas, en los lugares remotos o en las grandes ciudades, su ciclo vital ha crecido exponencialmente apareciendo en el siglo XIX, dominando el siglo XX y viéndose sobrerrepresentado por su producción masiva en el siglo XXI. Ha sido un fenómeno de tal extensión que nunca en la historia de la humanidad se ha registrado un descubrimiento de desarrollo tan rápido y en proporciones tan inimaginables puesto que, encontramos plásticos en envases, calzado, ropa, juguetes, compuestos industriales, piezas para autos y estructuras de aviones, e incluso materiales médicos y prótesis bioquímicas. De manera general, estos materiales han sido utilizados para producir elementos que nos permiten cubrir las necesidades tecnológicas de una sociedad en aumento y cada vez más compleja en la que convivimos cerca de 8.000 millones de personas (López y Alcalde, 2020).

La producción y alta demanda del plástico ha provocado un incremento de basura plástica depositada en entornos de todo el mundo incluidos los océanos, las aguas dulces, los suelos y la atmósfera (Hoellein et al., 2019). En los últimos años se han producido alrededor de 300 millones de toneladas de plástico por año, de las cuales 13 millones llegan a ríos y océanos causando daños irreparables tanto a ecosistemas como a organismos (Álvarez et al., 2020). Los plásticos han dado grandes beneficios a la sociedad debido a su bajo costo en producción, versatilidad y durabilidad en el tiempo, pero el uso desmedido y su disposición final ha traído consigo su acumulación en el medio ambiente contaminando sedimentos tanto continentales como marinos y a nivel global en aguas superficiales (Sarria-Villa y Gallo-Corredor, 2016).

El impacto que tienen los grandes desechos plásticos, conocidos como *macroplásticos* ha sido durante mucho tiempo tema de investigación, su presencia principalmente en el medio marino presenta un problema estético con efectos económicos, repercusiones para la industria turística y un peligro para numerosas industrias ya que el plástico puede provocar enredos y daños a equipos; sin olvidar que para la fauna estos representan un grave peligro ya que provocan lesiones y muerte de aves, mamíferos, peces y reptiles resultantes de enredos e ingestión. Los grandes plásticos flotantes también interactúan en el transporte de especies no autóctonas a nuevos hábitats y la asfixia del fondo marino evitando el intercambio de nutrientes resultado del hundimiento de estos plásticos (Cole et al., 2011).

Recientemente ha habido una creciente preocupación sobre los impactos de otro tipo de plástico que no puede detectarse a simple vista, a los cuales se les conoce como *microplásticos* cuyo tamaño oscila en el rango de 1 nm a $<5\text{ mm}$ (GESAMP, 2015).

Existen dos tipos de microplásticos: *los primarios* los cuales pueden originarse directamente de la manufactura de quien lo produce y *los microplásticos secundarios* que representan el resultado del desgaste o la fragmentación de plásticos grandes provenientes de la degradación por medios físicos, químicos y biológicos (Li et al., 2020), entre ellos se encuentran: los fragmentos, el foam, films, las fibras, los filamentos, etc.

Existe una gran variedad de microplásticos que se han reportado con una distribución a lo largo de diversos tipos de entornos (Tabla 1).

Tabla 1. Reportes de microplásticos en diversos entornos

SITIO	AUTOR
Aguas continentales	Wang et al., 2021
	Yustres, Quimbaya y Silva, 2020
Playas	Retama et al., 2016
	Álvarez Zeferino et al., 2020
	Piñon-Colin et al., 2018
Océano profundo	Katija et al., 2017
	Van Cauwenberghe et al., 2013
Sedimento marino	Falahudin et al., 2020
Aguas polares	Lusher et al., 2015
Suelos	Van den Berg et al., 2020
Atmósfera	Hoellein et al., 2019
Nieve	Kelly et al., 2020
Sangre humana	Leslie et al., 2022
Placenta humana	Ragusa et al., 2021
Contenido estomacal en biota	Borges et al. 2020
	Ugwu et al., 2021
Productos alimenticios	Barboza et al., 2018

Los microplásticos son elementos que actualmente se consideran como contaminantes emergentes, es decir, *emergente* se entiende como todo contaminante previamente desconocido o no reconocido como tal, cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero sí la preocupación por las posibles consecuencias que estos elementos provocan hacia los ecosistemas, la flora, fauna y la vida humana aun en bajas concentraciones y que siguen sin estar regulados o reglamentados por la mayoría de los países (García-Gómez et al., 2011).

Una de las principales fuentes de contaminantes emergentes, principalmente de microplásticos son las aguas residuales (domésticas o industriales) que no reciben ningún tratamiento, y los efluentes de plantas tratadoras de aguas (PTAR) las cuales no están

diseñadas para tratar este tipo de sustancias, por lo que una alta proporción de estos elementos y sus compuestos no sufren ningún cambio y entran en contacto directo con una gran toxicidad al medio acuático, como ríos, arroyos, lagunas, esteros y sistemas oceánicos.

Actualmente los estudios ambientales respecto a la problemática por microplásticos se han centrado más en los ambientes marinos, costeros y oceánicos como destino final y muy pocos han sido evaluados en los entornos de agua dulce sobre todo en México, a pesar de ser más susceptibles a estar en contacto directo con las fuentes de contaminación o por estar más cercanas a zonas antropogénicas.

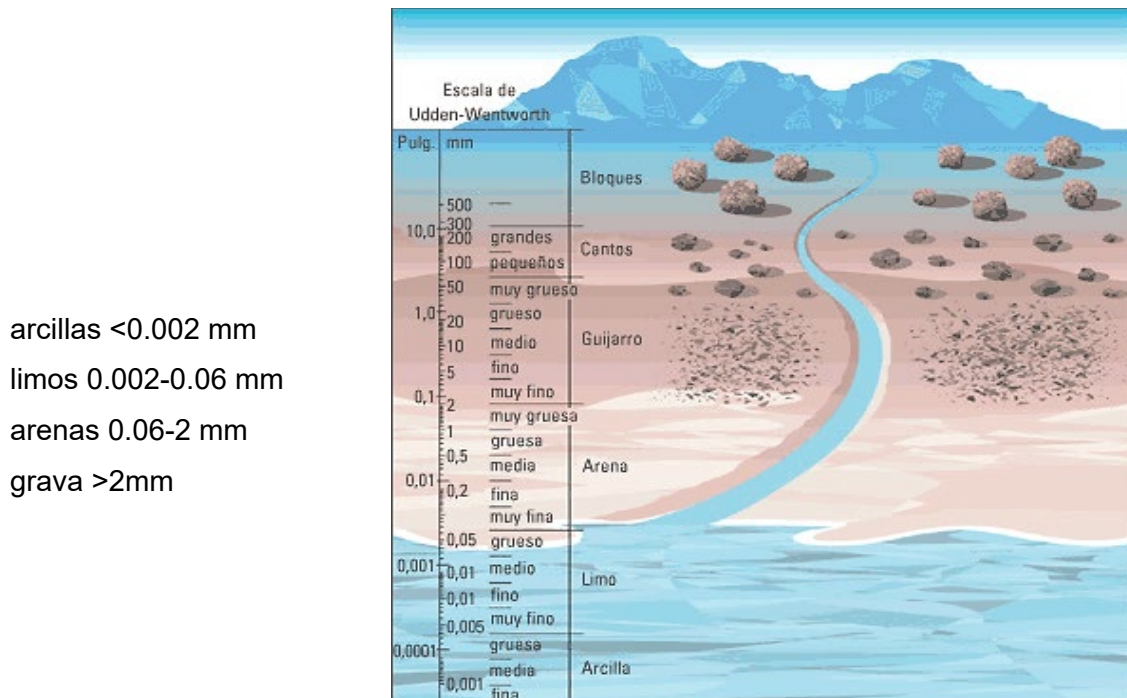
La Reserva Ecológica Arroyo Moreno es un efluente que desemboca cercano al Río Jamapa localizado en el Estado de Veracruz, Municipio de Boca del Río; su importancia radica en brindar servicios ecosistémicos de carácter esencial, entre ellos es albergar un gran número de especies de flora, principalmente mangle, y fauna de importancia de conservación ya sea residentes y/o migratorias, es un sitio de importancia comercial para la pesca artesanal, sirve como una barrera natural de contención y protección contra el efecto de marejadas, ciclones, huracanes y tormentas tropicales, purifica las aguas que alimentan el cauce del río, retiene sedimentos que son acarreados por las lluvias, regula los niveles de agua de los humedales, estabiliza los ciclos biogeoquímicos como el nitrógeno, fósforo y carbono y retiene la materia orgánica que enriquece las aguas de lagunas y esteros.

Sin embargo, en los últimos años este sitio ha sido propicio de problemas ambientales derivado de una serie de acontecimientos, principalmente antropogénicos como las presentes descargas de aguas residuales directas, el constante crecimiento urbano, lixiviados de basureros clandestinos, actividades agrícolas y ganaderas cercanas, tala de mangle, presencia de grandes cantidades de residuos sólidos urbanos los cuales no tienen un manejo adecuado, entre otros. Lo que hace de este sitio un lugar de gran importancia de investigación ambiental.

2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 Sedimentos

Llamamos **sedimento** a un depósito acumulado de materia sólida en la superficie terrestre transportado por procesos físicos en la atmósfera y la hidrósfera. Los vientos, las precipitaciones y los cambios de temperatura son algunos de los factores vinculados al desarrollo de sedimentos; se clasifican de acuerdo a su tamaño en cuatro grupos: grava, arenas, arcillas y limos (Figura 1) (Pérez y Márquez, 2017).



arcillas <0.002 mm
limos 0.002-0.06 mm
arenas 0.06-2 mm
grava >2mm

Figura 1. Clasificación de sedimentos (<https://glossary.slb.com/es/terms/s/sorting>).

El sedimento después de haber estado en suspensión en un medio líquido, termina en el fondo ya sea de un río o un embalse por su mayor gravedad; a este proceso se conoce como **sedimentación**. Los sedimentos pueden permanecer estables durante largos períodos en los cuales se acumulan en el fondo permitiendo un estudio del ecosistema, dado que conservan el registro histórico de lo acaecido en el lugar hasta llegar a consolidarse en rocas.

Los sedimentos tienen funciones esenciales en los ríos como son: el desarrollo del cauce en sus cambios de forma (ancho, profundidad, formación de islas o bancos de arena), sirven para minimizar la degradación del fondo ya que suplen el sedimento en zonas erosionadas,

en la formación de hábitats para un gran número de organismos vivos, en el transporte e intercambio de nutrientes, sirven como alimento a organismos detritívoros o suspensívoros, entre otros (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2014).

2.2 Teoría de transporte de sedimentos

El transporte de sedimentos en un río se puede clasificar con respecto a su origen: si proviene del fondo del cauce (descarga de fondo) o proviene y de una fuente externa (carga de lavado) y de acuerdo a su desplazamiento, si las partículas quedan suspendidas en la columna de agua se le conoce como transporte suspendido, y si las partículas se desplazan por arrastre o saltos será un transporte de arrastre de fondo (Bravo-Espinosa, Osterkamp, y Lopes, 2004). Los sedimentos en suspensión están constituidos por las partículas más finas mantenidas por turbulencia de la corriente y sólo se asientan cuando la velocidad de la corriente disminuye, mientras que las partículas sólidas de mayor tamaño son arrastradas a lo largo del lecho de la corriente (Hudson, 1997).

Los procesos que gobiernan el movimiento de los sedimentos en los ríos son complejos y dependen de los siguientes factores: hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geográficos y biológicos. La descarga de agua, su velocidad, las características de los materiales de las paredes y del fondo del cauce, la disponibilidad de material para su transporte. Otros factores son: la duración e intensidad de lluvia, la pendiente, el uso de suelo en la cuenca, la cobertura vegetal, el tipo de suelo y las actividades humanas (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2014). Los escurrimientos pueden mover una porción de sedimentos finos anualmente, sin embargo, el material más grueso puede durar mucho tiempo sin moverse hasta que los escurrimientos sean suficientemente fuertes para desplazar la mezcla de sedimentos.

Los grandes ríos transfieren sedimentos a través de miles de kilómetros, desde su nacimiento generalmente en las zonas montañosas, hasta su descarga al mar. Del sedimento transportado a los océanos por los grandes ríos que drenan los continentes, del orden de 80 a 90% corresponden a arena fina en suspensión y entre el 10 a 20% a arena gruesa transportada en el fondo (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2014).

Durante el transporte de sedimentos de fondo estos pueden quedar almacenados durante los momentos de baja energía, siendo capaces de ponerse en movimiento durante las

crecidas intensas en los cuales el sistema fluvial cuenta con mayor energía para poner en funcionamiento sus mecanismos de transporte. De esta manera, el sedimento es transportado aguas abajo participando activamente en la sedimentación del área y estos cambios en la sedimentación conllevan a cambios en los volúmenes de sedimento almacenado; traducido en fenómenos de erosión y de depósito que determinarán los cambios morfológicos y la variación geométrica del canal fluvial (Vázquez-Tarrío, 2012).

A medida que un río se acerca a la desembocadura su pendiente disminuye y se reduce la velocidad del agua, así como su capacidad de arrastre; si no existen mareas ni corrientes importantes los sedimentos que el río transporta (arcilla y limos principalmente) son vertidos en el mar (Figura 2).

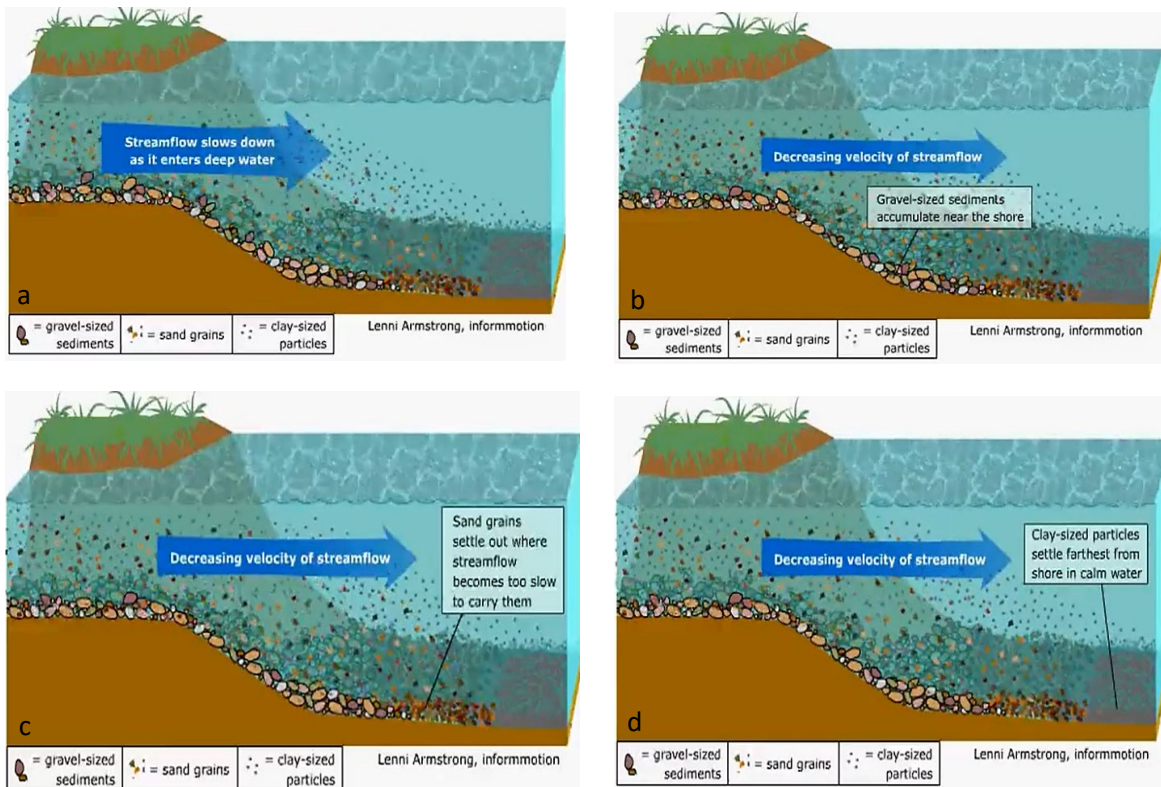


Figura 2. Transporte de sedimentos (<https://www.youtube.com/watch?v=rQTctqvqsoM>).

- a) El flujo de la corriente se ralentiza a medida que entra en aguas profundas, b) Disminución de la velocidad del flujo de la corriente, las gravas se acumulan cerca de la costa, c) Las arenas se asientan donde el flujo de la corriente se vuelve demasiado lento para ser transportados y d) Las arcillas de asientan más lejos de la costa en aguas calmadas.

2.3 Sedimentos y microplásticos

Los sedimentos pueden actuar como fuente y sumidero de microplásticos y ejercer un rol importante en la regulación de la distribución de tal contaminante en ambientes marinos y dulces, donde la concentración de microplásticos presentes proporciona un parámetro indicativo del nivel de contaminación (Yao et al., 2019).

Al igual que los sedimentos los microplásticos dependen de su composición y tamaño para ser transportados a lo largo del cauce de cuerpos de agua y llegar a depositarse dependiendo los factores físicos e hidrológicos del área. Las partículas menos densas se transportan rápidamente río abajo, mientras que las partículas más densas se hunden y solo pueden transportarse con flujos elevados (Hoellein et al., 2019). La tasa de sedimentación de los microplásticos dependerá también de la materia orgánica adherida a su superficie y del desgaste que haya sufrido. Por un lado, la adhesión de materia orgánica conocida como *bioincrustación* incrementa la densidad del microplástico de modo que se deposite en los sedimentos del sistema en el que se encuentre. Así mismo, mientras mayor sea el grado de desgaste por factores físicos o mecánicos las condiciones del cuerpo receptor como el clima, vientos, lluvias, inundaciones, topografía e hidrología la superficie y el tamaño del microplástico se incrementará y la textura se modificará de manera que la unión de materia orgánica y la sedimentación se favorezca (Manrique-Muñante, 2019).

2.4 Los Plásticos

Fue a partir de la revolución industrial, debido al rápido aumento de la población y al incremento del estándar de vida en las ciudades, cuando la demanda por bienes materiales elaborados a partir de un material conocido como “plástico” creció de forma considerable.

Aunque al principio la calidad del plástico proveniente de la producción masiva era bastante deficiente, a partir de los años cincuenta del siglo XX la calidad de los productos plásticos fue en aumento y se creía podía ser utilizado de un modo más eficiente, no sólo como un sustituto de otros materiales, sino para crear nuevos productos más versátiles y con mejor diseño (Góngora Pérez, 2014).

2.4.1 Origen de los plásticos

El origen del primer plástico surgió como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando la fábrica de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural destinado a la fabricación de estos objetos, fue así que el inventor norteamericano Wesley Hyatt desarrolló un método de procesamiento patentado con el nombre de celuloide el cual tuvo un notable éxito comercial sin embargo este era inflamable y se deterioraba al exponerlo a la luz.

Posteriormente en 1907 Leo Hendrik Baekeland sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído al que llamo “baquelita” (Figura 3 y 4), la primera de una serie de resinas sintéticas que revolucionaron la economía moderna y la vida tecnológica iniciando la “era del plástico” con la optimización de técnicas para fabricaciones más económicas dando como resultado la producción en masa de plásticos más ligeros, duraderos y resistentes (Oliva-Civera, 2012).

En la década de 1930, químicos ingleses descubrieron que el gas de etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que llamaron polietileno (PE); al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC) un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Otro de los plásticos desarrollados fue el poliestireno (PS) y el poliestireno expandido (EPS) una espuma blanca y rígida usada básicamente para embalaje y aislante térmico, y hacia 1937 se crea la primera fibra artificial, el nylon (Oliva-Civera, 2012 y Amaral-Zettler et al., 2020).

Desde su producción en masa en 1940 estos polímeros han entrado en nuestras vidas y palabras como poliestireno, polietileno, cloruro de polivinilo, poliamidas o PET se nos han hecho más y más familiares.

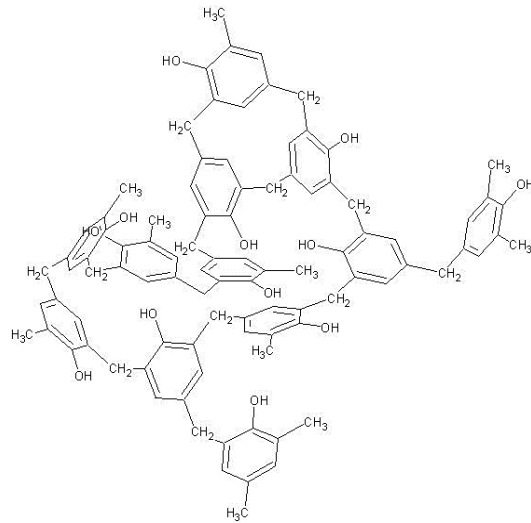


Figura 3. Representación química del polímero Baquelita (Oliva-Civera, 2012).

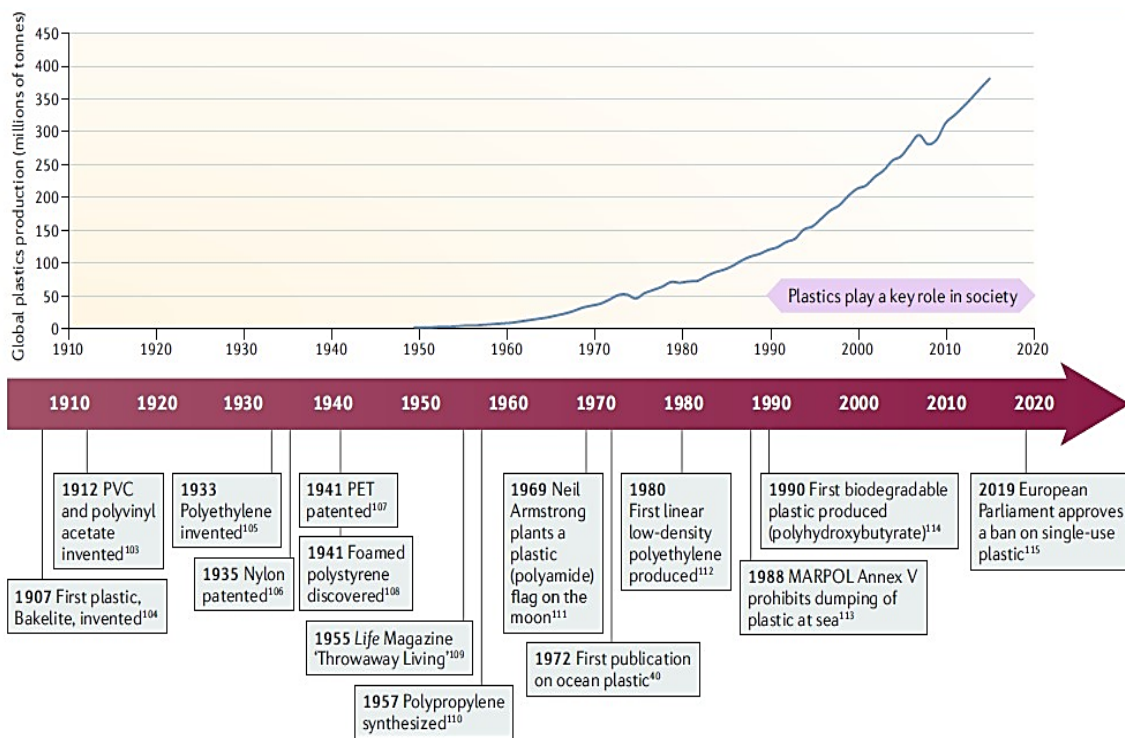


Figura 4. Historia del plástico (Amaral-Zettler et al., 2020).

Se calcula que, aproximadamente 230 millones de toneladas de plástico fueron producidos a nivel mundial en 2009 lo que representó el 8% de la producción mundial de petróleo (Cole et al., 2011), para el 2012 la producción alcanzó un nuevo máximo histórico con 288 millones de toneladas (Figura 5), para el 2015 esta cifra se elevó a 322 millones de toneladas; solo en Europa se consumieron 49 millones de toneladas, de las cuales un 40% fueron destinadas a embalajes y envases, casi el 20% a la construcción, cerca del 9% a la fabricación de automóviles y el 5,8% a aparatos electrónicos (Figura 6) y para 2019 la producción mundial alcanzó más de 370 millones de toneladas teniendo a China como el principal productor de plásticos a nivel mundial (31%) (Figura 7) (PlasticsEurope, 2020).

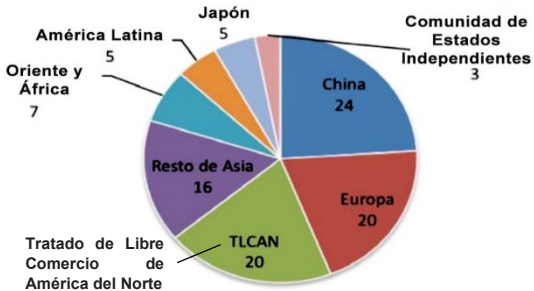


Figura 5. Producción mundial del plástico 2012 por regiones (Góngora Pérez, 2014).

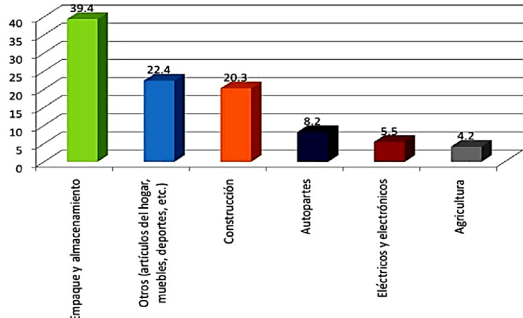


Figura 6. Producción mundial de plástico por tipo de uso (Góngora Pérez, 2014).

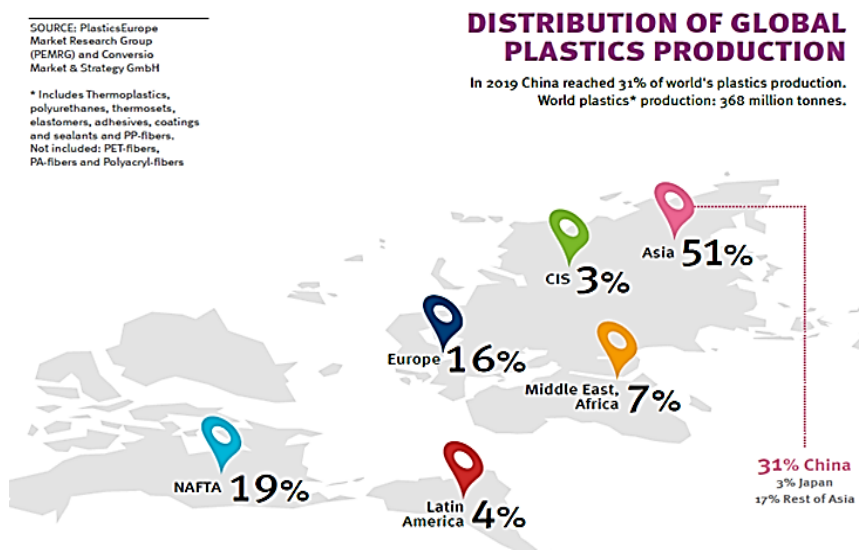


Figura 7. Distribución global de la producción de plásticos en 2019 (PlasticsEurope, 2020).

El plástico se ha ido incorporando a todas las sociedades tanto industrializadas como agrícolas, en los lugares remotos o en las grandes ciudades, su ciclo vital ha crecido exponencialmente apareciendo en el siglo XIX, dominando el siglo XX y viéndose sobrerrepresentado por su producción masiva en el siglo XXI. Ha sido un fenómeno de tal extensión que nunca en la historia de la humanidad se ha registrado un descubrimiento de desarrollo tan rápido y en proporciones tan inimaginables puesto que, encontramos plásticos en envases, calzado, ropa, juguetes, compuestos industriales, piezas para autos y estructuras de aviones, e incluso materiales médicos y prótesis bioquímicas (Figura 8).

De manera general, estos materiales han sido utilizados para producir elementos que nos permiten cubrir las necesidades tecnológicas de una sociedad en aumento y cada vez más compleja en la que convivimos cerca de 8,000 millones de personas (López y Alcalde, 2020).



Figura 8. Usos y aplicaciones de plásticos más convencionales. Elaboración propia.

2.4.2 Tipos de plásticos

El término plástico proviene de la raíz etimológica griega *plástikós* que se refiere a la maleabilidad o plasticidad del material durante la fabricación (aplicación de temperatura) lo que permite fundirlo, prensarlo, hilarlo o aplicarse como revestimiento para obtener diferentes formas como láminas, fibras, placas o cualquier elemento cotidiano (PlasticsEurope, 2019).

Este material puede originarse a partir de materiales como la celulosa, el carbón, el gas natural y principalmente por materiales derivados del petróleo, por tanto, al ser sustancias químicas sintéticas son elaboradas mediante el proceso de polimerización, donde cada cadena de polímero (*poli* “muchos” y *meros* “partes”) está constituida por monómeros mediante enlaces covalentes que se repiten y que varían de tamaño entre 1,000-10,000. Estos polímeros además contienen otros componentes como colorantes, estabilizantes, antioxidantes, retardantes, plastificantes y lubricantes haciéndolos materiales de gran interés industrial y su uso es versátil, son económicos, livianos, duraderos, resistentes y se consideran aislantes térmicos y eléctricos (Thompson et al., 2009).


Los plásticos están divididos en las siguientes dos categorías (Tabla 2) y a su vez los termoplásticos más utilizados en la industria presentan diferentes características (Tabla 3).

Tabla 2. Clasificación de los polímeros

TERMOPLÁSTICOS: no sufren cambios en su estructura química durante el calentamiento. Se pueden calentar y volver a moldear cuantas veces se desee.	<ul style="list-style-type: none">• Polietileno (PE)• Polipropileno (PP)• Poliestireno (PS)• Poliestireno expandido (EPS)• Policloruro de vinilo (PVC)• Politereftalato de etilenglicol (PET)
TERMOESTABLES: adquieren forma de una red tridimensional donde los átomos se enlazan por una gran cantidad de enlaces covalentes. Una vez que estos materiales son calentados y adquieren rigidez no se pueden fusionar ni cambiar de forma.	<ul style="list-style-type: none">• Fenólicos (PF)• Urea-formaldehído (UF)• Poliéster insaturado (UP)• Resinas epoxídicas (EP), fenólicas y amídicas• Poliuretanos

Fuente: PlasticsEurope, 2018.

Tabla 3. Termoplásticos más comunes en la industria

NOMBRE	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO
<p>PET (tereftalato de polietileno)</p>	<p>Se emplea en botellas de bebidas como refrescos o agua, además de otros envases ligeros como paquetes de comida, botes de crema y otros usos farmacéuticos.</p> <p>Su segunda vida es habitualmente nuevas botellas, textiles para prendas de vestir, alfombras, maquetas, lonas y velas náuticas o hilos y cuerdas. Su nivel de facilidad de reciclaje es 1 y las sustancias tóxicas que contiene son antimonio, formaldehído, acetaldehído y ftalato.</p> <p>Representa el 11% de residuos plásticos en el planeta.</p>	
<p>HDPE (polietileno de alta densidad)</p>	<p>Se utiliza en numerosos envases no transparentes como botellas de leche, detergentes, paquetes de comida o de aceite para motores.</p> <p>Su uso tras el reciclado suele ser para nuevos envases, cajas, macetas, contenedores de basura, juguetes, tubos, piezas de mobiliario urbano y de jardín o nuevas botellas de detergente.</p> <p>Es un material más resistente que el PET, y contiene antimonio como sustancia tóxica.</p> <p>Aporta el 14% de residuos plásticos en el medioambiente.</p>	
<p>PVC (policloruro de vinilo)</p>	<p>Empleado en tarjetas de crédito, tuberías, materiales de construcción, revestimiento de cables y marcos de puertas y ventanas.</p> <p>Se puede reutilizar tras su reciclado en suelas para calzado, reglas, otros artículos para el hogar, muebles para exteriores y tubos para el riego.</p> <p>Es uno de los tipos de plásticos más difíciles de reciclar, y la sustancia tóxica que lo integra es nonilfenol</p> <p>Constituye el 5% de residuos plásticos.</p>	

**LDPE
(Poliétileno de
baja densidad)**

Con este tipo de plástico se elaboran el film adhesivo, las bolsas de la compra, el plástico de burbujas, botellas más flexibles, bolsas de suero.

Pueden convertirse en el mismo producto de origen en su reciclado, además de tener otros usos como muebles, macetas, tubos o membranas aislantes.

Contiene las sustancias tóxicas ftalatos, aldehídos, cetonas, ácidos y carboxílicos.

Implica el 20% de los residuos plásticos en el planeta, uno de los porcentajes más elevados.



**PP
(Polipropileno)**

Están hechos los tapones de botellas, las pajitas, los tupperwares, las neveras portátiles, piezas de automóviles, lonas e incluso pañales o material médico como jeringas.

Tras su reciclaje puede constituirse como contenedores para transporte, equipos de jardinería, sillas de plástico, textiles, escobas, cubos de fregar o raspadores de hielo.

Contiene muchas sustancias tóxicas como ftalato, aldehídos, cetonas, ácidos, carboxílicos, fenol y sustancias perjudiciales estimulantes de la esclerosis.

Constituye el 19% de residuos plásticos.



**PS
(Poliestireno)**

Se encuentran en materiales térmicos como vasos para bebidas calientes, rellenos para embalaje, bandejas de comida, aislantes, piezas de electrodomésticos y juguetes.

Su uso tras el reciclado suele ser como aislamientos térmicos, material de oficina, perchas, macetas o cubos de basura.

Su nivel de reciclabilidad lo convierte en un material de difícil reutilización.

Contiene sustancias tóxicas: antimonio, bromo, estireno, etilbenceno, tolueno y benceno.

Representa el 6% de residuos plásticos en el medioambiente.



Fuente: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/reciclaje/tipos-de-plasticos-clasificacion-reciclaje>

Algunas de las principales características de la mayoría de los plásticos, aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos son:

- ✓ Bajo costo en el mercado
- ✓ Tienen una baja densidad
- ✓ Existen materiales plásticos permeables e impermeables
- ✓ Son aislantes eléctricos
- ✓ Son aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas
- ✓ Si se quema es muy contaminante
- ✓ Son resistentes a la corrosión y a la intemperie
- ✓ Resisten muchos agentes químicos
- ✓ Algunos se reciclan mejor que otros, que no son biodegradables ni fáciles de reciclar
- ✓ Son fáciles de trabajar

2.4.3 Identificación de los plásticos


El “Código de Identificación de Plástico”, creado por la Sociedad de la Industria de Plásticos en el año de 1988 es un sistema basado en símbolos y números del 1 al 7 que se coloca en cada material plástico para que de esta manera el sector industrial internacional y los consumidores puedan reconocer fácilmente el tipo de resina con el que está elaborado y su posibilidad de reciclaje (Figura 9). El código de Identificación es adoptado en México el 25 de noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América (Figura 10).




Figura 9. Código de identificación de resinas de plásticos (<https://www.umhsapiens.com/wp-content/uploads/2014/04/plasticos-01.jpg>).


Las categorías que se desarrollaron fueron las siguientes.:


Símbolo Internacional del Reciclaje





Formas de identificación de los Plásticos



 1
 PET o PETE



 2
 PEAD o HDPE


 3
 PVC o V


 4
 PEBD o LDPE


 5
 PP


 6
 PS



 7
 Abreviatura del material o OTROS


Clasificación de tipos de plásticos


Número de identificación	Abreviatura	Nombre
1	PET o PETE	Poli(etilen tereftalato)
2	PEAD o HDPE	Poli(etileno de alta densidad)
3	PVC o V	Poli(cloruro de vinilo)
4	PEBD o LDPE	Poli(etileno de baja densidad)
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	Cuando se encuentren identificados el o los materiales que constituyen el producto, se debe indicar la o las abreviaturas de éstos de acuerdo a la NMX-E-057-CNCP (Véase 2 Referencias), en caso contrario se deberá indicar la leyenda "OTROS".	


MATERIALES BIODEGRADABLES

PRODUCTOS PLÁSTICOS MÁS SEGUROS 2, 4 y 5


 HDPE


 LDPE



 PP





PETE

Las botellas marcadas con el código (1. PET o PETE) se deben utilizar solamente una vez, en sucesiva veces podría desprender DEHP, un ftalato tóxico.

PLÁSTICOS QUE HAY QUE EVITAR 3, 6 y 7


 PVC


 PS


 O

PVC o vinilos pueden contener ftalatos y Bisfenol A

espuma de poliestireno

puede contener Bisfenol A

Figura 10. Símbolo de identificación y clasificación de plásticos (PAOT, 2015).

Los plásticos que se encuentran dentro de los grupos del 1 al 6 se les denomina “commodities” ya que son los que más se consumen hoy en día, mientras que los plásticos que se encuentran en la categoría 7 suelen ser plásticos poco utilizados, muy especiales o de ingeniería. Dentro de estas categorías, hay algunas características muy concretas y en ocasiones comunes entre ellos:

- Plásticos de categoría 1: Son plásticos blandos y transparentes.
- Plásticos de categoría 2: Son plásticos blandos y opacos.

- Plásticos de categoría 3: Son plásticos con ligereza y flexibilidad, resistente al impacto y corrosión.
- Plásticos de categoría 4, 5 y 6: Resisten las temperaturas y pueden utilizarse en el microondas.
- Plásticos de categoría 7: Son una mezcla de varios plásticos que no son reconocibles de manera fácil o identificados anteriormente.

2.4.4 Bioplásticos

Los bioplásticos tienen su origen a partir de materias orgánicas renovables en vez de petróleo, según la International Standard Organization (ISO), los bioplásticos son definidos como *“aquellos plásticos que se degradan por la acción de microorganismos (biodegradables)”* (Figura 11). Son estructuras poliméricas que permiten mantener completamente la integridad física durante su manufactura, posterior almacenamiento, envasado, vida en estanterías y uso por el consumidor, pero al final de su vida útil son desechados y sufren cambios químicos por influencia de agentes ambientales y microorganismos que lo transforman en sustancias simples o en componentes menores que eventualmente se asimilan al medio ambiente (Ballesteros, 2014).

La mayor parte de la producción de bioplásticos se dedica al embalaje y envasado de alimentos, por su biodegradabilidad también se utilizan en otros campos como la agricultura, la construcción, los productos sanitarios, sistemas dispensadores de fármacos, implantes médicos o hilos de sutura (Vázquez Morillas et al., 2016).

Ventajas del bioplástico:

- ✓ Reducen la huella de carbono.
- ✓ Suponen un ahorro energético en la producción.
- ✓ No consumen materias primas no renovables.
- ✓ Reducen los residuos no biodegradables, que contaminan el medio ambiente.
- ✓ No contienen aditivos perjudiciales para la salud como ftalatos o bisfenol A.
- ✓ No modifican el sabor y el aroma de los alimentos contenidos.

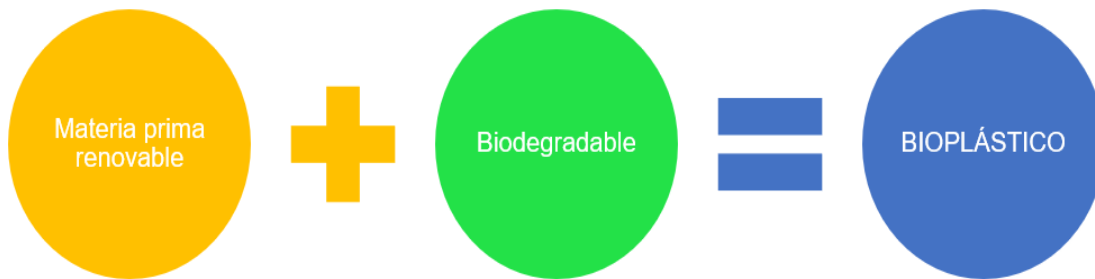


Figura 11. Composición de un bioplástico. Elaboración propia.

2.4.5 Cómo se producen los bioplásticos

Se producen a partir de productos vegetales como el maíz, la soja, la patata y la caña de azúcar que permiten sintetizar sustancias conocidas como ácidos polilácticos (PLA) que cuando se enfrían, toman el aspecto de un plástico tradicional, pero sin que tenga nada en común con él a nivel molecular.

Otra manera de obtener estos bioplásticos es a partir polihidroxicanoatos (PHA) logrados a partir de microorganismos.

2.4.6 Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables pueden fabricarse a partir de recursos renovables o de combustibles fósiles, dado que la biodegradabilidad es en función de su estructura química. El proceso de biodegradación plástica puede ser de manera aeróbica o anaeróbica, donde la principal característica es que se realice por medio de la presencia de microorganismos (bacterias, hongos o algas) capaces de descomponerlos por acción enzimática bajo condiciones ambientales normales del medio ambiente (Oliva Civera, 2012; Vázquez Morillas et al., 2016) donde al final del proceso se puede obtener CO₂, agua y biomasa celular bajo condiciones aerobias o CH₄, agua y biomasa en condiciones anaerobias (Figura 12).

De manera más robusta la norma de la American Society for Testing and Materials (ASTM D-5488-94d) define "biodegradable" como "capaz de sufrir descomposición a dióxido de carbono, metano, agua, compuestos inorgánicos o biomasa, siendo el mecanismo predominante la acción enzimática de microorganismos, que puede medirse mediante

ensayos estándar en un periodo especificado de tiempo que refleja las condiciones de eliminación disponible".

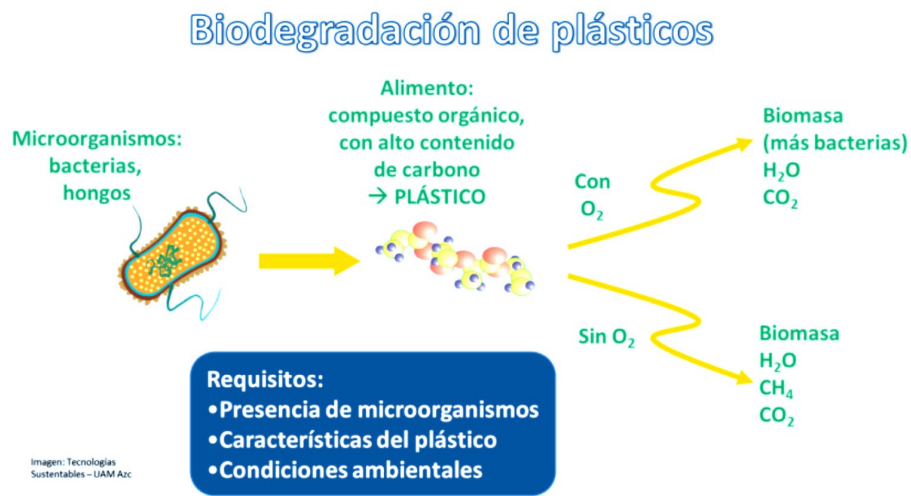


Figura 12. Proceso de biodegradación (Vázquez Morillas et al., 2016).

2.4.7 Problemática y daños directos de los plásticos

El efecto que tienen los productos plásticos en la economía mundial es fundamental; un consumidor promedio usa diversos productos plásticos de manera cotidiana, ya sea para consumo personal (ropa, muebles, artículos de oficina, utensilios de cocina, entre otros) o a través de otras actividades productivas, como la construcción, las comunicaciones, el transporte, el almacenamiento, etc. (Góngora Pérez, 2014). Si bien los beneficios sociales del plástico son de gran alcance, este valioso producto ha sido objeto de creciente preocupación por el medio ambiente.

Principalmente, la durabilidad del plástico lo convierte en un material tan atractivo de usar, pero también lo hace altamente resistente a la degradación por lo que la eliminación de estos residuos plásticos es una gran problemática tanto a nivel local como a nivel mundial. Sobre todo, los plásticos de un solo uso o desechables contribuye a los residuos municipales en un 10% de los residuos generados en todo el mundo (Cole et al., 2011).

Por otra parte, a nivel mundial Asia produce alrededor de 30% de plásticos de un solo uso y la región de América del Norte es responsable de la producción del 18% de plásticos. México produce cerca de 8 millones de toneladas de plásticos al año, de los cuales el 50% son de un solo uso y sólo un 6.7% se recicla (Garduño, 2021). Con base a la Organización

de las Naciones Unidas (ONU) si esta demanda de productos plásticos sigue en aumento, se estima que su producción alcanzará los 1,100 millones de toneladas para el año 2050 (PNUMA, 2021).

En los entornos de todo el mundo incluidos los océanos, las aguas dulces, los suelos y sedimentos, el plástico constituye entre el 80 al 85% de basura vertida (Figura 13) (Hoellein et al., 2019). Se calcula que en los últimos años de la cantidad producida de estos materiales se estima que alrededor de 13 millones de toneladas llegan a ríos y océanos causando daños irreparables tanto a ecosistemas como a organismos con capacidad limitada de adaptación (Giraldez et al., 2020). Una vez que estos desechos entran en los sistemas acuáticos contribuyen a la pérdida de biodiversidad, representan una amenaza potencial para la salud y las actividades humanas y se identifican junto con el cambio climático como un problema emergente que podría afectar la capacidad humana para conservar la diversidad biológica en un futuro cercano (Thompson et al., 2009).



Figura 13. Desperdicios plásticos Foto ONU/Martine Perret.

Fuente: <https://news.un.org/es/story/2014/06/1304861>. Consultada el 24 de junio de 2021.

La contaminación por plásticos en los ecosistemas marinos fácilmente interactúa con la vida oceánica y representa una amenaza para la fauna silvestre y para el ambiente en general.

Se sabe que cerca de 700 especies marinas interactúan con desechos plásticos a lo largo y ancho del mundo, y se calcula que el 17% de esas especies están incluidas en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Rivera-Garibay et al., 2020).

Entre los principales problemas que ocasionan los plásticos se mencionan los descritos por Vázquez Morillas et al., 2016:

- A. Los plásticos pueden formar una barrera física que altere el crecimiento o el metabolismo de los seres vivos, ocasionando bloqueos o estrangulamiento.
- B. Muchos de los compuestos tóxicos presentes en el ambiente son hidrofóbicos, es decir, no se disuelven o transportan fácilmente en el agua. Cuando los residuos plásticos llegan a los ambientes acuáticos, estos compuestos se adhieren a su superficie. Se ha comprobado que las partículas de poliestireno, polietileno, polipropileno y policloruro de vinilo dispersas en el mar pueden tener adheridos hidrocarburos, pesticidas y otros contaminantes persistentes.
- C. Además de favorecer la distribución de los contaminantes, los plásticos pueden convertirse en vehículos de ingreso de los contaminantes cuando son ingeridos por animales.
- D. Pueden transportar diversos microorganismos entre diferentes ecosistemas, afectando el equilibrio de los mismos.
- E. Tienen el potencial de reducir la eficiencia y la productividad de la pesca comercial y la acuicultura a través de enredos y daños físicos que representan un riesgo directo para las poblaciones de peces y la acuicultura. Siendo el impacto más importante la pesca fantasma con artes de pesca abandonados, perdidos o descartados.

Los desechos plásticos también constituyen un riesgo para la economía y comunidades; se han registrado daños sociales y económicos relacionados con la existencia de basura en el mar ya que se ve comprometido el valor recreacional, estético y educacional de las áreas marinas, aparte de ser un riesgo para la salud pública (Figura 14) (Rivera-Garibay et al., 2020; PNUMA, 2021).

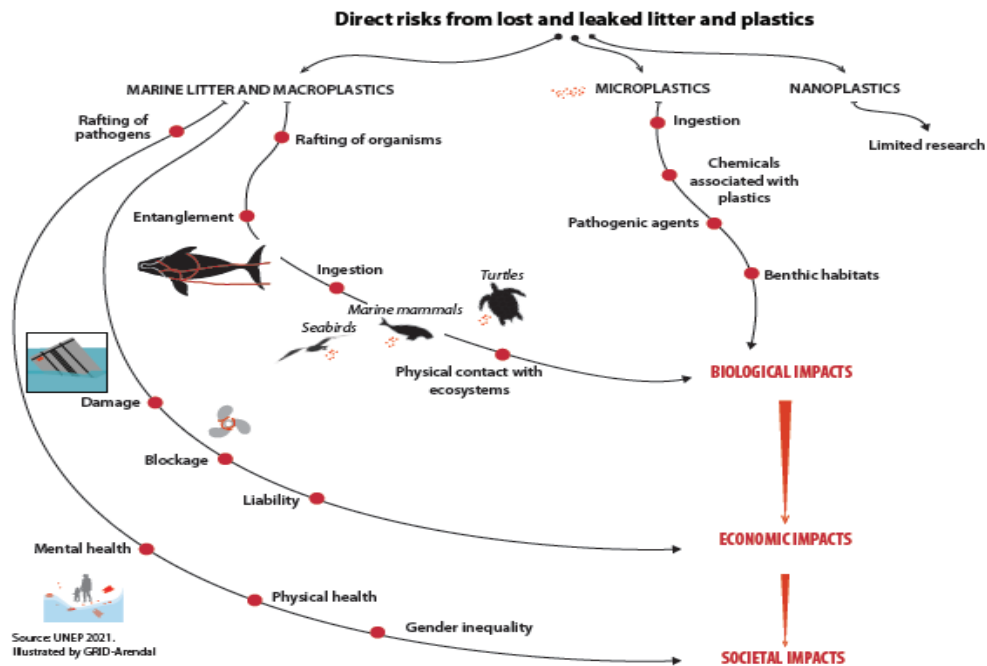


Figura 14. Daños e impactos directos de la basura plástica (PNUMA, 2021).

Otra problemática de los plásticos se centra en los aditivos químicos que se les adicionan los cuales pueden ser perjudiciales para la salud humana ya que están asociadas con mutaciones o algún tipo de cáncer; y una vez en el océano pueden entrar en la cadena alimentaria.

Ejemplos de sustancias aditivas:

- Los ftalatos se producen en grandes volúmenes para ser utilizados como plastificantes, lubricantes y disolventes.
- Se estima que más del 90% del bisfenol A (BPA) se ha utilizado como monómero en la producción de diferentes polímeros como resinas epóxicas y policarbonato.
- Los policarbonatos se usan en botellas de plástico, materiales de envasado de alimentos, materiales de construcción, medios ópticos y electrónicos.
- Las resinas epoxi se usan en recubrimientos en polvo, electrónica, recubrimientos de latas y bobinas y materiales automotrices.
- Los retardadores de llama bromados, el antimonio y los metales pesados cadmio, cromo, mercurio y plomo también se encuentran presentes en las carcasas de plástico de los equipos eléctricos y electrónicos desechados al final de su vida útil.

2.4.8 Principales fuentes de ingreso de basura plástica

Fuentes terrestres

Muchos de los posibles caminos a lo largo del ciclo de vida de la basura plástica en su viaje de tierra a mar ingresan principalmente a través de medios acuáticos (ríos) y fuentes terrestres que incluyen: la agricultura (tuberías de riego, mallas protectoras, cubiertas de invernaderos, contenedores, vallas, gránulos para el suministro de productos químicos y fertilizantes, recubrimientos de semillas y cobertura vegetal); edificación y construcción (tuberías, pinturas, pisos, techos, aislantes y selladores); transporte (neumáticos, superficies de carreteras y marcas viales); y una amplia variedad de productos de cuidado personal, farmacéuticos y sanitarios, incluido el equipo de protección personal utilizado durante la pandemia de COVID-19 (PNUMA, 2021).

La escorrentía sobre la tierra, los flujos fluviales, los flujos de aguas residuales y aguas grises, las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), el transporte aéreo, los vientos y la entrada directa desde fuentes oceánicas, como la pesca y el transporte marítimo son otro ejemplo de fuentes de ingreso de plásticos (PNUMA, 2021).

Fuentes marinas

Las principales fuentes marinas de plásticos incluyen la pesca y la acuicultura puesto que la mayoría de los equipos usados para estas actividades son de polímeros (selladores, cajas de almacenamiento, embalajes, boyas, cabos, líneas, redes de pesca, diversos tipos de estructuras y artes de pesca), también las operaciones y el mismo turismo basado en barcos (bienes personales olvidados o equipos de buceo perdidos) (PNUMA, 2021).

En ambas fuentes de acceso, una vez ingresados al medio acuático, dependiendo de la densidad del material plástico y su tamaño, estos permanecerán a flote durante una parte determinada de su ciclo de vida o se pueden volver pesados por la bioincrustación y comenzarán a hundirse en la columna de agua y en última instancia llegar al fondo del océano (Figura 15) (Amaral-Zettler et al., 2020).

Dados los aumentos previstos en la producción de plásticos se prevé que la basura plástica y los flujos de plásticos a los ambientes marinos desde fuentes terrestres continúen creciendo a menos que se establezcan nuevas estructuras de gobernanza y gestión. Los tipos de estructuras y marcos necesarios podrían incluir estrategias eficaces de gestión del ciclo de vida y del final de la vida y responsabilidad social corporativa (PNUMA, 2021).

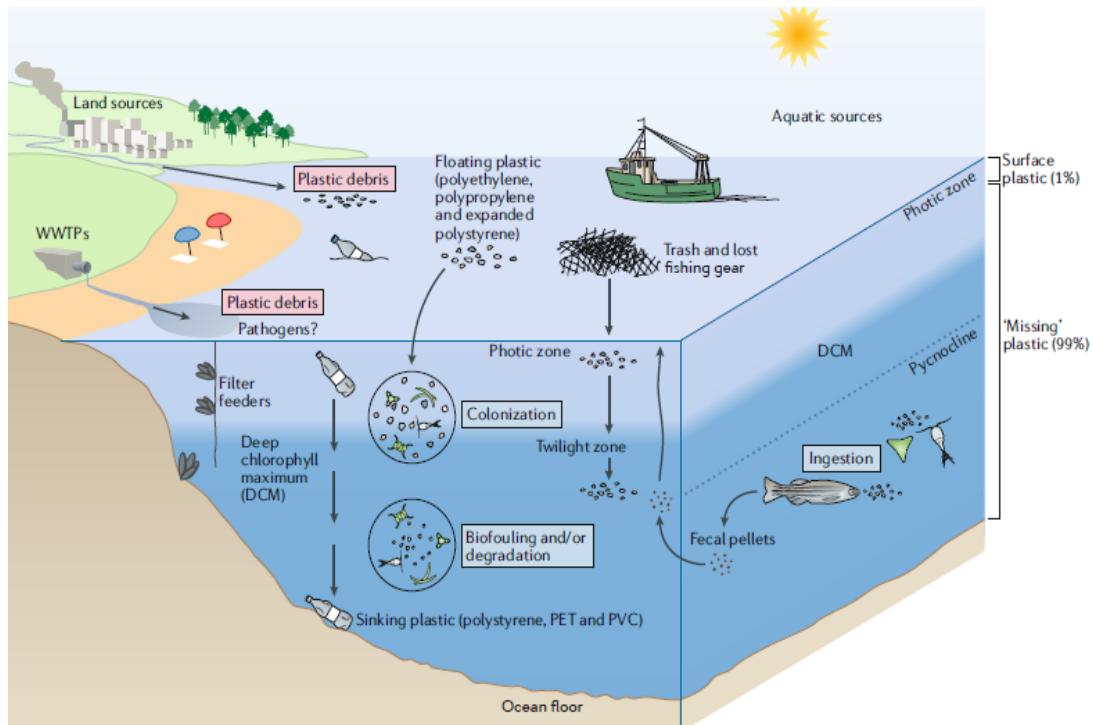


Figura 15. Vías de entrada de la basura plástica y representación de los posibles caminos a lo largo del ciclo de vida de la basura plástica en su viaje de la tierra al mar (Amaral-Zettler et al., 2020).

2.4.9 Reciclaje de la basura plástica en México

La mayoría de las sociedades han comenzado a darse cuenta que el problema de la contaminación por plásticos no es por las características de los mismos, sino por el manejo de estos residuos que los humanos hacen de ellos al final de su vida útil (Guerra-Garduño, 2022). Existen diferentes estrategias para manejarlos, que buscan disminuir su cantidad y los impactos que generan en el ambiente. La mejor opción es la reducción, en la cual, se modifican los procesos, actividades y patrones de consumo, de forma que se disminuya la generación de residuos. A esta opción le siguen la reutilización, el reciclaje, la valorización energética, el tratamiento y la disposición en rellenos sanitarios (Figura 16) (Vázquez Morillas et al., 2016).



Figura 16. Jerarquía del manejo de residuos. Adaptado de Vázquez Morillas et al., 2016.

México, a través de la SEMARNAT, impulsa una política ambiental en materia de gestión sostenible de plásticos que contribuya a contar con mejores prácticas en el manejo de los residuos post-consumo que favorezca el aprovechamiento estableciendo estrategias, metas y acciones para reintegrarlos a la cadena productiva cumpliendo con criterios ambientales y de economía circular; reconociendo la importancia de involucrar a los consumidores, industria, recicladores y autoridades para tener un desarrollo sustentable participativo. Sin embargo, en México el porcentaje de reciclaje son bajos y del total de residuos valorizables sólo se recupera y recicla una pequeña fracción de los residuos generados (6.1%) (SEMARNAT, 2020).

Reciclar es una de las alternativas utilizadas en la reducción del volumen de los residuos sólidos. Se trata de un proceso que consiste en la transformación de los residuos a través de distintos procesos para volver a utilizarlos y poder elaborar otros productos o volver a fabricar los mismos (Tabla 4); evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (Vázquez Morillas et al., 2016).

Aunque el objetivo del reciclaje es la conservación del medio ambiente, los residuos que se reciclan deben obedecer a las leyes del mercado, es decir, la oferta y la demanda. Actualmente, se ha establecido una metodología novedosa para clasificar el nivel de recuperación de residuos valorizables (Tabla 5), entre ellos a los plásticos, considerando facilidad de almacenaje, manejo, acondicionamiento y, sobre todo, mercado para el subproducto (Lugo et al, 2019).

Tabla 4. Los 4 procesos de reciclaje de plásticos

Tipo de reciclaje	Descripción
Reciclaje primario o re-extrusión	También se conoce como reciclaje <i>in situ</i> o re-procesamiento. Se realiza al reintroducir los residuos, recortes y rebabas (de origen post-industrial), que se generan durante la producción con el fin de fabricar productos de material similar. Es una práctica común en muchas plantas productoras de artículos de plástico, dado que permite reaprovechar residuos limpios y claramente identificados, disminuyendo la necesidad de materias primas.
Reciclaje secundario o mecánico	Mediante procesos físicos en los que no se modifica la estructura química o la composición de los plásticos. Pueden realizarse a partir de residuos post-industriales o post-consumo, que mediante tratamientos térmicos son transformados nuevamente. Estos incluyen procesos de corte o molienda, limpieza, extrusión, enfriamiento y almacenaje hasta su posterior comercialización.
Reciclaje terciario o químico	Mediante pirólisis, glicólisis, alcoholólisis o hidrólisis se convierten los plásticos en los monómeros iniciales o en productos intermedios de bajo peso molecular para que vuelvan a ser utilizados para la polimerización o como materias primas por la industria petroquímica. Sus mayores ventajas son la posibilidad de tratar plásticos contaminados y mezclados, sin necesidad de un pretratamiento complejo, así como la posibilidad de obtener productos de alto valor agregado. Entre las desventajas se encuentran el alto requerimiento energético, la necesidad de adquirir un equipo costoso que requiere mantenimiento.
Reciclaje cuaternario o valorización energética	También conocido como valorización energética, recupera de forma directa la capacidad calorífica de los residuos plásticos ya que estos liberan mucha energía cuando reaccionan con el oxígeno durante la combustión, es decir, son muy buenos combustibles, comparables en algunos casos con otros derivados del petróleo.

Fuente: Vázquez Morillas et al., 2016 y Oliva-Civera, 2012

Tabla 5. Criterios de recuperación de residuos para su reciclaje

NIVEL	CRITERIO
R0	No se recupera
R1	Difícil de recuperar por el bajo precio de venta, dificultad de almacenamiento o acondicionamiento especializado
R2	Se recupera en lugares específicos por el acondicionamiento requerido para su comercialización que solo algunas instalaciones pueden proporcionar como son las plantas de selección
R3	Su recuperación es estacional debido a la oferta y demanda
R4	No todo se recupera porque requiere cierto acondicionamiento
R5	Se recupera fácilmente y tiene alto precio de venta

Fuente: Adaptada de Lugo et al., 2019

En la tabla elaborada por Lugo et al., 2019 del “Nivel de recuperación de los residuos sólidos” coloca a los principales plásticos en el número 23 de subproductos que componen los residuos sólidos urbanos y su nivel de recuperación:

Tabla 6. Nivel de recuperación de los residuos sólidos

Clasificación	Tipo de polímero	Nivel de recuperación
Plásticos	1- PET (-tereftalato de polietileno)	R5
	2- HDPE-PEAD (polietileno de alta densidad)	R4
	3- PVC (policloruro de vinilo)	R0
	4- LDPE-PEBD (polietileno de baja densidad)	R2
	5- PP (polipropileno)	R1
	6- PS (poliestireno)	R1

Fuente: Adaptada de Lugo et al., 2019

En México los plásticos constituyen el 12.88 % de los residuos sólidos urbanos, aunque debido a su baja relación masa/volumen, su proporción en el espacio ocupado en los rellenos sanitarios o tiraderos es hasta 2.5 veces mayor. Su presencia en los residuos contribuye de manera importante a la saturación de los rellenos, lo que a la larga lleva a buscar sitios de disposición cada vez más alejados de los puntos de generación, aumentando el costo del manejo de los residuos.

No existe una contabilidad precisa del volumen de plásticos que se reciclan en México, debido principalmente a que una gran parte de los residuos plásticos se separa en actividades de pepena, que no son registradas, y a que una proporción significativa de lo

que se colecta se exporta. Sin embargo, en 2011 se estimó que se reciclaba el 11% de los residuos plásticos post-consumo (cuando son desechados directamente por los usuarios), y que un 2% se destinó a la recuperación de energía. El PET se encuentra como el plástico que más se recicla con el 22.1%; el polipropileno con el 18.2%; el PVC con el 2.1% y el poliestireno con el 1.8%; mientras que el 4.6% corresponde a otros polímeros (Vázquez Morillas et al, 2016).

La proporción mayor de los plásticos reciclados se destina a la fabricación de envases y embalajes y aplicaciones en la industria de la construcción. El resto se utiliza para fabricar otros artículos de consumo directo o elementos usados en la manufactura, en productos tan diversos como los textiles y las autopartes (Figura 17) (PlasticsEurope, 2020).

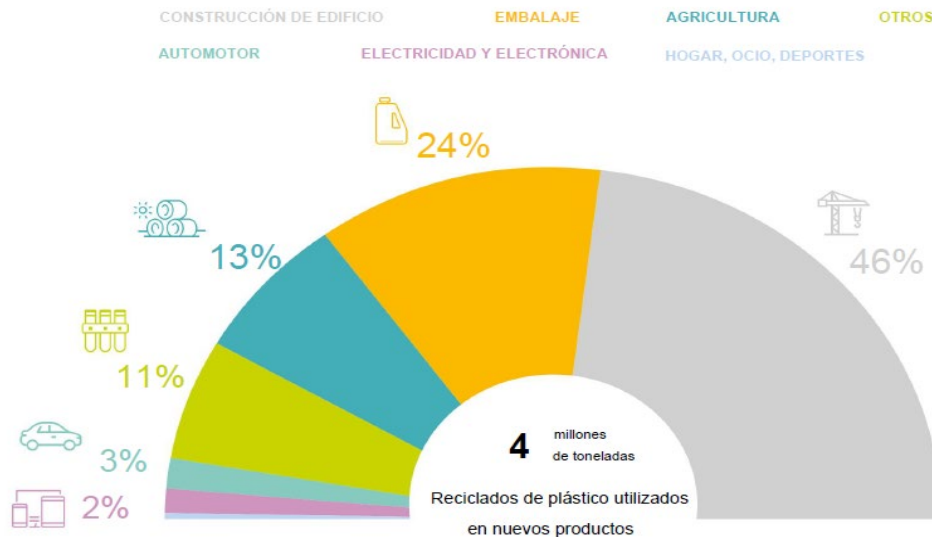


Figura 17. Destino de los plásticos reciclados (PlasticsEurope, 2020).

2.4.10 Gestión de residuos plásticos en México

El gobierno mexicano, con base en el artículo 4° constitucional, publicó en 1980 la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para:

- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar.
- Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación
- La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.

- La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas.
- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales.
- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.

En la Figura 18 se enuncian las etapas principales de la gestión de los residuos sólidos RSU y de manejo especial (RME), y de los residuos plásticos que pueden ser parte de ambas corrientes.

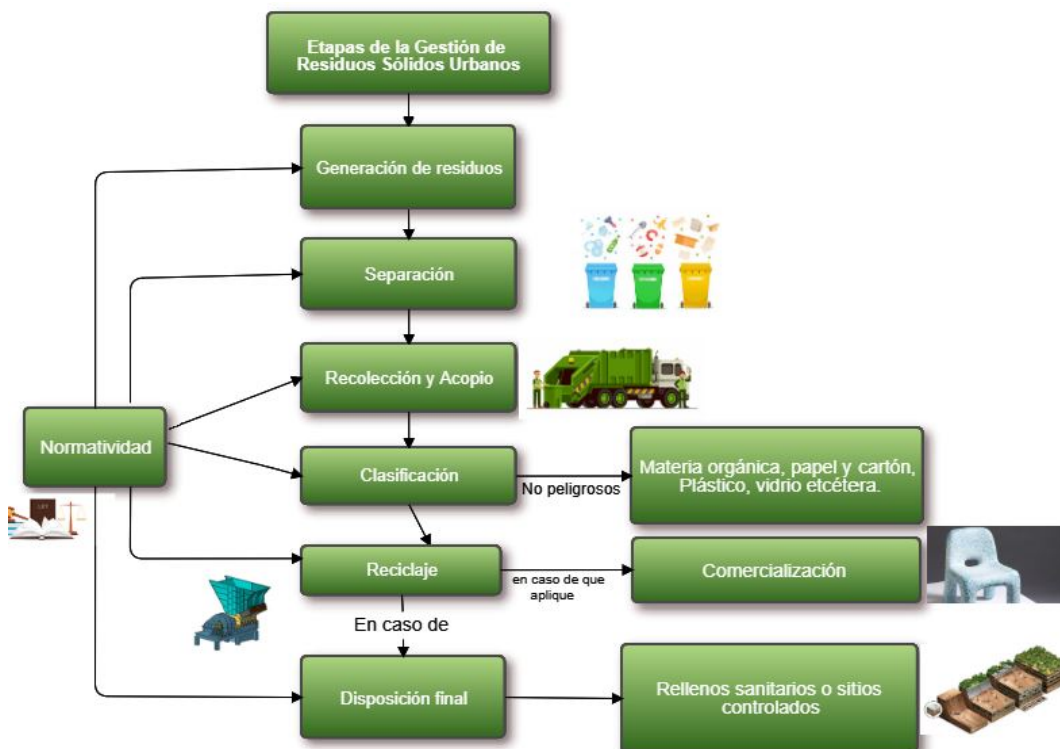


Figura 18. Etapa de la gestión de residuos entre ellos el plástico en México (SEMARNAT, 2020).

Fue en 2003 cuando se publicó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) la cual determina la responsabilidad de productores, exportadores, importadores y distribuidores de distintos materiales (entre ellos los plásticos de un solo uso, como envases, empaques, bolsas, entre otros) de establecer planes de manejo que permitan la reducción y valorización de estos residuos; mediante acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta su

disposición final. Para 2006 se logra instrumentar, con la participación del sector privado y el gobierno, un plan de manejo colaborativo dirigido a la reutilización de los envases plásticos, hecho que convirtió a México en líder de América en el acopio y reciclaje de PET. La unidad económica más representativa que se sumó a dicho cambio fue Asociación Civil Ecología y Compromiso Empresarial (ECOCE) (SEMARNAT, 2020).

Por su parte, los organismos internacionales empezaron en la concientización de los principales países productores de plástico, sobre su manejo y cultura hacia la mitigación de plásticos de un solo uso. En este sentido, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), desde los inicios de la década de los 2000, ha realizado campañas para promover el uso consciente de plásticos. Otra iniciativa creada para atender problemáticas ambientales referentes a la basura plástica fue el acuerdo global para reducir el consumo de plásticos de un solo uso, impulsada por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el cual fue firmado por los más de 200 países adscritos a las Naciones Unidas (entre ellos México) y en el que se comprometieron a implementar políticas de reducción de uso. Frente a dicho panorama los gobiernos locales de nuestro país publicaron *“Avances en la regulación estatal en materia de residuos plásticos”* para diversos estados de la república (SEMARNAT, 2020).

2.4.11 Economía Circular de los plásticos

El concepto de economía circular creado en 2010, se relaciona estrechamente con el concepto de sustentabilidad. El objetivo de esta nueva economía es que los materiales, los productos y los recursos naturales se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible, reduciendo la generación de residuos mediante la creación y el replanteamiento de un eficaz uso del material cuando llega al fin de su vida útil, acompañado con el aporte de la innovación y las tecnologías. En este sentido, se inspira en la naturaleza, en donde no existe el concepto de desperdicio (todo lo que la naturaleza genera es un insumo o alimento para otro organismo); es un flujo cerrado en lo que todo fluye; es un modelo más sostenible y alternativo a la economía lineal tradicional la cual sigue la ruta de extraer recursos, fabricar, usar y desechar (ECOPLAS, 2019).

En el caso del plástico, un enfoque de economía circular sería una alternativa para reducir su uso, donde su visión sería un modelo sostenible en el que los plásticos permanecen en circulación durante más tiempo y se reutilizan y reciclan al final de su vida útil. Para lograr

esto, las tecnologías de recolección, clasificación y reciclaje deben mejorarse para obtener una mayor calidad y cantidad de plásticos reciclados, lo que facilitará una economía circular para los plásticos. La industria del plástico está liderando el camino en esta transición, desde diseños de productos mejorados que permiten la reutilización y el reciclaje, hasta la innovación en nuevas tecnologías, como materias primas de base biológica y captura de carbono y reciclaje químico (Figura 19) (PlasticsEurope, 2022).

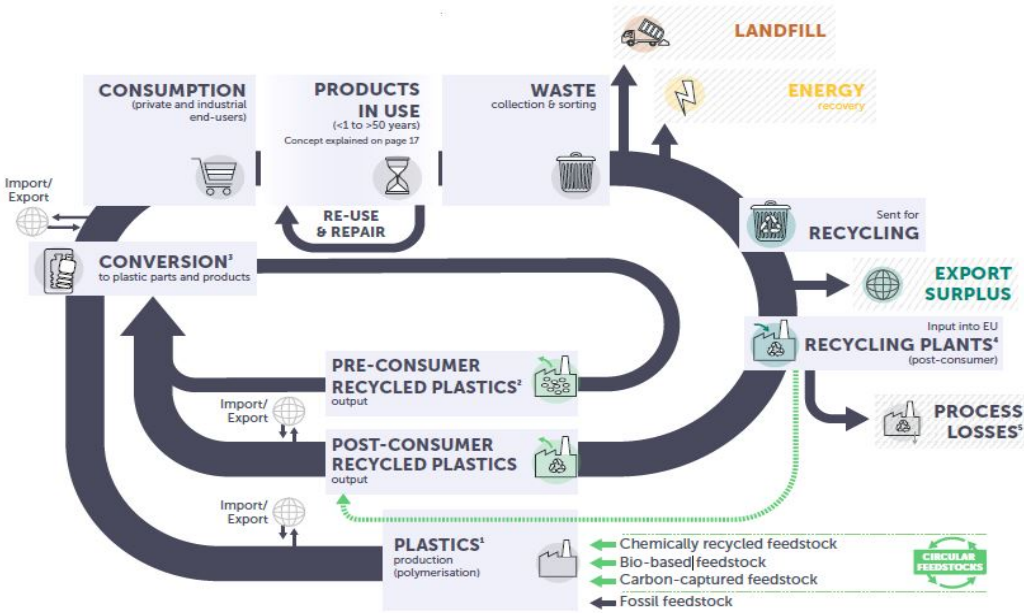


Figura 19. Proceso de economía circular de plásticos (PlasticsEurope, 2022).

“-La economía circular de los plásticos es un sistema en el que los plásticos se producen, convierten, utilizan y gestionan de forma sostenible. Esto significa fomentar el uso de materias primas circulares, crear productos de diseño ecológico para aumentar el contenido reciclado, facilitar la reutilización y la reparación, y gestionar los desechos plásticos para convertirlos en nuevos recursos para reducir las materias primas de origen fósil”-PlasticsEurope, 2022.

2.5 Microplásticos (MP)

Los desechos plásticos mayores se tienden a descomponer de una forma progresiva en el medio ambiente por medios físicos, químicos y biológicos hasta dar lugar a fragmentos más pequeños llamados “microplásticos” en el rango de tamaño milimétrico a submilimétrico. Estos pequeños fragmentos de plástico flotante en la superficie del océano se informaron por primera vez en la literatura científica a principios de la década de 1970 siendo objeto de un número creciente de publicaciones debido a sus efectos biológicos potencialmente dañinos al medio ambiente global y a la vida silvestre (Zhang et al., 2019).

Su tamaño oscila en el rango de 1 nm a <5 mm (GESAMP, 2015). Una definición científicamente más rigurosa de las piezas de plástico podría referirse a rangos de tamaño nano, micro, meso, macro y mega, aunque esto aún no se ha propuesto formalmente para su adopción por parte de la comunidad científica (Tabla 7). La definición del tamaño de los microplásticos se discutió en el primer taller de “Investigación internacional sobre la ocurrencia, los efectos y el destino de los desechos marinos” en 2008 organizado por la NOAA, en este taller los participantes adoptaron esta definición para incluir una amplia gama de partículas pequeñas que la biota podría ingerir fácilmente y que estas partículas presentarían diferentes tipos de amenazas a comparación con los plásticos de mayor tamaño (GESAMP, 2015 y 2016).

Tabla 7. Categorías de tamaños de piezas de plásticos

Descriptor	Tamaño relativo	Rango de tamaño	Unidades de medición
Mega-	muy largo	> 1 m	metros
Macro-	largo	25 - 1000 mm	metros, centímetros, milímetros
Meso-	mediano	5 - 25 mm	centímetros, milímetros
Micro-	pequeño	< 5 mm	milímetros, micrones
Nano-	extremadamente pequeño	< 1 μ m	nanómetros

Fuente: Adaptado de GESAMP, 2019

2.5.1 Tipos de microplásticos

- *Microplásticos primarios* se originan directamente de la manufactura que lo produce con el propósito de llevar una función específica, por ejemplo, estos plásticos se utilizan normalmente en pastas dentales y principalmente en limpiadores faciales y cosméticos utilizados como exfoliantes que han reemplazado a los ingredientes naturales utilizados tradicionalmente. Desde su autorización dentro de los cosméticos en la década de 1980, el uso ha aumentado drásticamente y estos se comercializan como “microperlas” que pueden variar en forma, tamaño y composición según el producto (Cole et al., 2011). Otro tipo de microplástico primario son los llamados “nurdles” o “lágrimas de sirena”, los cuales son pequeños gránulos o pellets fabricados de resina que se utilizan para hacer casi todos los productos plásticos que usamos. Se estima que 230,000 toneladas pueden verterse a los océanos de todo el mundo cada año y una vez en el ambiente son difíciles de eliminar, duran mucho tiempo y se fragmentan convirtiéndose en microplásticos aún más pequeños (Briz, 2019).
- *Microplásticos secundarios* representan el resultado del desgaste o la fragmentación de macroplásticos tanto durante el uso como después de su pérdida en el medio ambiente (Li et al., 2021), entre ellos se encuentran las espumas, los filamentos, films, fragmentos y fibras (Acosta González et al., 2022).



Figura 20. Tipos de microplásticos a) Nurdles y b) microplásticos secundarios.

Fuente: <https://www.mingasporelmar.org/> y <https://revistabioika.org/es/econoticias/post?id=36>. Consultada el 12 de enero del 2021.

Ambos tipos de microplásticos están siendo estudiados cada vez más, pues se estima que su duración es de 3 y 10 años en el medio, aunque algunos pueden durar entre 30 y 50 años si presentan más aditivos en su composición (Li et al., 2020).

2.5.2 Distribución de microplásticos

Se han encontrado microplásticos ampliamente distribuidos a lo largo de cuerpos de aguas continentales (Yustres et al., 2020; Wang et al., 2021), playas (Retama et al., 2016), océano profundo (Van Cauwenberghe et al., 2013; Katija et al., 2017), sedimento marino (Falahudin et al., 2020), aguas polares (Lusher et al., 2015), suelos (Van den Berg et al., 2020) y la atmósfera (Hoellin et al., 2019). Asimismo, se ha documentado la presencia de microplásticos a lo largo de los arroyos y encontrando una contaminación más severa en los ríos principales del mundo cuando estos fluyen a través de zonas urbanizadas (Di y Wang, 2018).

Es importante destacar que los arroyos y ríos no solo son una vía de aporte o distribución de microplásticos al sistema oceánico, sino que, además, pueden actuar como acumuladores de microplásticos ya que estos fragmentos se encuentran en mayor abundancia en los sedimentos bentónicos (de cuatro a cinco veces más) en comparación con la columna de agua; esto es debido a la combinación de diversos factores, como la acción del clima, por lo que sufren procesos de oxidación de manera acelerada lo que sugiere que los sedimentos son un sumidero para los microplásticos y su distribución será desigual porque depende de factores como la acción de los vientos y corrientes (Hoellein et al., 2019 y Acosta González et al., 2022).

2.5.3 Mecanismos de degradación de microplásticos

La mayoría de los plásticos convencionales pueden persistir en ambientes acuáticos durante un tiempo considerable, y la fragmentación o degradación ocurrirá si están sujetos a las corrientes hídricas, los vientos y sobre todo a la radiación ultravioleta (UV) que facilita la degradación oxidativa de los polímeros haciendo que los desechos plásticos generalmente se decoloren y en consecuencia se vuelvan débiles y quebradizos con el tiempo (GESAMP, 2015 y GESAMP, 2019). Así mismo, otros factores como procesos físicos (intemperización), químicos (NOC) y biológicos (bioincrustación) favorecen esta degradación y permiten que estos fragmentos se depositen o se entierren en los sedimentos (Figura 21) (Cashman et al., 2020).

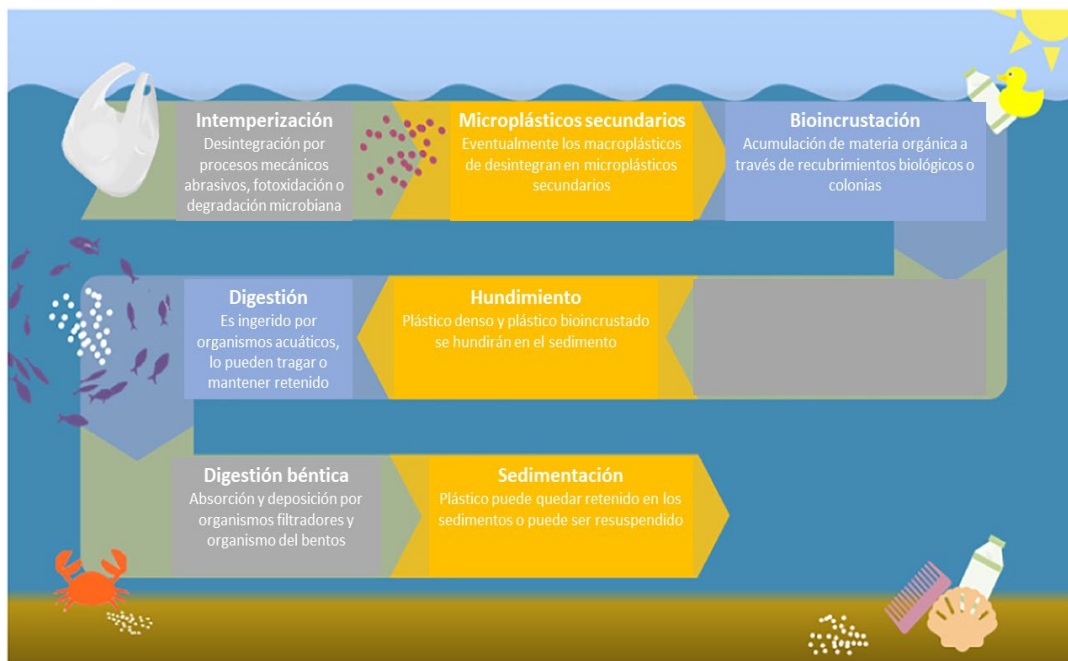


Figura 21. Mecanismos de degradación para los microplásticos en ambientes marinos. Adaptado de Cashman et al., 2020.

2.5.4 Efectos dañinos por microplásticos

Fauna

Constituidos por una amplia gama de polímeros y aditivos químicos, los microplásticos se han registrado en una gran variedad de organismos acuáticos, desde pequeños invertebrados (corales, poliquetos, equinodermos, moluscos), principales vertebrados (peces, aves) y hasta grandes mamíferos (ballenas y delfines) que, una vez ingeridos pueden atravesar la membrana celular y translocar entre tejidos produciendo lesiones físicas como: inflamación y daño celular, bloqueo o daño a los órganos digestivos, contribuir a la ilusión de saciedad, reducir la ingestión, comprometer la nutrición y la energía, causar asfixia, heridas internas o externas, llagas ulcerosas, debilitamiento, e incluso provocar la muerte (Figura 22). Esta ingesta es propiciada tanto por el tamaño pequeño de las partículas como el color, ya que en algunos casos propicia a que estos se confundan con las presas y sean ingeridas por el nivel trófico superior (Eerkes-Medrano et al., 2015, Zhang et al., 2019, Acosta González et al., 2022; Zambrano, 2022).

Además de potenciar efectos adversos por la ingestión de los propios microplásticos, estos mismos contaminantes emergentes pueden actuar como un medio para concentrar y

transferir químicos y sustancias persistentes, bioacumulativas y tóxicas como: bifenilos policlorados (BPC), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), metales pesados (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb y Zn), pesticidas y herbicidas e incluso antibióticos (sulfadiazina, tetraciclina y trimetoprima) dentro de la misma cadena trófica o pueden acumularse en los tejidos y biomagnificarse en depredadores superiores (Eerkes-Medrano et al., 2015; Beaumont et al., 2019).

Estas sustancias químicas se adsorben en la superficie del microplástico desde el entorno en el que se encuentran dependiendo de sus propiedades como la polaridad y el grado de cristalinidad o la electronegatividad que influyen en la capacidad del material para adsorber estos contaminantes o mediante la adhesión en su manufactura, y así interferir con procesos biológicamente importantes y contribuir a una alteración endocrina afectando la movilidad y crecimiento, causando estrés fisiológico, reducción de la fertilidad y fecundidad, cambios en la reproducción, disminución de la tasa de supervivencia de progenie, estrés hepático y un mal desarrollo de los organismos que los ingieren (Cole et al., 2011, Acosta González et al., 2022).

El riesgo por el consumo de microplásticos por la biota depende del número y el tipo de partículas, el tiempo de exposición, la concentración y el tipo de contaminantes asociados a los microplásticos, así como la fisiología y la historia de vida del organismo (Zambrano, 2022).

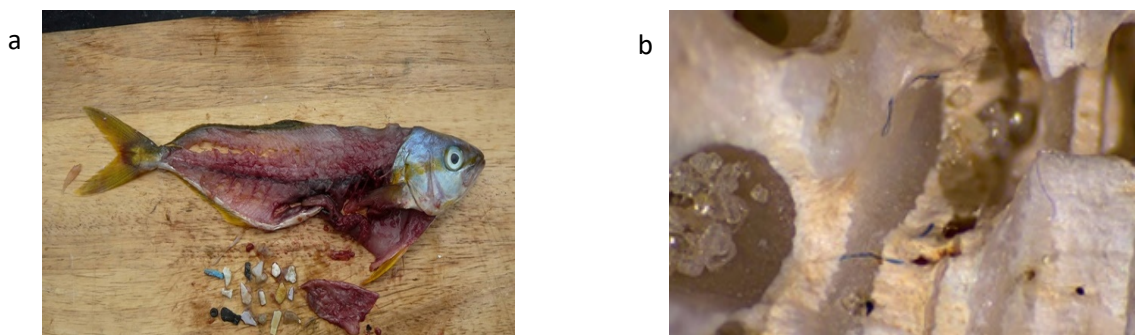


Figura 22. Presencia de microplásticos en fauna a) pez arcoíris y b) fibras en ostras.
Fuente: <https://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/resource-detail/es/c/1046481/>.
Consultada el 21 de septiembre de 2021.

Ser humano

Es importante destacar que existe cierta interacción entre los microplásticos y los seres humanos, siendo la principal interacción la ingesta de alimentos como mariscos, principalmente los moluscos bivalvos, debido a que en la mayoría de los casos se consume todo el organismo y estos microplásticos por ende se encuentran en el tracto digestivo. En cambio, las probabilidades de ingesta de microplásticos a partir del consumo de pescados son bajas, ya que usualmente no suele ser consumido el organismo entero y por ende el tracto digestivo. Sin embargo, ambos casos representan una amenaza para la seguridad alimentaria (Figura 23) (Acosta González et al., 2022 y Borges et al., 2020).

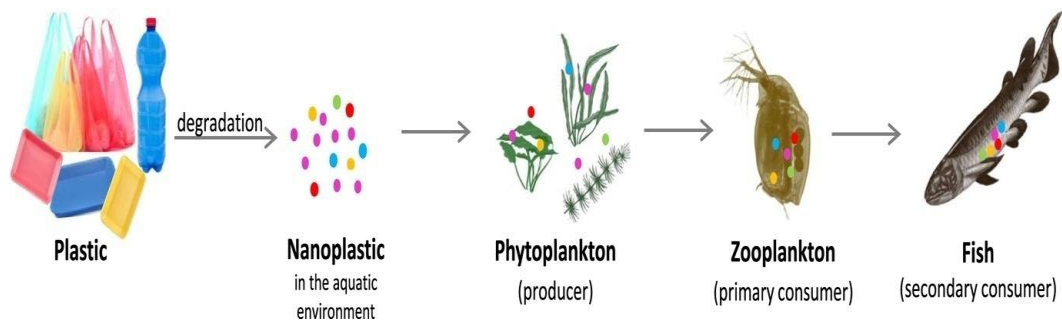


Figura 23. Acumulación de microplásticos en la cadena alimenticia (Morillo-Velarde Martínez, 2021).

No solo la ingesta es la vía de acceso de microplásticos al ser humano; se han identificado diversas rutas (Figura 24) por las cuales los microplásticos pueden afectar la salud humana. Entre ellas se encuentran estudios donde se registra la presencia de microfibras presentes en el aire, especialmente en interiores de los hogares o lugares de trabajo, las cuales son respirables y lo suficientemente pequeñas para penetrar profundamente en el pulmón humano causando enfermedades pulmonares, cardíacas, autoinmunes e incluso cáncer; algunos expertos relacionan estos efectos a los causados por la exposición al asbesto (PNUMA, 2021). Estudios más actuales arrojan la presencia de microplásticos en la placenta humana registrando 12 fragmentos en el rango de tamaño entre 5-10 μm con forma esférica identificados como polipropileno y sustancias químicas como pigmentos que se usan para revestimientos, pinturas, adhesivos, cosméticos y productos para el cuidado personal (Ragusa et al., 2021); mientras que, en la sangre humana se registró una concentración de 1,6 $\mu\text{g/ml}$ de microplásticos, entre ellos polímeros como: poli (metacrilato de metilo) (PMMA), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno (PE) y tereftalato de polietileno (PET) (Leslie et al., 2022).

Otros peligros para la salud está asociada con los métodos de eliminación de desechos, por ejemplo, la incineración de dichos elementos causa desprendimiento de humos que llevan consigo materiales peligrosos y cancerígenos incluidos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), dioxinas y furanos, plomo (utilizado como estabilizador de plástico) y retardantes de llama que pueden llegar a ocasionar trastornos neuronales, hormonales, enfermedades respiratorias, cardiovasculares y metabólicas (PNUMA, 2021).

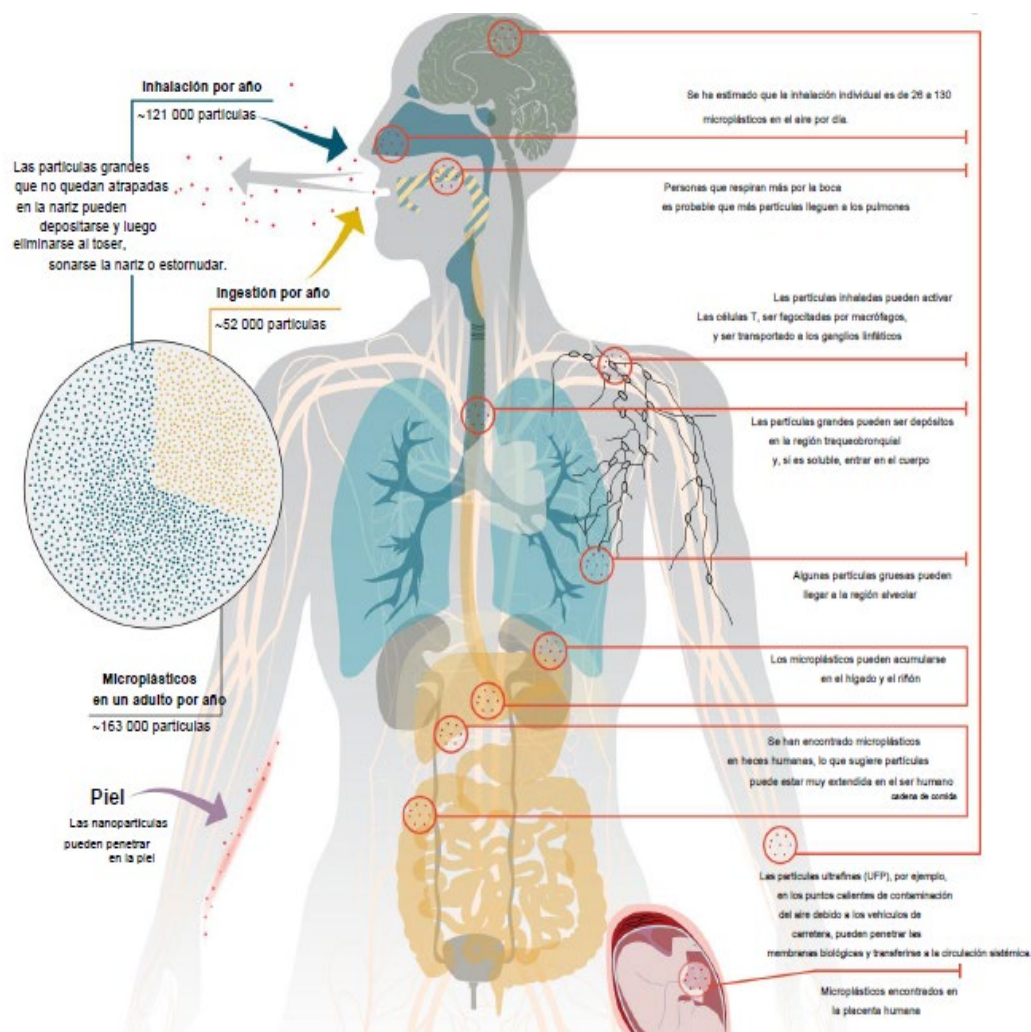


Figura 24. Exposición humana a partículas microplásticas (PNUMA, 2021).

2.5.5 Efectos en el medio ambiente por microplásticos

Los microplásticos además de tener interacciones directas con los organismos, en los sistemas acuáticos pueden tener impactos más amplios al interactuar con los ambientes abióticos o teniendo efectos indirectos sobre comunidades o ecosistemas. Algunos autores sugieren que la acumulación de microplásticos en hábitats pelágicos y bentónicos podría alterar la penetración de la luz en la columna de agua o cambiar las características de los sedimentos y a su vez, estos cambios podrían afectar ciclos biogeoquímicos y ocasionar tasas de mortalidad altas para especies que dependen de la luz para su metabolismo (Eerkes-Medrano et al., 2015).

La presencia de estas partículas en sistemas de agua dulce puede tener efectos de arrastre a los sistemas terrestres, ya que muchos organismos de agua dulce son presa de anfibios, reptiles y aves ocasionando una biomagnificación en la cadena alimenticia. Otros efectos de los microplásticos relacionados con el hábitat incluye su papel como sustrato para organismos que ponen huevos o como hábitat para organismos incrustantes, comunidades flotantes y comunidades microbianas (Eerkes-Medrano et al., 2015); también podrían servir como vía de dispersión de biota, principalmente de especies invasoras y patógenos oportunistas lo que aumentaría enormemente las oportunidades de poner en peligro la biodiversidad del medio (GESAMP, 2015).

2.5.6 Los sistemas de agua dulce como reservorio de microplásticos

Las aguas fluviales son una vía importante para el transporte de microplásticos, estos sistemas acuáticos de “agua dulce” representados por los ríos, arroyos y lagos, todos con características muy diferentes, funcionan como vías de acceso del 80% de los desechos plásticos que van hacia el ambiente marino, actúan como un medio de producción de microplásticos a través de la descomposición de elementos más grandes derivado de procesos físicos (viento, corrientes, cauce o gradientes termohalinos) y se caracterizan por ser los principales sumideros que retienen microplásticos en los sedimentos (Horton y Dixon, 2018).

Para que estos cuerpos de agua puedan funcionar como buenos reservorios de microplásticos existen diversas vías de entrada por las cuales estos pequeños fragmentos pueden ser transportados o depositados (Figura 25) entre ellos: las descargas de aguas residuales provenientes de casas habitacionales o grandes industrias que contienen gran

abundancia de microplásticos primarios como microesferas presentes en cosméticos, exfoliantes, pastas dentales y fibras sintéticas que provienen del lavado de ropa (Auta et al., 2017) y las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), que si bien tienen una eficacia de eliminación del 99 % para plásticos de mayor tamaño, propician que las partículas más pequeñas sean liberadas a los sistemas acuáticos de agua dulce o puedan quedarse acumuladas en los lodos residuales que posteriormente suelen ser ocupados como fertilizantes en suelos agrícolas (Horton y Dixon, 2018).

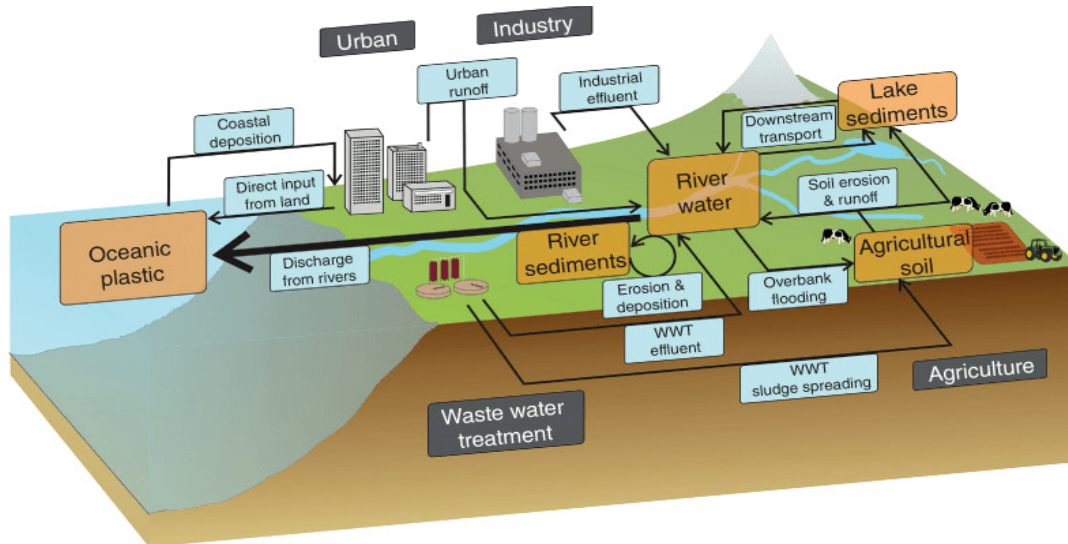


Figura 25. Vías de entrada de microplásticos (Horton y Dixon, 2018).

Los cuadros naranjas representan sumideros, los cuadros azules representan mecanismos de transporte y las flechas representan rutas de transporte.

2.5.7 Factores que influyen el transporte de microplásticos en sistemas de agua dulce

Los sistemas acuáticos son altamente dinámicos, siendo los procesos físicos los más involucrados en el transporte, movimiento, trayectoria, velocidad y dispersión de microplásticos. Estas partículas pueden estar sujetas a quedar varadas, a sufrir procesos de mezcla vertical, a la bioincrustación, así como a procesos de transporte de la carga de fondo hasta que lleguen a sedimentarse (Zhang, 2017).

El transporte de microplásticos no solo incluye procesos físicos, químicos y biológicos, también interviene el tamaño, la forma y la densidad de estos elementos (Tabla 8). Los microplásticos con una densidad más baja flotan en la superficie o quedan suspendidos en la columna de agua con densidad neutra, mientras que los microplásticos con mayor densidad o colonizados por otros microorganismos a los que se le conoce como "Plastisfera"

(Figura 26) se concentran en ambientes bentónicos como los sedimentos (Amaral-Zettler et al., 2020; Li, Zhang y Tang, 2020).

En los estuarios las partículas de alta densidad pueden ocupar la ruta de transporte béntico como carga de fondo y depositarse en los tramos inferiores del río, mientras que las partículas de fracciones de tamaño fino y baja densidad pueden ocupar la ruta de transporte pelágico en suspensión y ser transportadas hasta la desembocadura con el mar.

Tabla 8. Rangos de densidad de los polímeros más comunes de relevancia ambiental

MATRIZ	DENSIDAD (g/cm ³)
Agua pura	1
Agua de mar	1.025
Polietileno (PE)	0.93-0.98
Polipropileno (PP)	0.89-0.91
Poliestireno (PS)	1.04-1.11
Cloruro de polivinilo (PVC)	1.20-1.45
Poliamida (PA)	1.13-1.5
Tereftalato de polietileno (PET)	1.38-1.39
Acetato de polivinilo (PVA)	1.19-1.35

Fuente: Avio et al., 2017

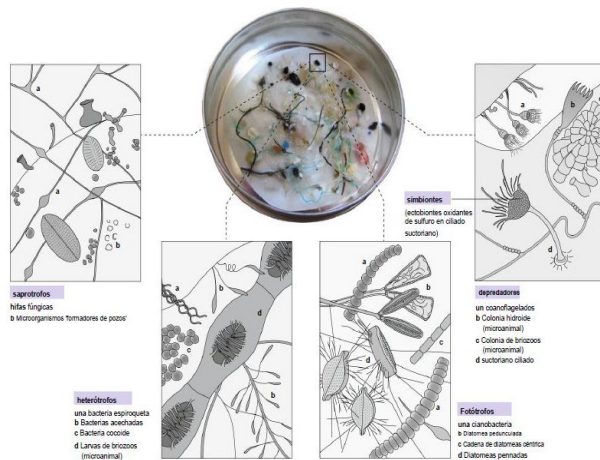


Figura 26. Plastisfera: comunidad microbiana en microplásticos (Amaral-Zettler et al., 2020).

Modelo conceptual de la diversa comunidad de plastisferas en 3D, que muestra un ecosistema microbiano de bacterias, protistas y animales en el océano abierto oligotrófico. Los miembros incluyen productores primarios de cianobacterias y diatomeas, ciliados e hidroides depredadores, herbívoros, incluidos ciliados y briozoos, relaciones simbióticas y heterótrofos.

Otro factor del transporte y depósito de microplásticos en los sedimentos de agua dulce tienen que ver con un alto grado de variabilidad temporal y estacional, a escala local los cambios instantáneos de pequeña escala en la turbulencia del río pueden aplicar energía a un área del lecho y actuar para arrastrar partículas previamente depositadas. A una escala más amplia, es probable que los mayores flujos de energía generados por las precipitaciones e inundaciones provoquen la resuspensión de microplásticos densos junto con otras partículas de sedimentos (Horton y Dixon, 2018).

Asimismo, la velocidad del flujo, la profundidad, el tipo de sustrato, la topografía del fondo y la morfología del río son otros factores físicos que podrían influir en el transporte de microplásticos en sistemas de agua dulce (Eerkes-Medrano et al., 2015).

3. ANTECEDENTES

El mayor número de investigación sobre la presencia y los efectos que tienen los microplásticos se han centrado más en ambientes oceánicos y menos del 4% de los estudios se reportan para sistemas de agua dulce y sedimentos en continentes como América del Norte, Europa y Asia (Thompson et al., 2009; Li et al., 2018), los más destacados son:

- ✚ **Castañeda et al. (2014):** realizaron un estudio de sedimentos en 10 sitios a lo largo del río St. Lawrence, Canadá reportando la presencia de microesferas de polietileno en 8 de los 10 sitios con un tamaño de <2 mm de diámetro y una abundancia de $1.4 \times 10^5 \cdot m^{-2}$, demostrando que los sedimentos de agua dulce pueden actuar como sumidero de estos contaminantes y que pueden alcanzar abundancias del mismo orden de magnitud que las encontradas en los sedimentos marinos más contaminados.
- ✚ **Corcoran et al. (2015):** realizaron un muestreo en dos tipos de sedimentos 1) de costa de la región de Humber Bay sitio cercano al área metropolitana de Toronto y una planta de tratamiento de aguas residuales registrando pellets como los más abundantes (4635 pz), seguidos de los fragmentos y 2) sedimentos de fondo del lago Ontario registrando 35 microplásticos de tamaños entre 0.5 mm a 3 mm a profundidades de hasta 8cm compuestos de PP y PE, mencionando que su sedimentación es propensa por la bioincrustación y que su degradación a tamaños más pequeños será poca una vez enterrados ya que quedan protegidos de la radiación UV.
- ✚ **Vaughan et al. (2017):** presentan datos sobre la distribución de microplásticos tomados en sedimentos de hasta 1.5 m de profundidad en cuatro sitios sobre la línea de costa del lago “Edgbaston”, Reino Unido. Las concentraciones máximas alcanzaron 25-30 MP/100g de sedimento seco, siendo las fibras y películas los tipos más comunes observados. Las distribuciones espaciales parecen deberse a factores como la ubicación del flujo de entrada, las direcciones predominantes del viento, la propensión a la bioincrustación y la distribución de desechos macroplásticos.
- ✚ **Di y Wang (2018):** investigaron los niveles de contaminación por microplásticos en aguas superficiales y sedimentos del embalse de China “Tres Gargantas” que fluye a través del río Yangtze, registrando para sedimentos 25-300 n/m³ en peso seco;

donde las fibras fueron más abundantes seguidos de los fragmentos; el color dominante fue el transparente y predominaron las partículas de tamaños de (0.5-1 mm) y (1-2 mm).

- ✚ **Blair et al. (2019):** investigaron la distribución espacio-temporal de microplásticos en sedimentos en un único sitio del río urbano “Kelvin” cercano al entorno marino en el oeste de Escocia, Reino Unido durante 2015 y 2016 registrando un total de 161–432 MPs kg⁻¹ (sedimento seco), siendo las fibras el tipo más dominante >80% con un tamaño <0.09 mm.
- ✚ **Ding et al. (2019):** investigaron la presencia de los microplásticos en 15 sitios de la cuenca del río Wei, China en agua y sedimentos. Reportando una abundancia entre 360-1320 items/kg en sedimentos, siendo las fibras el tipo más representado con el 42,25% al 53,20% y los fragmentos con el 10,2% al 20,3%.
- ✚ **Eo et al. (2019):** investigaron la distribución espacio-temporal de microplásticos de hasta 20 µm de tamaño en el río Nakdong, Corea del Sur. La abundancia media fue de 1970±62 partículas/kg de sedimento, teniendo un 81% de microplásticos de tamaño <300 µm y siendo más abundantes en la época de lluvias y secas. La proporción de fragmentos fue el tipo más abundante con el 84%, seguido de las fibras con el 15% y esferas el 1%. La distribución espacial mostró que la abundancia tendió a aumentar hacia aguas abajo.
- ✚ **Luo et al. (2019):** compararon la distribución espacial de los microplásticos en los arroyos de la ciudad (Shanghai), ríos (río Suzhou y río Huangpu), un estuario (estuario del Yangtze) y aguas costeras (Mar de China Oriental). Los resultados mostraron que la abundancia de microplásticos era mayor en los cuerpos de agua dulce que en el agua de estuario y costa. En el río Suzhou y el río Huangpu, los microplásticos mostraron tendencias de creciente abundancia río abajo, donde el pico de contaminación por microplásticos está más cerca del centro de la ciudad y el estuario. La proporción de fibras fue la más alta en los arroyos de la ciudad (88%), seguida por el río Suzhou (85%), el río Huangpu (81%), el estuario del Yangtze (66%) y el mar de China Oriental (37%).
- ✚ **Shruti et al. (2019):** estudiaron la abundancia, distribución y características de los microplásticos de la cuenca del río Atoyac, un sistema fluvial altamente urbanizado ubicado en el centro de México. Las muestras de sedimento se recolectaron de 29 sitios diferentes a lo largo de la cuenca en cuatro zonas diferentes (río Zahuapan, río Atoyac, zona de confluencia y presa de Valsequillo) encontrando un total de 4500

items/kg⁻¹. La concentración de microplásticos fue mayor en la sección aguas abajo del río lo que revela impactos significativos de la densa población y el complejo industrial de la ciudad de Puebla. Predominó los colores con el 51% y el blanco representó el 49% del total de MP. Las películas (25.9%) y los fragmentos (22.2%) fueron el tipo más abundante seguido de las fibras (14.8%).

- ✚ **Gerolin et al. (2020):** estudiaron durante la época de secas (noviembre) las concentraciones de microplásticos en muestras de sedimentos de fondo recolectados en siete sitios de los ríos Solimões, Negro y Amazonas (aguas arriba y aguas abajo). Las concentraciones oscilaron entre 417 a 8178 partículas/kg de sedimento seco, reportado solo fibras y el color predominante blanco. La concentración de microplásticos fue disminuyendo de aguas arriba (cercana a áreas urbanas y mayor dinámica hidráulica) a aguas abajo.
- ✚ **He et al. (2020):** realizaron un estudio en sedimentos tomadas de 22 puntos de muestreo a lo largo del río Brisbane, Australia durante cuatro estaciones diferentes (diciembre-verano, marzo-otoño-, junio-invierno y septiembre-primavera) revelando concentraciones relativamente altas de microplásticos entre 10 a 520 items/kg⁻¹ siendo los sitios con mayores velocidades de flujo los que presentaron mayor abundancia, mientras que en zonas secas y húmedas las concentraciones fueron más bajas. En cuanto a la distribución espacial reportan mayor concentración de microplásticos en sitios cercanos a zonas residenciales, comerciales e industriales, mientras que la menor concentración se presenta en áreas de uso de suelo mixto.
- ✚ **Jian et al. (2020):** evaluaron la abundancia, distribución, tamaño, forma y tipo de polímeros de microplásticos en agua y sedimentos a lo largo de 14 sitios del lago más grande de China "Poyang" durante secas, detectando en sedimento hasta 1936 ± 121 MP/kg, siendo la forma dominante los fragmentos.
- ✚ **Wu et al., (2020):** realizaron un estudio espacio-temporal en el agua superficial y los sedimentos de 17 sitios a lo largo de la corriente principal del río Maozhou, China. Los resultados muestran que los microplásticos se distribuyeron de manera amplia y desigual a lo largo del río y alcanzó las altas abundancias en el sitio más intensamente rodeado por industrias, así como los sitios aguas abajo. Las abundancias en época seca (abril) oscilaron entre 35 ± 15 a 560 ± 70 artículos·kg⁻¹ en sedimentos, que fueron relativamente más altos que los observados en la estación lluvia (octubre) 25 ± 5 a 360 ± 90 ítem·kg⁻¹. Predominó el color blanco y los fragmentos con el 89,4%, espuma el 6,7%, películas 1,6% y fibras 2,3%.

- ✚ **Zhou et al. (2020):** evaluaron las características, abundancia y distribución espacial de microplásticos en sedimentos de 21 sitios de manglares a lo largo de las zonas costeras del sureste de China. Se detectaron cinco formas diferentes de microplásticos entre los cuales las espumas (74,6 %) y las fibras (14,0 %) fueron los tipos dominantes. Los microplásticos con un rango de tamaño de 1-2 mm constituyeron el 46 % del total de partículas microplásticas.
- ✚ **He et al. (2021):** crearon un modelo tridimensional para investigar y predecir los procesos de dispersión y transporte de partículas microplásticas (polietileno, polipropileno, poliamida y tereftalato de polietileno) sedimentadas en el río Brisbane, Queensland y confirmaron que los microplásticos de menor densidad tienen mayor movilidad y los de mayor densidad suelen acumularse cerca de los puntos de origen, y que los sedimentos de los ríos actúan más como sumidero de MP que de vía de transporte.
- ✚ **Sánchez-Hernández et al. (2021):** realizaron un estudio espacial y estacional de microplásticos en agua, sedimento y peces comerciales del estero semiurbano de Tecolutla, Veracruz registrando una mayor abundancia en temporalidad de nortes, seguida de secas y en menor cantidad lluvias. La cantidad de microplásticos en sedimentos fue de 121 partículas/kg⁻¹ siendo el tipo fibras y fragmentos los más abundantes.
- ✚ **Singh et al. (2021):** realizaron un estudio en sedimentos y agua en cinco ciudades importantes del río Ganga, India. Se encontró que el número de microplásticos fue de 17 a 36 artículos/kg de peso seco, el color blanco y con forma de película fueron los principales en todas las muestras. Los sitios de muestreo se seleccionaron en función de la variación de la densidad de población, las zonas industriales y la proximidad a las reservas naturales.
- ✚ **Xia et al. (2021):** investigaron la aparición y la variación estacional de microplásticos en los sedimentos del río Liangfeng, China en 13 puntos de muestreo durante mayo (secas) y octubre (lluvias). Se detectaron microplásticos entre el rango de 50 a 500 µm, la abundancia en la estación seca fue ligeramente superior a la de la estación lluviosa, la forma predominante fue fibras, seguidas de fragmentos y películas.
- ✚ **Zhou et al. (2021):** estudiaron la distribución vertical de microplásticos en los sedimentos de 15 sitios del estuario Fuhe, China a diferentes profundidades (0-50 cm) demostrando que la abundancia y tamaño de microplásticos disminuye con el aumento de la profundidad del sedimento.

4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1 Planteamiento del problema de investigación en el sitio

La Reserva Ecológica Arroyo Moreno es un cuerpo de agua dulce poco estudiada, sin olvidar la falta seguimiento en el Plan de Manejo del área lo que hace que esta zona se encuentre propensa a una contaminación tanto de suelo como de agua derivado de las actividades antropogénicas que conllevan a una pérdida de especies nativas o de importancia comercial, pérdida estética y de valor ecosistémico.

Específicamente, las fuentes puntuales de contaminación cercanas al área son propensas a originar microplásticos los cuales pueden ser transportados y sedimentados a lo largo del cauce, ya que este se considera un sistema hidrodinámico con cambios estacionales marcados. Por tanto, a la larga esto ocasionará efectos negativos al ambiente que serán necesarios erradicar para conservar el área.

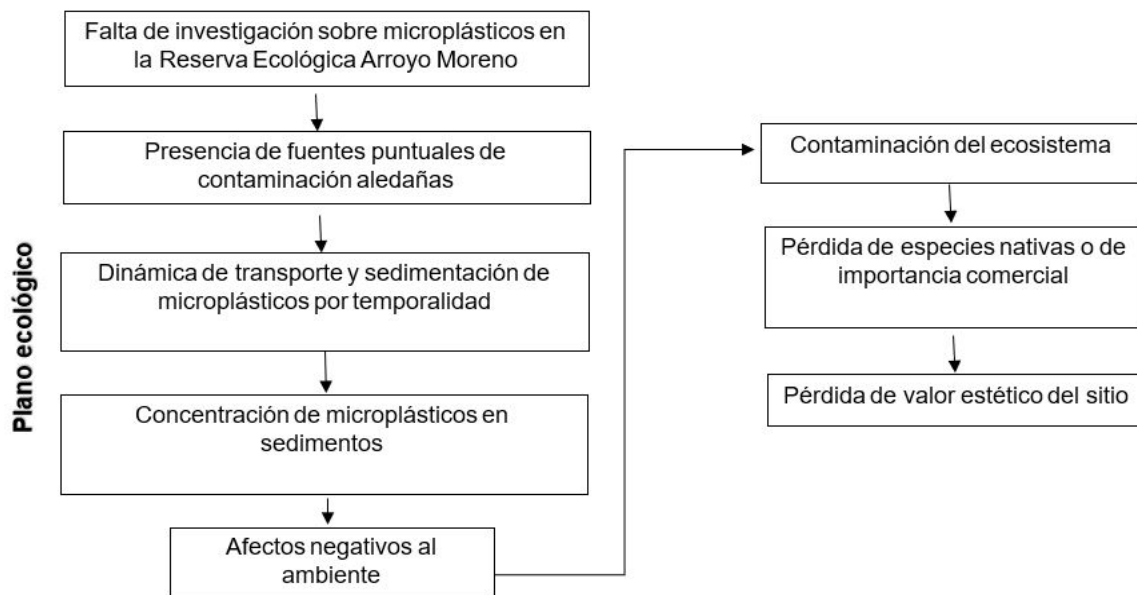


Figura 27. Esquema del problema de investigación enfocada al plano ecológico en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Elaboración propia.

4.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es la diversidad, abundancia y distribución de microplásticos en sedimentos con respecto a las temporalidades lluvias, nortes y estiaje, y a las fuentes puntuales de contaminación en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz?

5. JUSTIFICACIÓN

La Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz es un sistema de agua dulce que se caracteriza por interactuar con el río Jamapa y es de vital importancia ecosistémica, económica y cultural. Sin embargo, en los últimos años este sitio se ha visto envuelto en una mancha urbana con grandes actividades antropogénicas de gran impacto que son propicias a generar una contaminación por plásticos, que con el paso del tiempo estos se convierten en microplásticos los cuales pueden ser retenidos en los sedimentos y generar grandes pérdidas biológicas, ecosistemas, económicas y estéticas. A su vez éstos han sido poco estudiados en cuerpos de agua dulce en México, por tanto, es de gran relevancia conocer el estado actual de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz para identificar las posibles fuentes puntuales de contaminación por microplásticos, su abundancia y diversidad a lo largo de las temporalidades marcadas en el sitio para contribuir a un primer acercamiento de esta problemática en el área.

6. HIPÓTESIS

“Si existen cambios en las temporalidades de lluvias, nortes y estiajes, y en las diversas fuentes puntuales de contaminación en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz entonces, la diversidad, abundancia y distribución de microplásticos en sedimentos cambiará a lo largo del tiempo y puntos de muestreo”

7. OBJETIVOS

General

Establecer la relación entre la distribución, diversidad y abundancia de microplásticos en sedimentos de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz durante las temporalidades lluvias, nortes y estiaje, y en las fuentes puntuales de contaminación.

Particulares

Identificar las fuentes puntuales de contaminación de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

Determinar la diversidad y abundancia de microplásticos en sedimentos en las temporalidades lluvias, nortes y estiaje.

Establecer la distribución espacio temporal de los microplásticos en sedimento mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Comparar los resultados obtenidos entre la distribución, diversidad y abundancia de microplásticos en sedimentos en las temporalidades lluvias, nortes y estiaje, y fuentes puntuales de contaminación.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 ÁREA DE ESTUDIO

Localización

La Reserva Ecológica Arroyo Moreno, se localiza en el estado Veracruz entre los 19° 05' y 19° 08' de latitud Norte y los 96° 06' y 96° 09' de longitud Oeste (Figura 28). Fue declarada bajo la modalidad "Zona Sujeta a Conservación Ecológica" el 25 de noviembre de 1999 con el objeto de servir como refugio a especies silvestres locales y migratorias que intervienen en el equilibrio ecológico del lugar, reducir la tala inmoderada que afecta directamente al ecosistema de manglar, así como controlar la explotación de los recursos que genera. Sin embargo, esta declaración fue reformada el 22 de agosto de 2008 a "Reserva Ecológica" de competencia Estatal, teniendo una superficie de 249 hectáreas (Gaceta Oficial, 2008). La mayor parte del área se ubica dentro de los límites del Municipio de Boca del Río y Municipio de Medellín de Bravo. Colinda al norte con las colonias Miguel Alemán, Plan de Ayala, al este con el fraccionamiento La Joya, Colonia El Morro, Graciano Sánchez y al sur con el Fraccionamiento La Tampiquera (SEDESMA-CGMA-UV, 2006).

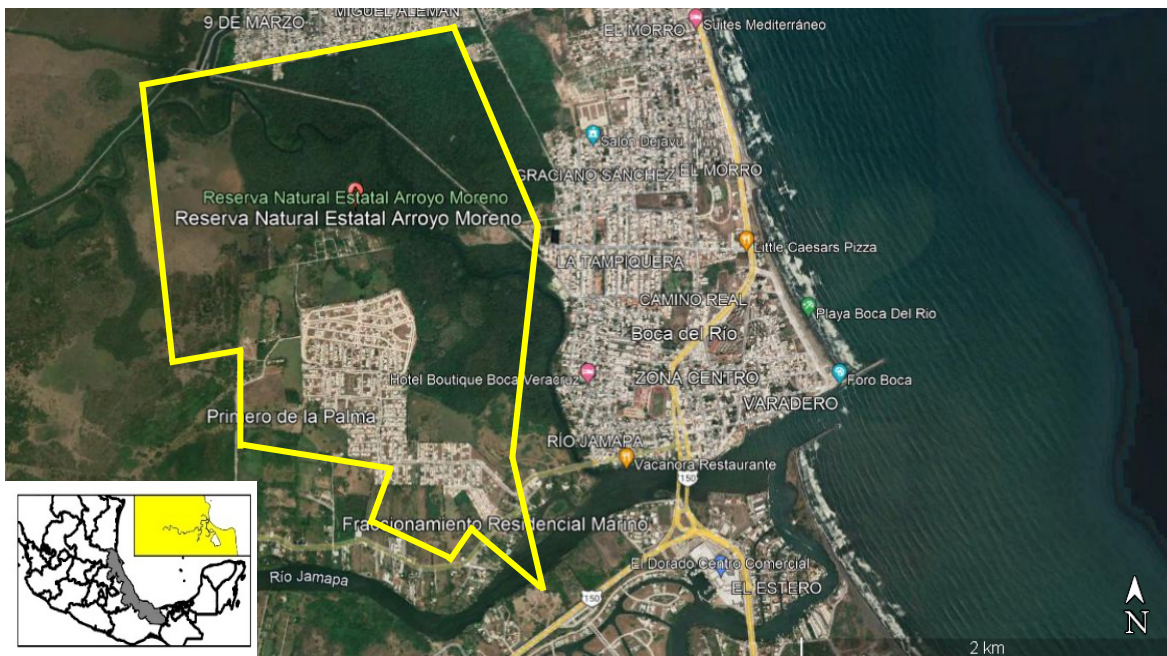


Figura 28. Localización de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Google Earth Pro 2021.

Clima y Temporalidades

Tipo subhúmedo (Aw2) con una temperatura media anual de 26°C, una máxima de 33°C y una temperatura en el mes más frío mayor de 18°C, presentándose el promedio mensual máximo durante julio y el mínimo en enero. Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual (Garibay-Pardo, 2006).

La zona se caracteriza por presentar tres temporalidades nortes (noviembre a marzo), estiaje (abril a junio) y lluvias (agosto a octubre) cuando suceden las mayores descargas pluviales. Presenta un humedal de tipo ámbito marino - costero de sistema estuarino con subsistema intermareal de clase humedal arbóreo (López-Portillo, 2009).

Hidrología

Se encuentra dentro de la Región Hidrológica 28 Papaloapan-Jamapa, que abarca gran parte de la porción centro-sur de Veracruz y está integrada por corrientes de orientación radial y paralela controlada por algunas elevaciones de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico (Cofre de Perote y Pico de Orizaba), así como por otros sistemas montañosos compuestos por rocas sedimentarias marinas (SEDESMA-CGMA-UV, 2006).

Recibe aporte de agua marina debido a los intercambios mareales con el Golfo de México creando un patrón mareal de tipo mixto diurno. Dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno se localiza un canal que recorre 11 km de longitud con una profundidad promedio de 1.5 m, alcanzando zonas de más de 3 m; los sedimentos son de tipo limosos. La corriente desemboca a unos 1,300 m de la boca estuarina del río Jamapa que se comunica al mar creando un área ribereña (García-Villar et al., 2019).

Ocupa un sistema de microcuencas urbanas y recibe escurrimientos desde la comunidad de Santa Rita, Ciudad Industrial, El Seminario y Rancho La Parroquia, así como de la periferia del aeropuerto y la zona del Fraccionamiento Floresta, haciendo un total de 48 km² de área tributaria, lo cual nos proporciona una idea de la magnitud de los caudales que transitan por su cauce. Este arroyo cumple un papel primordial en la hidrodinámica de la zona, así como para distribución y establecimiento de flora y fauna local (SEDESMA-CGMA-UV, 2006).

Edafología

Los suelos del área son arenosos y fangosos en las partes del manglar. Son principalmente aluviones formados por los depósitos constantes de sedimentos de origen terrestre acarreados por el río Jamapa con una gran cantidad de materia vegetal parcialmente descompuesta en el horizonte superficial. De acuerdo con el Mapa Mundial de Suelos de la FAO de 1988 se trata de un suelo de tipo histosol fíbrico (SEDESMA-CGMA-UV, 2006).

Flora

La flora que cubre la mayor parte es el manglar, el cual está constituido por mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle negro (*Avicennia germinans*) y mangle blanco (*Laguncularia racemosa*). Este tipo de vegetación es de gran importancia ambiental al brindar protección y estabilidad del suelo, favorecen la recarga de acuíferos y limpieza del agua, son hábitat para especies en fase larvaria y juvenil, funcionan como amortiguadores ante los fuertes vientos, son capaces de capturan CO₂, se catalogan como estabilizadores de microclimas, contienen efectos de lo erosión costera y proporcionan hábitat a especies con importancia comercial (SEDESMA-CGMA-UV, 2006; López-Portillo, 2009).

Los tulares y popales son comunidades de plantas acuáticas que alcanzan alturas 1-3 m, estos son ecosistemas de pantanos de especial importancia ecológica y biológica que, al servir de refugio y zona de reproducción para una gran diversidad de especies animales contribuyen al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y colaboran en la conservación de los suelos en el ciclo hidrológico y de nutrimentos (Garibay-Pardo, 2006; (SEDESMA-CGMA-UV, 2006).

Tabla 9. Flora perteneciente a la Reserva Ecológica Arroyo Moreno

SELVA BAJA PERENNIFOLIA	
Es un tipo de vegetación con un dosel superior de 10 a 20 m de altura, las especies componentes pierden parte de su follaje en la temporada seca	
Apompo	<i>Pachira aquatica</i>
Chicozapote	<i>Manilkara zapota</i>
Higuera	<i>Ficus insipida</i>
Palo mulato	<i>Bursera simaruba</i>
Chancarro	<i>Cecropia obtusifolia</i>
Árbol de hule	<i>Castilla elastica</i>
SELVA BAJA CADUCIFOLIA	
Es una comunidad vegetal constituida principalmente por especies que en la temporada de estiaje pierden por completo su follaje	
Uvero	<i>Coccoloba barbadensis</i>
Barbasco	<i>Jacquinia aurantiaca</i>
Cardón	<i>Bromelia pinguin</i>
Naranjuelo	<i>Capparis frondosa</i>
Jaboncillo	<i>Sapindus saponaria</i>
Comizuelo	<i>Acacia cornigera</i>
Huizache	<i>Acacia pennatula</i>
Coyol	<i>Acrocomia mexicana</i>
Lianas y epifitas	

Fuente: SEDESMA-CGMA-UV, 2006



Figura 29. Flora representativa de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías del ITBOCA.

Fauna

La fauna presente en el sitio está catalogada en 5 principales grupos descrita en la siguiente tabla:

Tabla 10. Fauna perteneciente a la Reserva Ecológica Arroyo Moreno

MACROINVERTEBRADOS	
Camarón café	<i>Penaeus aztecus</i>
Langostinos	<i>Macrobrachium acanthurus</i>
Jaibas azules	<i>Callinectes similis</i> y <i>C. sapidus</i>
Cangrejo rojo de mar	<i>Giniopsis cruentata</i>
Cangrejo azul	<i>Cardisoma guanhumi</i>
PECES	
Tarpones	<i>Megalops atlanticus</i>
Sardinita	<i>Dorosoma petenense</i>
Bagre	<i>Bagre marinus</i>
Pez aguja	<i>Syngathus scovelli</i>
Mojarra	<i>Eucinostomus melanopterus</i>
Naca	<i>Dormitator maculatus</i>
ANFIBIOS y REPTILES	
Sapo	<i>Bufo marinus</i>
Ranita arborícola	<i>Centrolenella fleishmani</i>
Cecilia	<i>Dermophis mexicanus</i>
Chelonias	<i>Emydidae, Pseudemys scripta</i> y <i>Kinosternidae</i>
Tortugas tres lomos	<i>Staurotypus triporcatus</i>
Pocuitoque	<i>Kinosternon leucostomum</i>
Lagartija rayada	<i>Cabuya brachypoda</i>
Lagartija costeña	<i>Cnemidophorus guttatus</i>
Iguana verde	<i>Iguana iguana</i>
Nauyaca	<i>Bothrops atrox</i>
Cocodrilo de pantano	<i>Crocodylus moreletti</i>
AVES	
Zambullidor	<i>Tachibaptus dominicus</i>
Pelicano blanco	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>

Pato buzo	<i>Phalacrocorax olivaceus</i>
Fragata común	<i>Fregata magnificens</i>
Garzón cenizo	<i>Ardea herodias</i>
Garzón blanco	<i>Egretta alba</i>

MAMÍFEROS

Tlacuaches	<i>Didelphys marsupialis, D. virginiana y Philander opossum</i>
Murciélagos	<i>Mormoops megalophylla</i>
Armadillos	<i>Dasybus novemcinctus</i>
Ardilla gris	<i>Sciurus aureogaster</i>
Rata de campo	<i>Rattus</i>
Mapache	<i>Procion lotor</i>
Comadreja	<i>Mustela frenata</i>
Zorrillo	<i>Mephitis macrura</i>

Fuente: SEDESMA-CGMA-UV, 2006



Figura 30. Fauna representativa de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías de Naturalista.

Importancia biológica del sitio

La Reserva Ecológica Arroyo Moreno es de vital importancia ecosistémica, económica y cultural; este sitio alberga un gran número de especies de flora y fauna de importancia de conservación y es fuente económica para la pesca artesanal, sirve como una barrera natural de contención y protección contra el efecto de marejadas, ciclones, huracanes y tormentas tropicales, purifica las aguas que alimentan el cauce del río, retiene sedimentos que son acarreados por las lluvias, regula los niveles de agua de los humedales, estabiliza los ciclos biogeoquímicos como el nitrógeno, fósforo y carbono y retiene la materia orgánica que enriquece las aguas de lagunas y esteros (SEDESMA-CGMA-UV, 2006; Aké et al, 2016).

Problemas ambientales actuales

Si bien el sitio de La Reserva Ecológica Arroyo Moreno cuenta con un Programa de Manejo desde el año 2006 propuesto por la antes Coordinación General del Medio Ambiente del estado de Veracruz y la Universidad Veracruzana, éste no ha operado de forma adecuada; factor que ha propiciado problemas ambientales de atención inmediata.

Tabla 11. Problemas ambientales detectados en la Reserva Ecológica Arroyo Moreno

Reserva Ecológica Arroyo Moreno		
Descargas de agua residual provenientes de la zona urbana aledaña y los principales fraccionamientos ubicados en la zona.	Material de sedimentos y arenas provenientes de dragados que alteran la microtopografía y generan la muerte del mangle.	Zonas de construcción de casas habitación de clase socioeconómica alta, que cuentan con autorización municipal, estatal y federal.
Descarga de agua residual industrial de la Planta Termoeléctrica “Dos Bocas” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) que vierte aguas con una temperatura de 40°C.	Arena biológica originaria del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) de las obras de construcción de la marina arrojada como relleno.	Basura vertida directamente al río o basura olvidada por parte de la pesca ribereña del sitio.
Lixiviados del basurero municipal cercano al canal de La Zamorana que se construyó a cielo abierto y sin membranas protectoras.	Construcción de terraplenes y veredas desarrolladas por pescadores y habitantes que atraviesan el bosque de manglar.	Introducción de especies exóticas como parte de cultivos de traspatio.
Expansión de la ganadería que roban tierras para la ampliación de pastizales y corrales para animales.	Tala de mangles y caza o captura de fauna protegida (cangrejo azul, sábalo, robalo).	Aguas negras de la PTAR y el canal de la Zamorana.

Fuente: SEDESMA-CGMA-UV, 2006; Méndez Álvarez, 2013

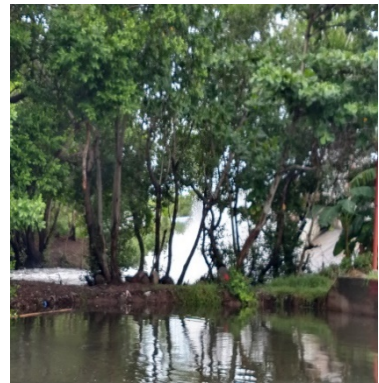
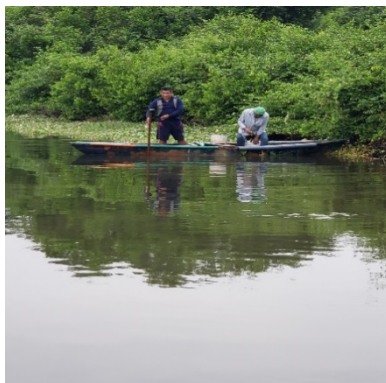


Figura 31. Problemas ambientales dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.
Fotografías propias.

8.2 ETAPA DE CAMPO

Op1: Ubicación y selección de fuentes puntuales de contaminación de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

El diseño y selección de los sitios de muestreo se basó en un recorrido de aproximadamente 5.8 km a la Reserva Ecológica Arroyo Moreno mediante lancha para la identificación y geolocalización de las fuentes puntuales de contaminación primordiales usando un GPS marca GARMIN Etrex 10 y que éstas estuvieran en sitios de libre acceso.



Figura 32. Recorrido y ubicación de fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.

Op2: Determinar la diversidad y abundancia de microplásticos en sedimentos en las temporalidades lluvias, nortes y estiaje.

Recolección de muestras de sedimento

Se realizó un solo muestreo dirigido durante: *lluvias* en el mes de julio del 2021, *nortes* en el mes de octubre del 2021 y *estiaje* en el mes de abril de 2022 en horarios matutinos (8:30-11:30 am) teniendo como base los datos climatológicos de la CONAGUA y meteorológicos de la Secretaría de Protección Civil de Veracruz.

Para determinar la presencia de microplásticos en sedimentos se tomó como referencia la técnica utilizada por Cruz-Salas, 2020 y las recomendaciones de la Environmental Protection Agency (EPA) 2001; sin embargo, esta se adecuó para el sitio de estudio. Se recolecto 1 kg de sedimento en cada punto de muestreo utilizando un nucleador de acero inoxidable de 12 cm de diámetro y 20 cm de alto de base acoplado a un tubo de 1 m de largo; las muestras se tomaron entre 15-20 cm de profundidad y a 1 m de distancia de la orilla del río (Figura 33).

Cada muestra se colocó con ayuda de una pala de acero inoxidable en recipientes herméticos debidamente etiquetados con datos de: punto de muestreo, hora y coordenada GPS; una vez diferenciadas se colocaron en una hielera para ser transportadas al laboratorio para la fase experimental.



Figura 33. Nucleador y proceso de recolección de muestras de sedimento. Fotografías propias.

8.3 ETAPA DE LABORATORIO

Procesamiento de muestras para la determinación de microplásticos

Secado y tamizaje

En este proceso se llevó a cabo un enfoque metodológico donde se tomaron medidas muy pertinentes de cuidado para evitar la contaminación de las muestras en medida de lo posible, entre ellas el uso de bata de laboratorio blanca (65% poliéster y 35% algodón) y guantes de goma; así como el uso de espacios cerrados sin entrada de aire directa.

Una vez teniendo estas medidas de control, las muestras de sedimento obtenidas en cada punto de muestreo fueron pesadas en una balanza digital para confirmar 1kg de sedimento, posteriormente fueron colocadas en charolas de acero tipo “pasteleras” y secadas en horno entre 60-70°C siguiendo la técnica de Toledo, 2019 durante 24 hrs (algunas muestras requirieron hasta 36 hrs). Transcurrido ese tiempo fueron sacadas del horno y tapadas con papel aluminio para evitar contaminación; una vez a temperatura ambiente fueron pulverizadas con apoyo de un mortero (ya que el tipo de sedimento que predomina en el área son arcillas y limos) y fueron pesadas para obtener el peso seco de cada una de ella (Figura 34).

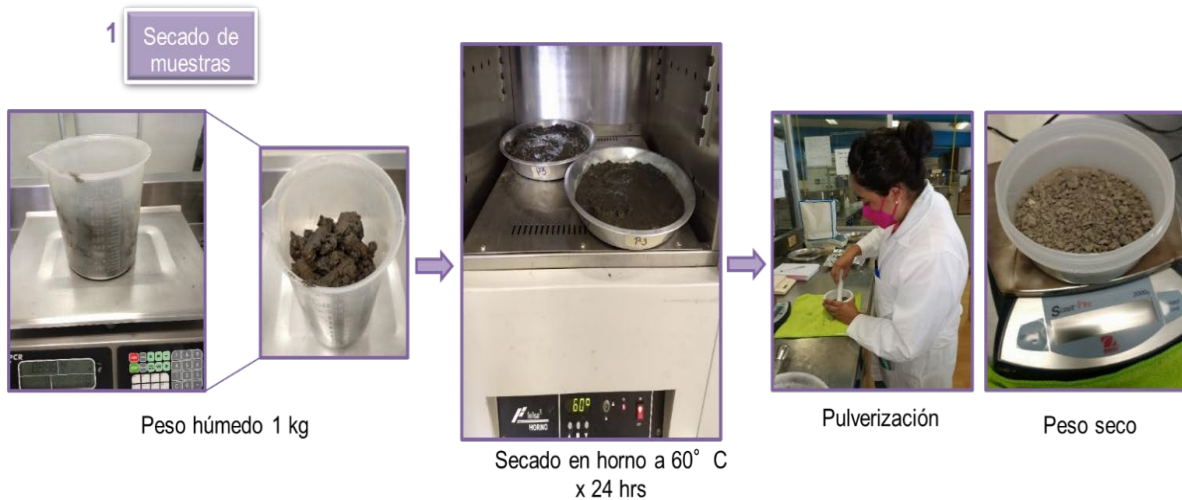


Figura 34. Proceso de secado de muestras de sedimento en laboratorio. Fotografías propias.

Posteriormente las muestras se pasaron a través de una serie de tamices los cuales sirvieron para separar los microplásticos de interés (5 a 1 mm); los tamaños de apertura de malla fueron: 5 mm, 3.35 mm, 2.5 mm, 2 mm, 1.6 mm, 1.43 mm, 1.25 mm y 0.9 mm produciendo 8 submuestras para cada evento de muestreo. Para tener una mayor y precisa separación se hizo uso de un tamizador Ro-Tap por 20-30 min.

El sedimento resultante en cada uno de los tamices fue almacenado en bolsas tipo ziploc debidamente etiquetados colocando el número de tamiz, número de muestra y punto de muestreo para la posterior determinación de microplásticos por morfología y color (Figura 35).

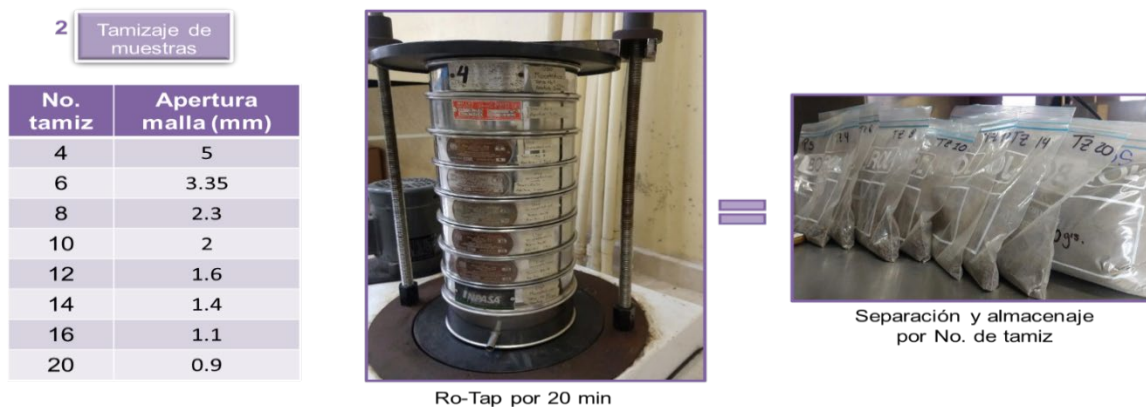


Figura 35. Proceso de tamizaje de muestras de sedimento, serie de tamices y almacenamiento. Fotografías propias.

Identificación de tipos de microplásticos

Después del proceso de tamizaje, se utilizó la técnica de separación por densidad adaptada de Blair et al., 2019 con una solución de NaCl “sal marina comercial” ($\sim 1,02 \text{ gcm}^{-3}$) para separar las piezas de microplásticos. Y para la eliminación de materia orgánica (MO) se empleó una solución de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30%.

Un criterio relevante a considerar durante la identificación de microplásticos incluye propiedades físicas como: tamaño, tipo y color. Para ello cada muestra de sedimento se observó detalladamente con apoyo de un microscopio estereoscópico y una lupa con luz LED y los microplásticos observados se identificaron con base a la “Guía de descarte y ayuda a la identificación” de León-Muez et al., 2020 (Figura 36), cada uno de ellos fueron extraídos con pinzas metálicas tipo relojero y fotografiados con un microscopio USB digital.



Figura 36. Proceso de identificación de microplásticos por color, tipo y tamaño en sedimentos tamizados. Fotografías propias.

8.4 ETAPA DE GABINETE

Op3: Distribución espacio temporal de microplásticos en sedimento mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se hizo uso del programa ArcGIS Pro. 2.7 con la finalidad de proyectar una mejor visualización entre la relación por sitios de muestreo y la abundancia de microplásticos durante las tres temporalidades de estudio.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IDENTIFICACION DE FUENTES PUNTALES DE CONTAMINACIÓN

Se identificaron 6 fuentes puntuales de contaminación que abarcaron aguas arriba, parte media y parte baja cercana a la desembocadura del río Jamapa; estos sitios presentaron una estrecha relación con actividades antropogénicas las cuales son propicias a la presencia de microplásticos (Tabla 12, Figura 37 y 38).

Tabla 12. Localización y descripción de puntos de muestreo

ESTADO	VERACRUZ
MUNICIPIO	BOCA DEL RÍO
ÁREA DE ESTUDIO	RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO

Punto de Muestreo	Latitud	Longitud	Fuente puntual	Descargas
P-1	19° 06.004' N	96° 06.725' W	Tubería inicial río Jamapa	Aguas residuales domésticas
P-2	19° 06.431' N	96° 06.755' W	Zona residencial Fraccionamiento Tampiquera	Aguas residuales domésticas
P-3	19° 06.556' N	96° 06.894' W	DREN B-PTAR	Aguas residuales domésticas
P-4	19° 06.802' N	96° 07.224' W	Río medio del mangle	Agua natural del Arroyo
P-5	19° 07.129' N	96° 07.811' W	Canal Zamorana	Aguas pluviales y domésticas
P-6	19° 06.705' N	96° 08.543' W	CFE termoeléctrica	Aguas residuales industriales

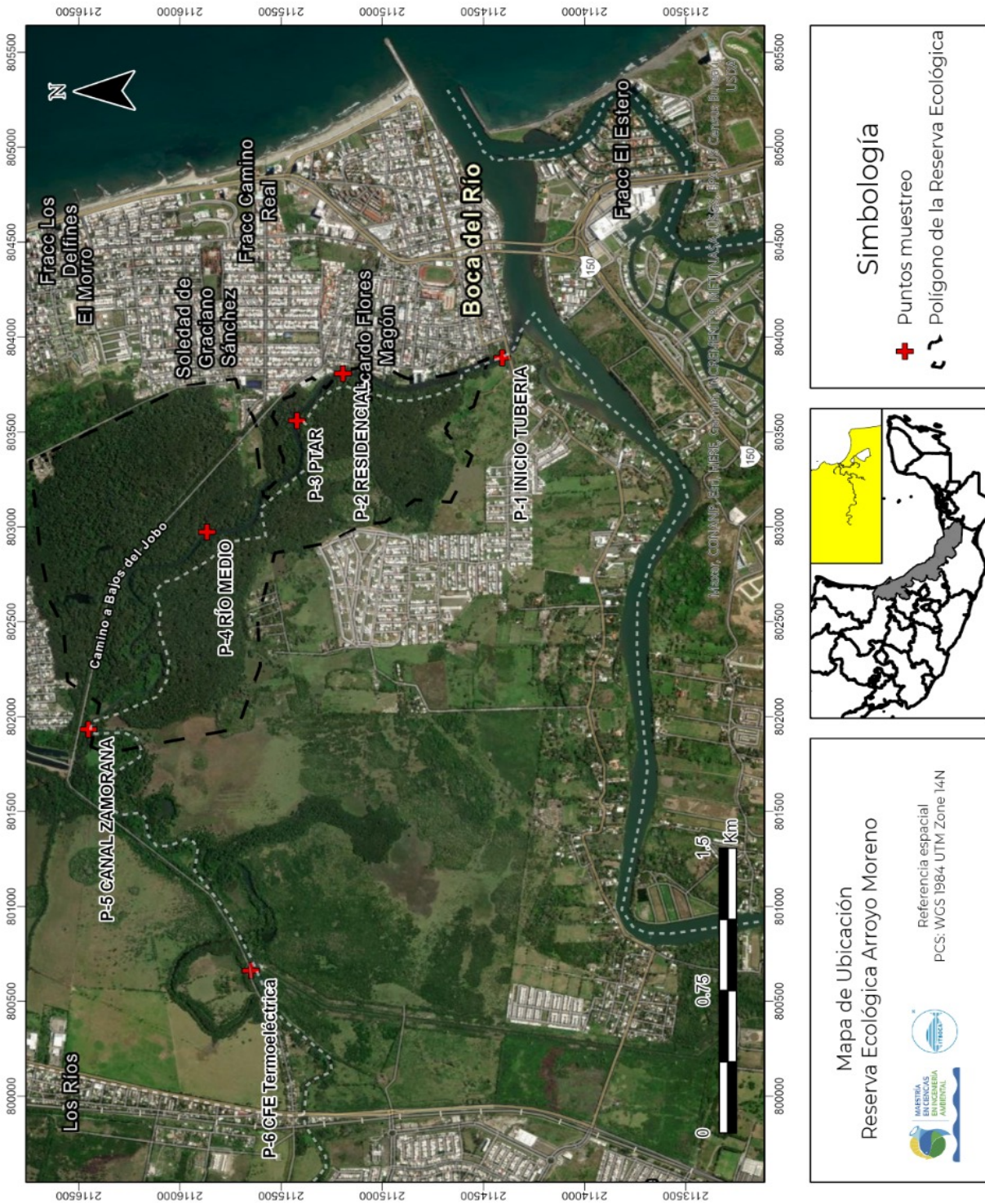


Figura 37. Mapa de localización de las seis fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.
(Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7)



PUNTO 1
INICIO TUBERÍA RÍO
JAMAPA



PUNTO 2
ZONA RESIDENCIAL
"Tampiquera"



PUNTO 3
SALIDA DEL DREN B



PUNTO 4
RÍO MEDIO DEL
ARROYO



PUNTO 5
CANAL ZAMORANA



PUNTO 6
TERMOELÉCTRICA CFE

Figura 38. Fuentes puntuales de contaminación dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.

DIVERSIDAD DE MICROPLÁSTICOS

Durante el estudio de sedimentos en los seis sitios de muestreo se identificaron tres posibles tipos de microplásticos los cuales fueron fotografiados y clasificados de la siguiente manera (Figura 39).

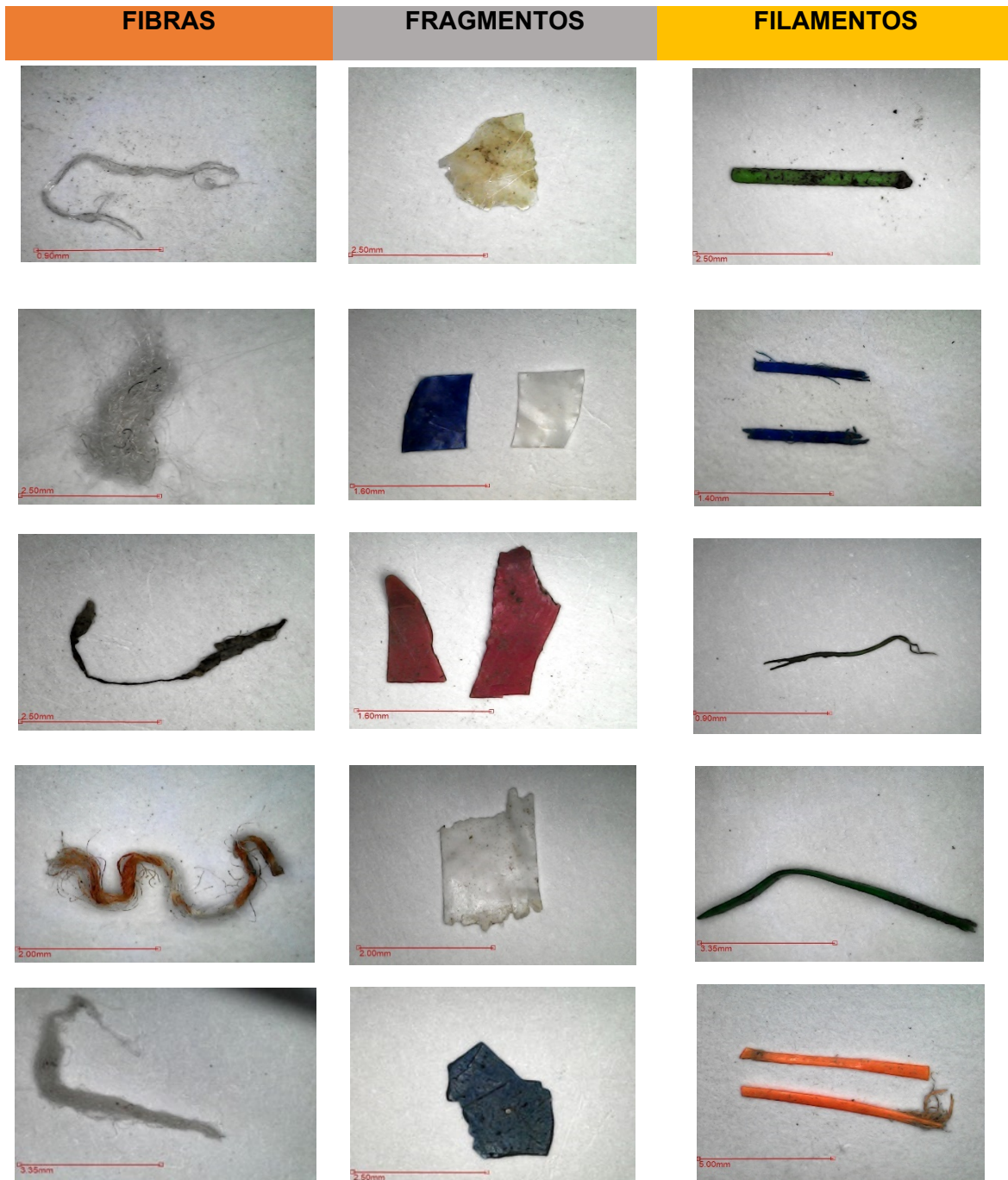




Figura 39. Microplásticos identificados en sedimentos dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. Fotografías propias.

ABUNDANCIA

La abundancia de microplásticos obtenidos durante las tres temporalidades y los seis puntos de muestreo con respecto a la diversidad (morfología/tipo) de microplástico identificado se presentan en la Tabla 13 y la Figura 40.

Tabla 13. Abundancia total de microplásticos durante las tres temporalidades y puntos de muestreo

ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS POR PUNTO DE MUESTREO, TEMPORALIDAD Y TIPO										
Punto Muestreo	LLUVIAS-JULIO 2021				NORTES-OCTUBRE 2021			ESTIAJE-ABRIL 2022		
	Fibras	Fragmento	Filamento	Otros	Fibras	Fragmento	Filamento	Fibras	Fragmento	Filamento
P-1	4	4	0	0	1	2	0	1	0	1
P-2	9	10	0	0	5	10	0	0	0	1
P-3	1	1	0	1	1	2	3	0	0	1
P-4	4	4	5	0	2	0	1	0	0	0
P-5	6	3	10	0	2	6	7	1	12	14
P-6	1	4	0	0	1	3	0	0	1	1
TOTAL	25	26	15	1	12	23	11	2	13	18
	67				46			33		
	 146 items/kg_{ss}									

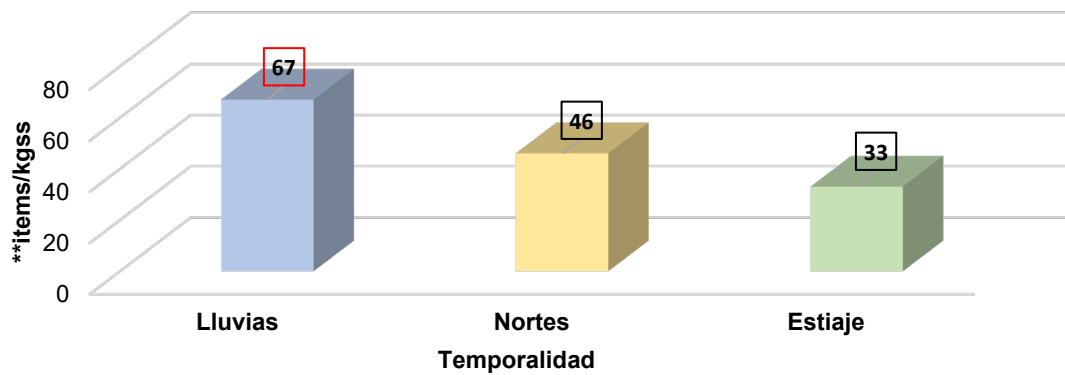


Figura 41 Abundancia de microplásticos por temporalidad de muestreo dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz

**La abundancia de MP fue determinada como items por Kg de sedimento seco (*items/kg_{ss}*) basado en Shruti et al., 2019.

Se obtuvo un total de **146 items/kg_{ss}** durante las tres temporalidades de muestreo; resultado mayor al obtenido por Sánchez-Hernández et al., 2021 quienes registraron 121 partículas en el estero de Tecolutla, Veracruz, pero mucho menor a lo reportado por Shruti

et al., 2021 donde reportan 4500 partículas de MP para la zona del río Atoyac en Puebla; siendo estos dos estudios los únicos reportados para México en sistemas de agua dulce.

En comparación a resultados obtenidos en diversos países la cantidad de microplásticos en sedimentos fue igual o mayor a los registrados en lagos de Reino Unido (Vaughan et al., 2017), en embalses de China (Di y Wang et al., 2018) y el río Ganga, India (Singh et al., 2021); pero en mucho menor proporción a los reportados en ríos urbanos de Canadá (Corcoran et al., 2015), ríos de Escocia, Reino Unido (Blair et al., 2019), cuencas del río Wei, China (Ding et al., 2019), río Nakdong, Corea (Eo et al., 2019), ríos del Amazonas (Gerolin et al., 2020) y el estuario de Fuhe, China (Zhou et al., 2021).

Es necesario mencionar que la mayoría de los estudios citados no realizaron estudios espacio-temporales lo que podría ser un motivo de falta de homogeneidad en las comparaciones de resultados, así mismo, el número de sitios de muestreo fue variable y existen fuentes de origen diversas de microplásticos cercanas a estos sistemas. Es un desafío comparar directamente las concentraciones de microplásticos reportadas en este estudio con otros datos disponibles debido a la variación en las unidades de informe y diferencias en los tipos de muestra para el estudio.

La temporalidad con mayor abundancia de microplásticos corresponde a **lluvias** con un total de **67 items/kg_{ss}**, seguida de **nortes** con un total de **46 items/kg_{ss}** y la de menor abundancia corresponde a **estiaje** con **33 items/kg_{ss}** (Figura 41), estos resultados coinciden con lo reportado en el río Brisbane, Australia donde registran una mayor abundancia de microplásticos durante las temporadas y sitios con mayor velocidad de flujo a diferencia de zonas secas y húmedas (He et al., 2021).

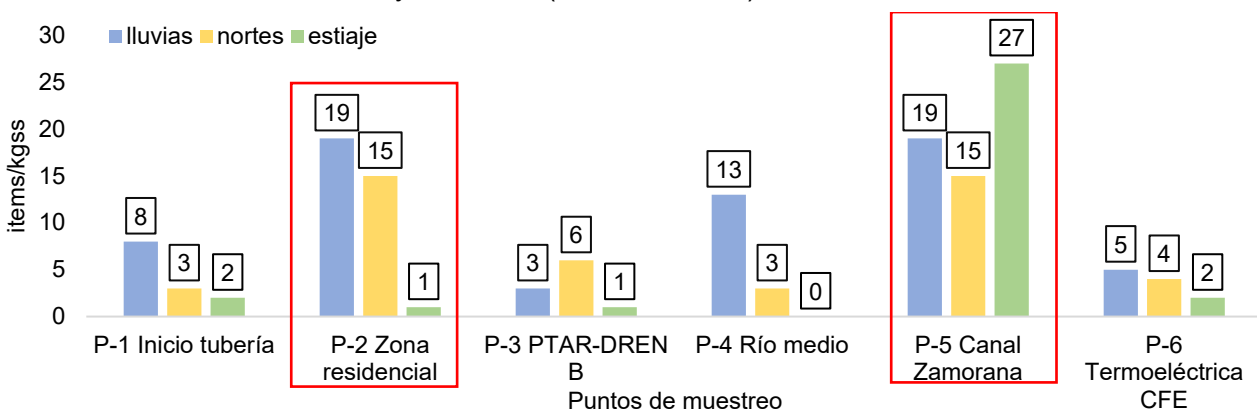


Figura 42. Abundancia de microplásticos por sitios de muestreo durante las tres temporalidades dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

Sin embargo, trabajos realizados de manera espacio temporal en zonas del río Maozhou y el río Liangfeng, China registraron mayor abundancia de microplásticos en estiaje a lo observado durante lluvias (Wu et al., 2020 y Xia et al., 2021) y para México, Sánchez-Hernández et al. (2021) reportan mayor abundancia durante nortes, seguidas de secas y en menor cantidad en lluvias. Estas diferencias pueden ser debidas a la ubicación del flujo de entrada de agua, las cantidades de precipitaciones, las direcciones del viento, la propensión a la bioincrustación, las fuentes de origen o actividades antropogénicas aledañas, la misma hidrología e hidrografía de la cuenca y a la distribución o entrada de macroplásticos que posteriormente llegan a degradarse (Vaughan et al., 2017).

La temporalidad de lluvias para este estudio correspondió a la estación de “*verano*” en donde se tuvo registró de altas temperaturas y presencia de monzones o vientos que llevan consigo lluvias fuertes y tormentas, provocando inundaciones y por ende un mayor acarreo de microplásticos desde aguas arriba ya que los períodos de alto flujo pueden volver a movilizar los sedimentos (Akdogan y Guven, 2019) y son capaces tanto de resuspender partículas que pueden haberse asentado como de depositar nuevos microplásticos en los sitios adyacentes (Alimi et al., 2018). Recordemos que mayores eventos de lluvia promueven mayores tasas de flujo en los afluentes y mayor aumento del caudal, lo que resulta en una mayor abundancia de desechos plásticos que llegan al sistema en períodos más cortos de tiempo (Blair et al., 2017 y Corcoran et al., 2015).

Un alto flujo de agua transporta más microplásticos desde los puntos de origen y una mayor velocidad de flujo en la capa de agua del fondo facilita su transporte; pero independientemente de esta variable otro posible factor de la abundancia durante esta temporalidad se puede atribuir a la baja densidad que puede poseer los polímeros transportados (PE, PP), ya que algunas partículas microplásticas flotan inicialmente en la columna de agua y posteriormente son transportadas por los flujos de agua o se hunden en los sedimentos debido al aumento de densidad causado por factores adicionales como la acumulación de biopelículas (He et al., 2021). Si hay un aumento en la velocidad del flujo, es probable que los microplásticos previamente asentados se vuelvan a movilizar (Gerolin et al., 2020).

Por tanto, los sedimentos de los ríos funcionan como sumideros de microplásticos y actúan como una fuente de movilización adicional. Además de la densidad y la velocidad de sedimentación derivado de las precipitaciones, se ha demostrado que la forma y el tamaño de los microplásticos desempeñan un papel en su comportamiento de dispersión y

transporte en los sedimentos acuáticos a medida que estos flotan en las diferentes secciones del río durante el tiempo de estudio (He et al., 2021).

Por otro lado, la temporalidad de estiaje correspondió a la estación de “*primavera*” donde las temperaturas registradas fueron mayores a 34°C, no hubo presencia de vientos fuertes y existieron cielos despejados lo que favorece la degradación de materia orgánica y aumenta la fotoxidación de microplásticos. En esta temporada se registró la menor abundancia de microplásticos debido a que la velocidad del agua más baja en las capas inferiores debilita el proceso hidrodinámico y provoca una transferencia de baja intensidad de microplásticos favoreciendo la retención de partículas relativamente constantes y más densas en lugar del movimiento (Xia et al. 2021).

DIVERSIDAD

Respecto a la diversidad de microplásticos durante las tres temporalidades se obtuvo una predominancia de **fragmentos** y **fibras** para **lluvias** con 26 y 25 *items/kg_{ss}* respectivamente, en **nortes** un mayor número de **fragmentos** con 23 *items/kg_{ss}* y estiaje con predominancia de **filamentos** con 18 *items/kg_{ss}* (Figura 42).

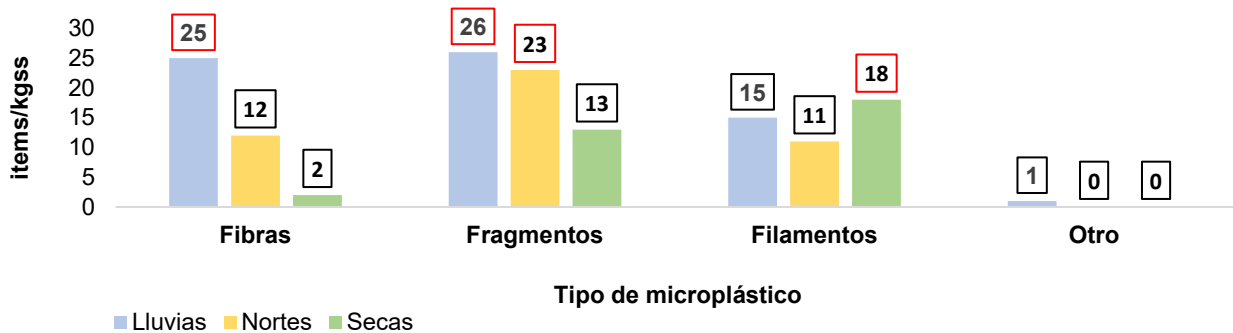


Figura 43. Diversidad de microplásticos por temporalidad de muestreo 2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

Los resultados concuerdan con estudios realizados en distintos sistemas de agua dulce en diferentes regiones del mundo como Zhang et al. (2019) donde informaron que las fibras eran el tipo más común de microplásticos detectados en las aguas superficiales del río Yongjiang; Vaughan et al. (2017) registraron mayor cantidad de fibras en sedimentos en el lago Edgbaston, Reino Unido; Di y Wang (2018) reportaron un predominio para el embalse “Tres Gargantas”, China; Blair et al. (2019) para el río urbano “Kelvin”, Escocia con un porcentaje mayor al 80%; Ding et al. (2019) para el río Wei, China representando el 42,25%;

Gerolin et al. (2020) en sedimentos de los ríos Amazonas; Zhou et al. (2020) en manglares de China con el 14% registrado; Sánchez-Hernández et al. (2021) en el estuario de Tecolutla, Veracruz.

Todos estos estudios concuerdan en que las fibras generalmente se desprenden de los textiles sintéticos y se liberan a través de las aguas residuales domésticas y se ha sugerido que pueden transportarse a una mayor distancia por su densidad menor, por lo tanto, su presencia puede atribuirse a entradas distintas aguas arriba del sitio de estudio o por la precipitación atmosférica de fibras en el aire (Blair et al., 2019). Además, las actividades pesqueras también podrían aumentar la presencia de fibras en estas aguas y sedimentos (Cole et al., 2011).

Mientras que los fragmentos pueden ser de igual o mayor predominancia en los sistemas de agua dulce comparado con Eo et al. (2019) en el río Nakdong, Corea del sur con el 84%; Shruti et al. (2019) en el río Atoyac, Puebla con el 22.2%; Jian et al. (2020) en el lago Poyang, China; Wang et al. (2020) en el río urbano Qing, Beijing; Wu et al. (2020) en el río Maozhou, China con el 89.4%. Principalmente los fragmentos se atribuyen a la ruptura de la basura plástica de mayor tamaño como: materiales de embalaje, recipientes de plástico, bolsas, botellas, tapas, entre otras, puesto que la Reserva Ecológica Arroyo Moreno es un área con actividades antropogénicas que eleva la presencia de cantidad plástica que posteriormente puede ser transportada y degradada. Sin embargo, es probable que se deba también a la escorrentía de agua de lluvia, vertederos cercanos a cielo abierto; zonas residenciales y de gran población aledaña. Esto es particularmente importante en la investigación de MP ya que los fragmentos pueden volverse más abundantes si la basura plástica que ya está presente en el medio ambiente continúa degradándose en fracciones más pequeñas por las altas temperaturas o tasas de fotoxidación con penetración rayos UV (Blair et al., 2019).

COLOR

Durante las tres temporalidades el color que predominó en los microplásticos fue el blanco entre el 22 al 58% del total registrado, seguido de colores diversos principalmente el color verde y azul (Figura 43) como lo reportado por Shruti et al. (2019), Gerolin et al. (2020), Wu et al. (2020), Singh et al. (2021) donde el blanco ha sido el predominante.

Los colores dependen en gran medida del uso que se le da al polímero y con el tiempo la degradación hace más fácil que muchos organismos los confundan con recursos

alimentarios provocándoles la muerte por inanición y a su vez exista una pérdida de biodiversidad en los manglares (Zhou et al., 2020). Especialmente, los microplásticos blancos contribuyen potencialmente a la probabilidad de ingestión por parte del plancton, los peces, invertebrados y otros organismos debido al parecido con las presas (Shruti et al., 2019) haciendo que dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno exista una pérdida de biodiversidad ya que en ella se registran especies de gran importancia comercial, al ser un sitio de tipo ribereño.

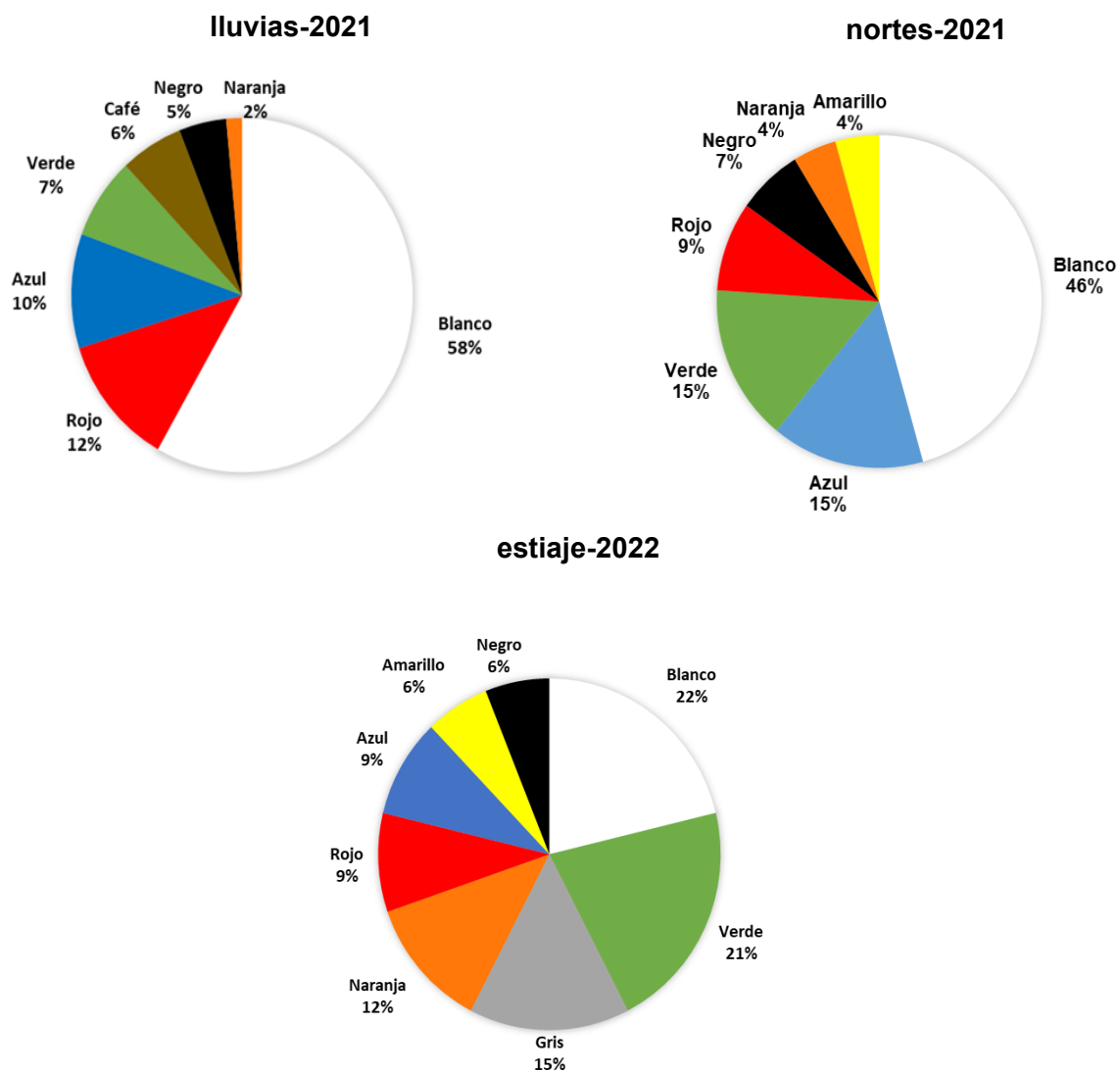


Figura 44. Porcentaje de color de microplásticos por temporalidad dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

FASE 2. RESULTADOS POR TEMPORALIDAD

LLUVIAS

ABUNDANCIA

Como se pudo observar en la Tabla 14 esta temporalidad obtuvo la mayor abundancia de microplásticos identificados con un total de **67 *items/kg_{ss}***, teniendo al **Punto-2 “Zona residencial Tampiquera”** y al **Punto-5 “Canal Zamorana”** como sitios donde se presentó mayor número de microplásticos con **19 *items/kg_{ss}*** respectivamente (Figura 44).

El Punto-2 “Zona residencial” es propicio a localizar mayor abundancia de microplásticos ya que es una zona en la cual se localizan múltiples casas habitacionales residenciales a orillas de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno permitiendo que la acumulación de contaminación plástica directa de los habitantes por una posible mala gestión de residuos o de las zonas aledañas las cuales no cuentan con sistemas de recolección de basura adecuada por parte del municipio, así como la presencia de tuberías de aguas residuales domésticas las cuales contienen principalmente fibras provenientes de lavado de ropa que desfogan o vierten directo al arroyo sin contar con retenedores de plásticos haciendo que estos microplásticos sean transportados directamente por el caudal.

En el caso del Punto-5 “Canal de la Zamorana” este sitio es de vital importancia y preocupación ya que a través de él se desfoga directamente grandes cantidades de aguas pluviales mezcladas con aguas residuales proveniente de colonias aledañas acarreando grandes cantidades de plásticos de diversos sitios y una vez retenidos en la vegetación del manglar o en los mismos sedimentos son propensos a la degradación.

Estos resultados concuerdan con trabajos realizados en Puebla, México por Shruti et al. (2019) en el río urbanizado Atoyac que se localiza cercano a población densa y complejos industriales; He et al. (2020) a lo largo de río Brisbane, Australia cercanos a zonas residenciales, comerciales e industriales, y en ríos de China donde la acumulación mayor de microplásticos son cercanos a sitios con actividades antropogénicas, industriales y viviendas; sumando a ello que el río es usado como un canal de drenaje para otros sistemas que transportan agua de lluvia, escorrentías y descargas de inundaciones ocasionales de sitios aledaños (Chen et al., 2020).

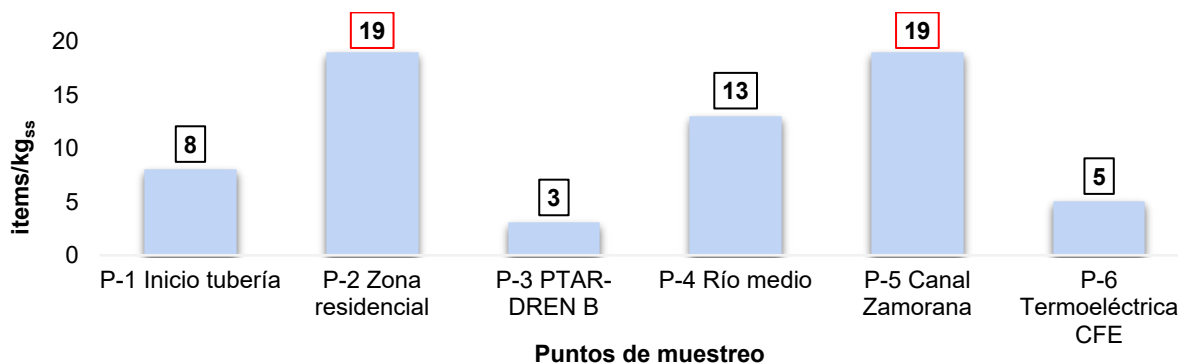


Figura 45. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

Mientras que el **Punto-3 “PTAR-DREN B”** y el **Punto-6 “Termoeléctrica CFE”** son sitios en los cuales la abundancia de microplásticos fue baja con un total de **3 items/kg_{ss}** y **5 items/kg_{ss}** respectivamente, esto puede ser debido a los cambios en el flujo del caudal debido a las curvas del sitio lo que puede influir en el transporte de fondo de los sedimentos, a la densidad de los propios polímeros, a la mayor abundancia de materia orgánica en ambos sitios y debido a que estos puntos se encuentra alejados de zonas con actividades antropogénicas o presencia de manchas urbanas cercanas.

DIVERSIDAD

De forma global durante la temporada de lluvias en los seis puntos de muestreo los **fragmentos** representan el **38.8 %** del total de microplásticos identificados con **26 items/kg_{ss}**, seguido de las **fibras** representando un **37.3%** con **25 items/kg_{ss}**, los **filamentos** representando el **22.38%** con **15 items/kg_{ss}**, y otro tipo de microplástico el cual no fue posible identificar en su totalidad representando solo el **1.49 %** con sólo **1 items/kg_{ss}** (Figura 45), representado mediante SIG estos datos se observan en la Figura 46. Los resultados son similares con lo reportado por Eo et al. (2019) donde reportan mayor predominio de estos tipos de microplásticos durante la época de lluvias.

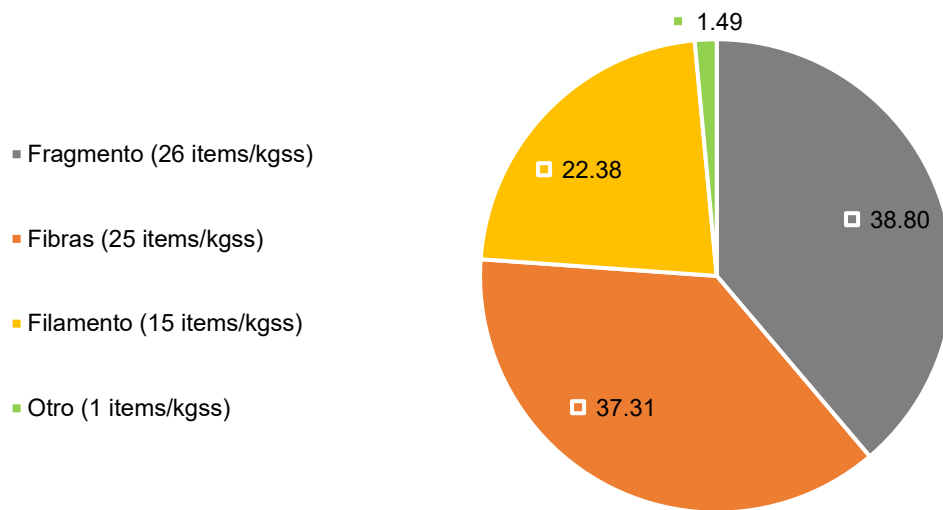


Figura 46. Diversidad de microplásticos durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

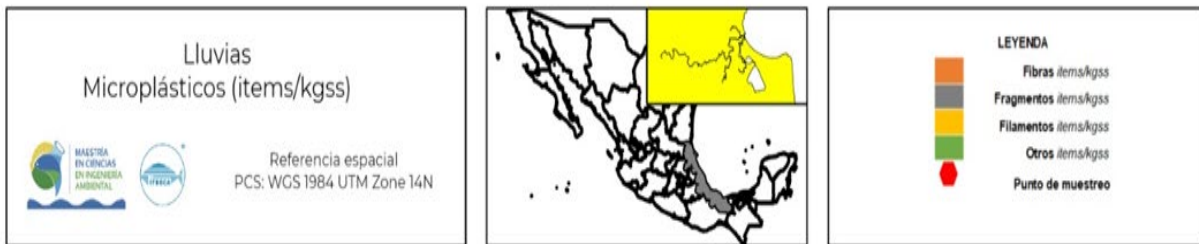
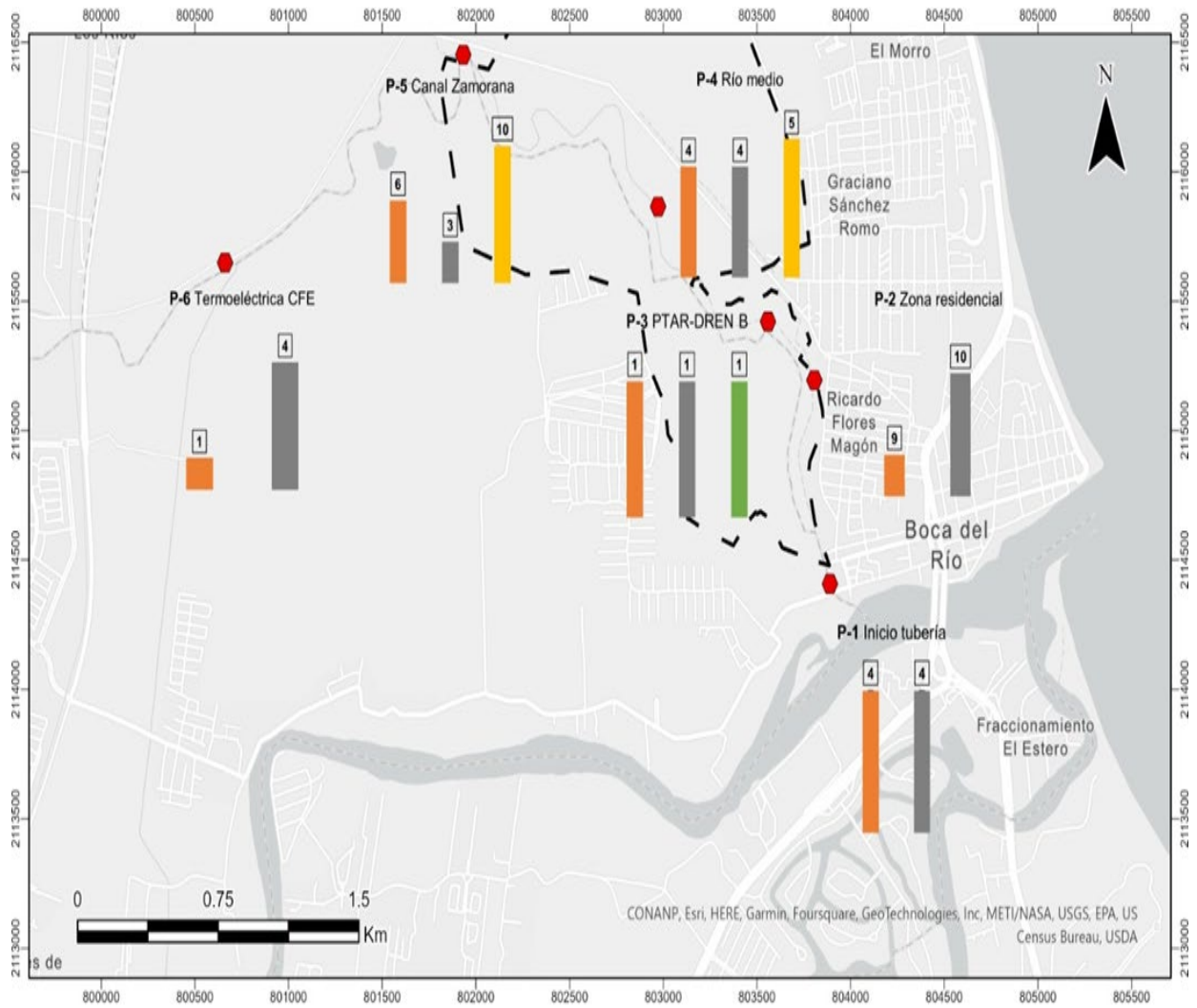


Figura 47. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de *microplásticos* en sedimentos durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).

TAMAÑO

Se registró mayor predominancia con los tamaños de **2.3 mm** (No. tamiz 8) con **17 items/kg_{ss}** siendo las **fibras** y **fragmentos** los que predominaban y de **1.6 mm** (No. de tamiz 12) con **16 items/kg_{ss}** predominando solo los **fragmentos**; mientras que no hubo presencia de microplásticos de tamaño de 5 mm (Figura 47), lo que nos confirma que los microplásticos han sido degradados por periodos de tiempo largos y estos se acarrean conforme la densidad se lo permita.

Las partículas de alta densidad pueden ocupar la ruta de transporte béntico como carga de fondo y depositarse en los tramos inferiores del río, mientras que las partículas de fracciones de tamaño fino <2 mm y baja densidad, como es el caso, pueden ocupar la ruta de transporte pelágico en suspensión y ser transportadas a mayores distancias o ser resuspendidas por la fuerza del caudal durante la temporada de lluvias. Esto puede resultar en que partículas microplásticas de menor tamaño se transfieran al agua suprayacente a través de la resuspensión, ya que son lo suficientemente pequeñas como para ser más susceptibles a la perturbación por procesos hidrodinámicos (Xia et al., 2021).

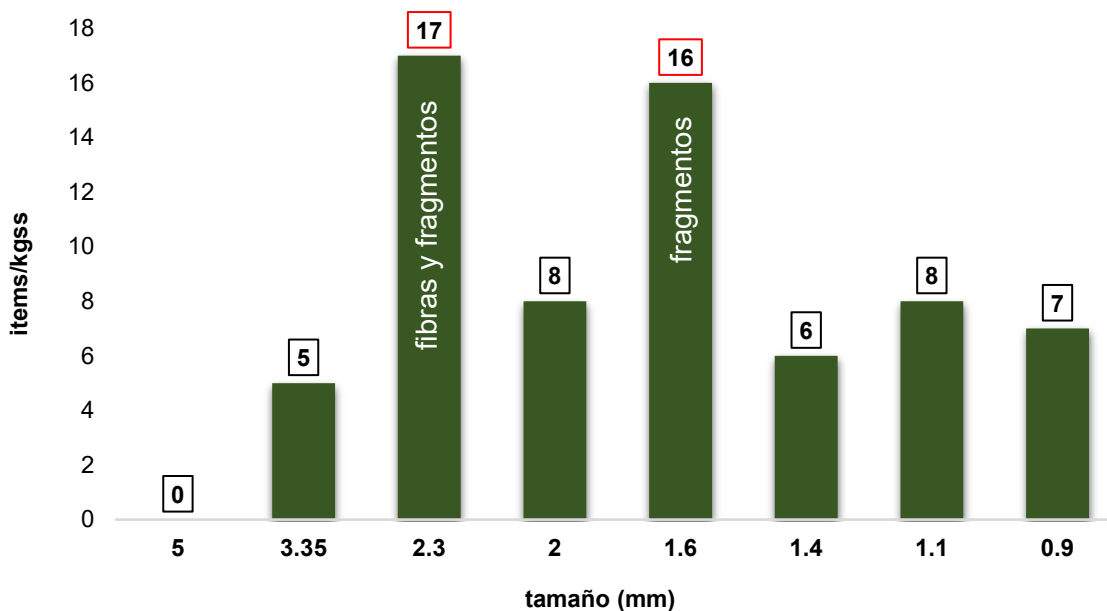


Figura 48. Tamaño de microplásticos obtenidos durante lluvias-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

NORTES

ABUNDANCIA

La temporalidad de nortes para este estudio correspondió a la estación de “otoño” o “frentes fríos” en donde las temperaturas comienzan a descender, existe mayor humedad y mayores ráfagas de vientos logrando alcanzar más de 30 km/hrs., actuando en los sedimentos con una mayor resuspensión superficial y una lenta resuspensión del fondo y mezcla de nutrientes. En esta temporada se obtuvo un total de **46 items/kg_{ss}** (Figura 40), número menor a lo registrado por Sánchez-Hernández et al. (2021) quienes reportan en esta temporalidad la mayor abundancia de microplásticos en el estuario de Tecolutla, Veracruz.

Los sitios de mayor abundancia permanecieron igual que en lluvias (**Punto-2 “Zona residencial Tampiquera”** y al **Punto-5 “Canal Zamorana”**) con **15 items/kg_{ss}** respectivamente (Figura 48), recordemos que estos puntos son cercanos a zonas habitacionales, descarga directa de aguas residuales y pluviales. Mientras que el **Punto-1 “Inicio de tubería”, Punto-4 “Río medio”** y **Punto-6 “Termoeléctrica CFE”** se obtuvo la menor cantidad de microplásticos con **3 items/kg_{ss}** y **4 items/kg_{ss}** al ser sitios alejados de zonas urbanas. Cabe mencionar que el Punto-3 “PTAR-Dren B” no está en operación y el caudal que llega a esta zona del arroyo es propenso al acarreo de desechos plásticos de zonas aguas arriba por lo que es un sitio con presencia de microplásticos.

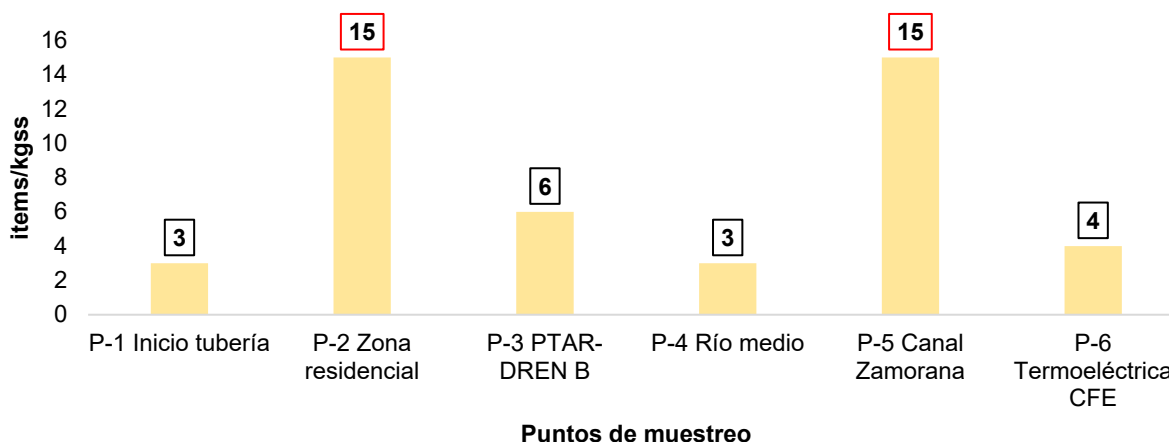


Figura 49. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

DIVERSIDAD

De forma global durante la temporada de nortes en los seis puntos de muestreo los **fragmentos** siguieron representando la mayor diversidad con un porcentaje **del 50 %** del total de microplásticos identificados con **23 *items/kg_{ss}***, seguido de las **fibras** con un **26.08%** con **12 *items/kg_{ss}*** y los filamentos representando el **23.91%** con solo **11 *items/kg_{ss}*** (Figura 49) representado mediante SIG estos datos de observan en la Figura 50.

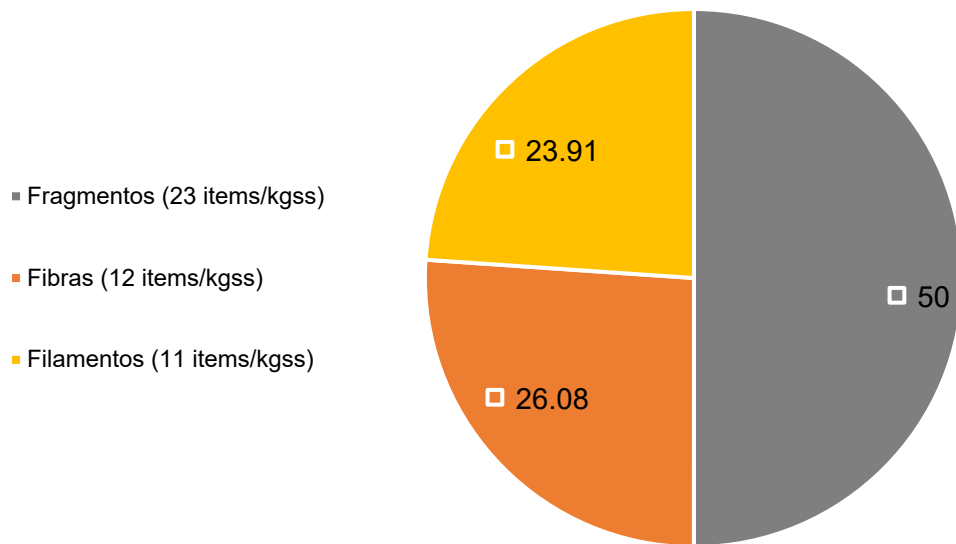


Figura 50. Diversidad de microplásticos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

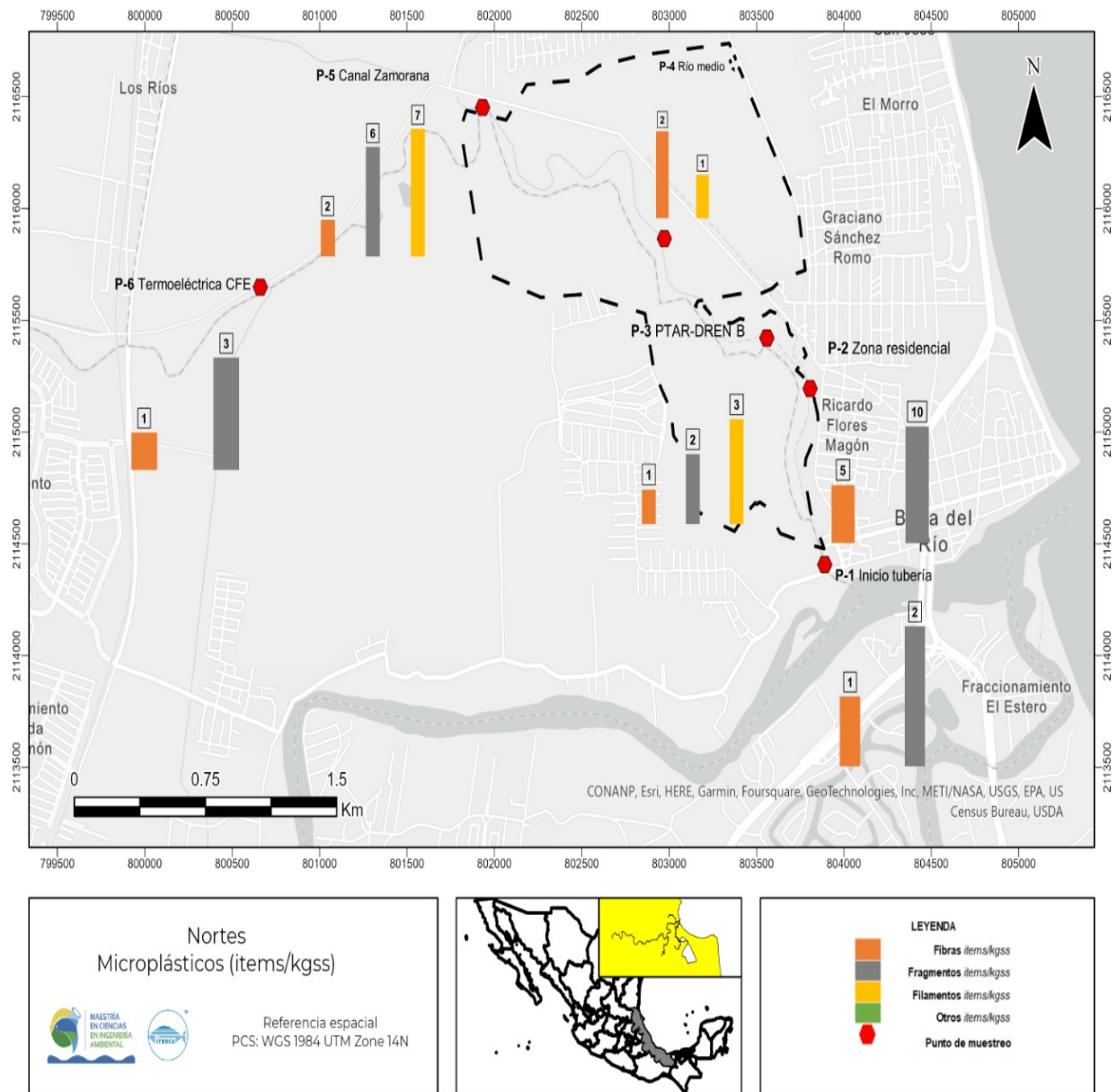


Figura 51. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de microplásticos en sedimentos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).

TAMAÑO

Con respecto al tamaño de microplásticos presentes en nortes, podemos observar que hubo mayor predominancia con los tamaños de **5 mm** (No. tamiz 4) con **15 items/kg_{ss}** siendo los **fragmentos** y **filamentos** los que predominaban (Figura 51) debido a que los microplásticos más grandes (>2,0 mm) tienen más probabilidades de ser retenidos en las capas superficiales de los sedimentos a diferencia de las capas más profundas que suelen tener microplásticos de menor tamaño y estos pueden quedar retenidos a menos que haya fuerzas mayores que hagan que puedan ser de nuevo movidos por las corrientes (Blair et al., 2017).

Es importante mencionar que durante esta temporalidad los vientos arrastraron mayor cantidad de macroplásticos (ANEXO A) y estos se pudieron observar entre la vegetación del mangle, orilla del río y los sedimentos más superficiales, que con el paso del tiempo y los cambios estacionales favorecerán a su degradación hasta microplásticos. La mayoría de los macroplásticos se fragmentaban durante el muestreo.

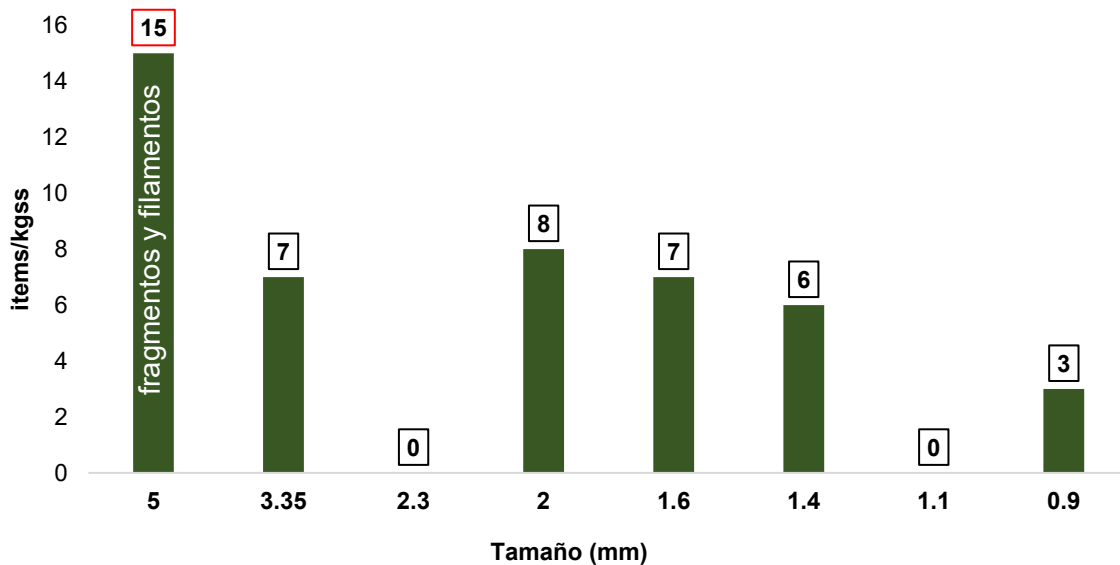


Figura 52. Tamaño de microplásticos obtenidos durante nortes-2021 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

ESTIAJE

ABUNDANCIA

La temporalidad de estiaje para este estudio correspondió a la estación de “*primavera*” donde deja de llover, no existe mucha humedad en el ambiente, pero la radiación solar es mayor debido a la falta de nubes, por lo que se registran las mayores temperaturas lo que a su vez aumenta el proceso de degradación de materia orgánica y la fotoxidación de los microplásticos. Para esta temporalidad se obtuvo un total de **33 *items/kg_{ss}*** (Figura 40), siendo el **Punto-5 “Canal Zamorana”** el que presenta una mayor abundancia de microplásticos con **27 *items/kg_{ss}*** (Figura 52).

Esta menor abundancia de microplásticos durante esta temporada es debido a que no existen grandes cambios en el cauce del arroyo por precipitaciones o erosiones constantes de capas del fondo, lo que propicia a que los microplásticos pueden quedar enterrados en los sedimentos durante largos períodos de acumulación o que éstos suelen ser de mayor densidad y queden retenidos sin cambios o resuspensión en capas de sedimentos más profundas (Hidalgo-Ruz et al., 2012).

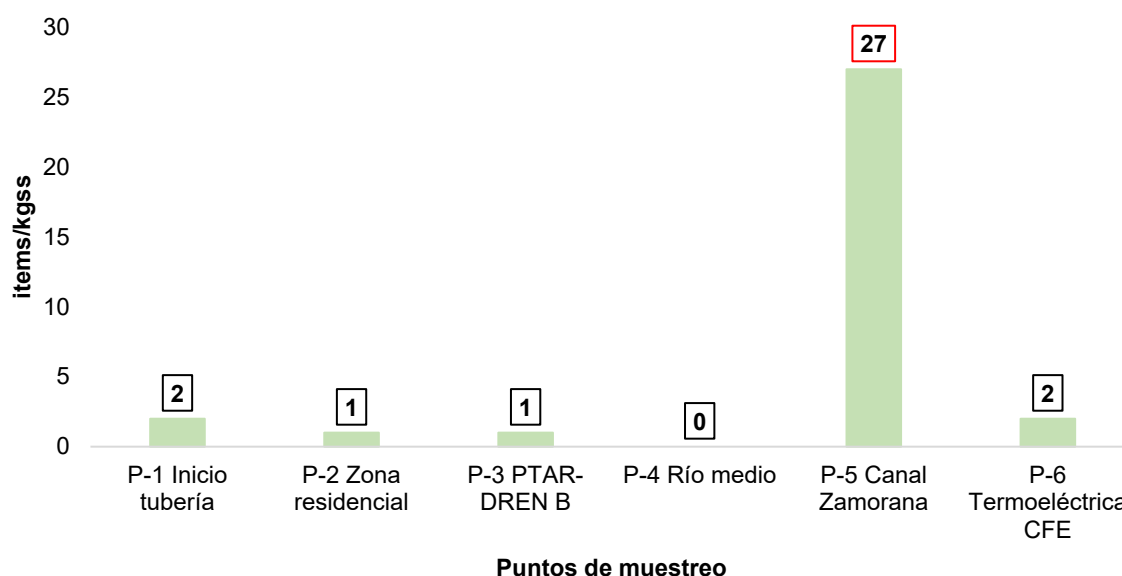


Figura 53. Abundancia de microplásticos por puntos de muestreo durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

DIVERSIDAD

De forma global durante la temporada de estiaje en los seis puntos de muestreo los **filamentos** representaron la mayor diversidad con un porcentaje del **54.54 %** del total de microplásticos identificados con **18 *items/kg_{ss}***, seguido de los fragmentos con un **39.39%** con **13 *items/kg_{ss}*** y las **fibras** representando solo el **6.06%** con solo **2 *items/kg_{ss}*** (Figura 53), representado mediante SIG estos datos se observan en la Figura 54.

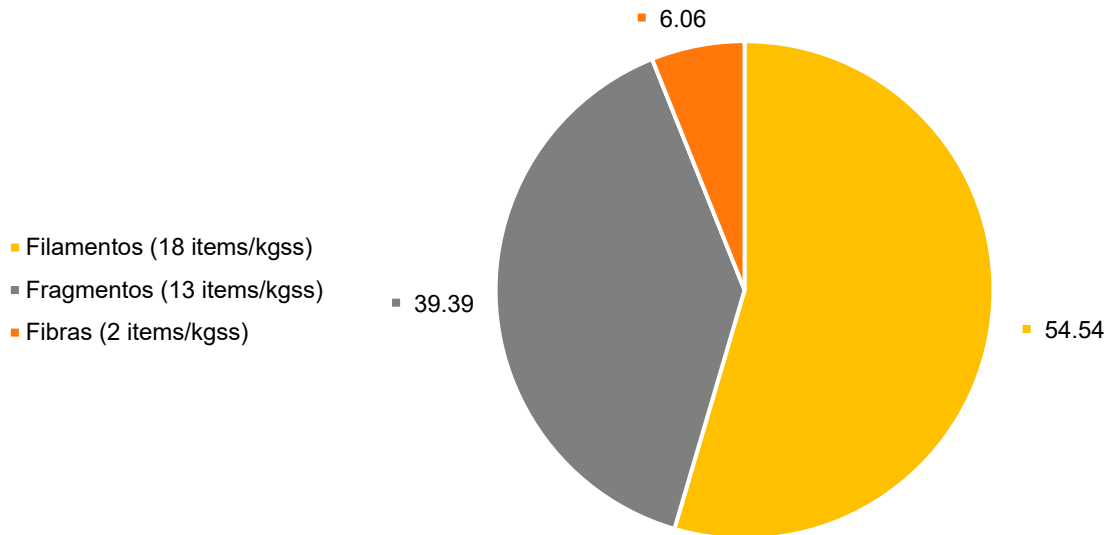


Figura 54. Diversidad de microplásticos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

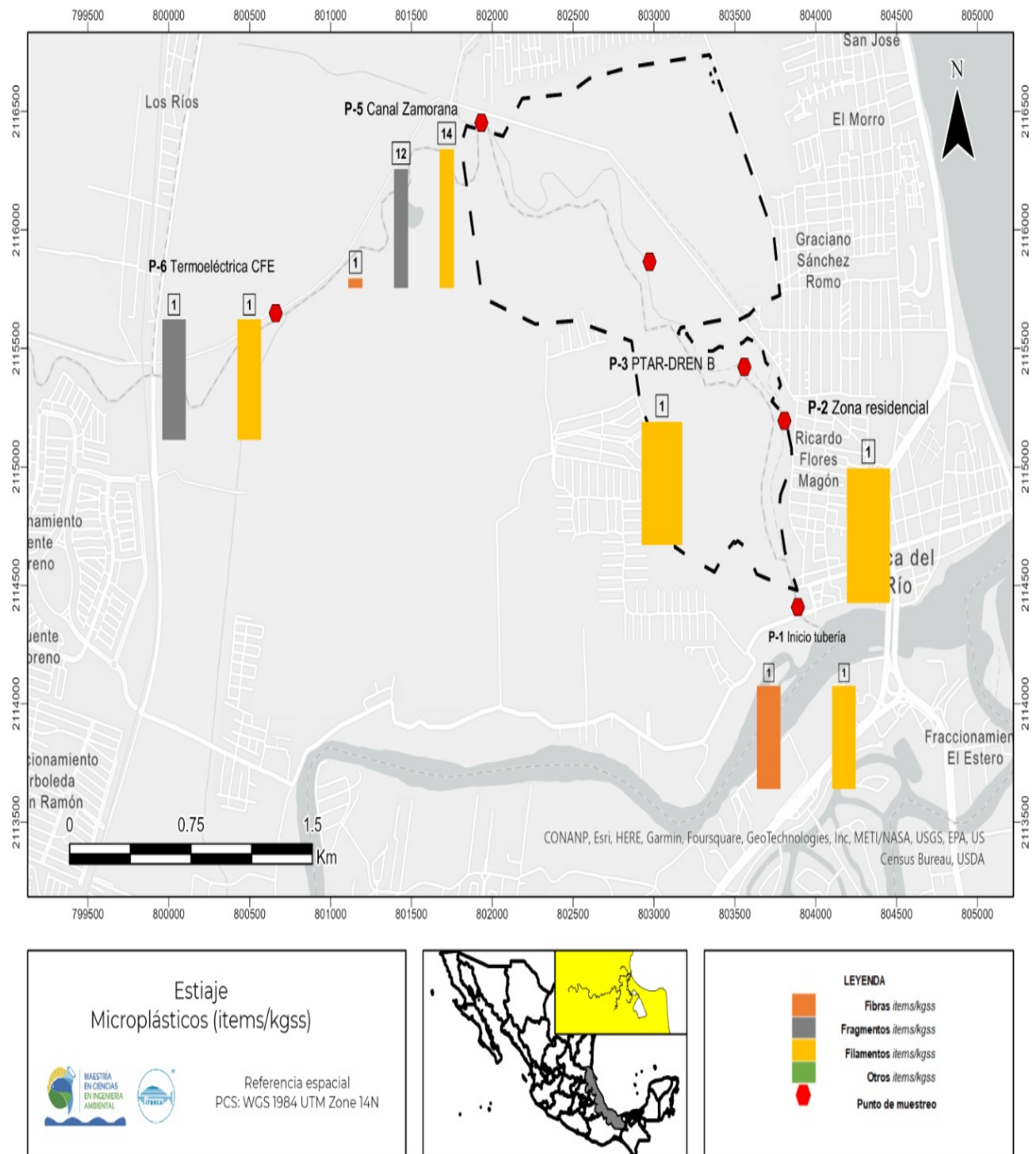


Figura 55. Localización geográfica y puntos de muestro de la diversidad de microplásticos en sedimentos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz. (Elaborado con ArcGIS Pro. 2.7).

TAMAÑO

Con respecto al tamaño de microplásticos presentes en estiaje, podemos observar que hubo mayor predominancia con los tamaños de **5 mm** (No. tamiz 4) con **24 items/kg_{ss}** siendo los **filamentos** los que predominaban (Figura 55)

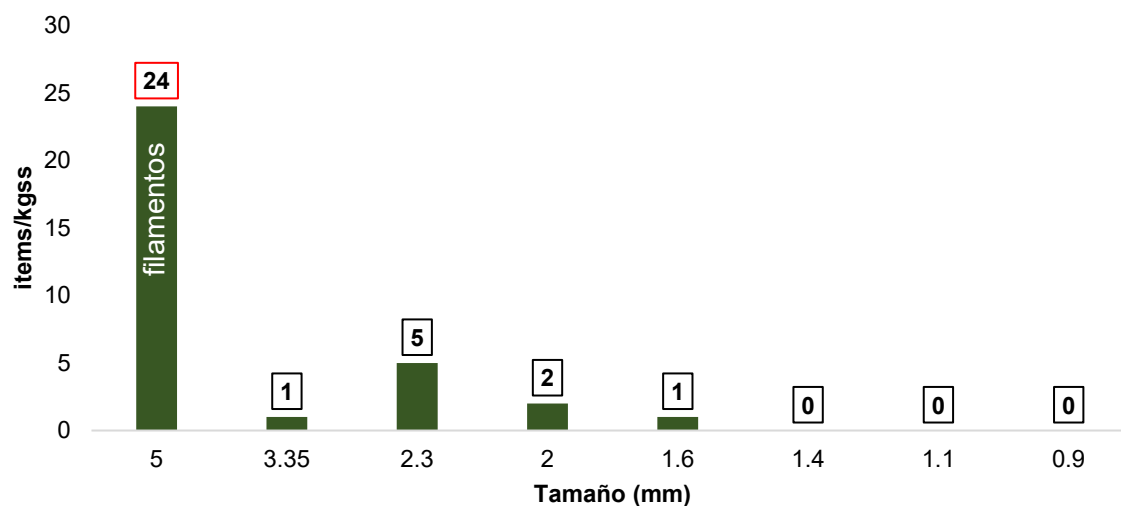


Figura 56. Tamaño de microplásticos obtenidos durante estiaje-2022 dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno, Veracruz.

10. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un total de 146 microplásticos los cuales se distribuyeron en las tres temporalidades; donde la temporalidad con mayor abundancia fue lluvias con *67 items/kg_{ss}*.
- Las fuentes puntuales con mayor abundancia de microplásticos en las tres temporalidades correspondieron al Punto-2 “Zona residencial Tampiquera” y Punto-5 “Canal Zamorana”, sitios con descargas directas de aguas residuales domésticas y pluviales, y cercanas a zonas urbanas.
- La mayor diversidad de microplásticos correspondió a fragmentos y fibras en temporada de lluvias y nortes, mientras que en estiaje predominó el tipo filamentos.
- El color que predominó para las tres temporalidades fue el color blanco, seguido del verde y azul.
- El tamaño de microplásticos que predominó en la temporada de lluvias fue 2.3 mm (fibras) y 1.6 mm (fragmentos), mientras que para nortes y estiaje predominó el tamaño de 5mm (fragmentos y filamentos).
- Este estudio permite tener un primer acercamiento espacio-temporal sobre la distribución, diversidad y abundancia de microplásticos en cuerpos de agua dulce, sobre todo en sitios de importancia ecológica con la finalidad de seguir su monitoreo y promover un mejor plan de manejo y protección.
- Los microplásticos en los sedimentos podrían servir como un indicador de la extensión espacial a la que se pueden propagar las actividades antropogénicas dentro de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno.

11. RECOMENDACIONES

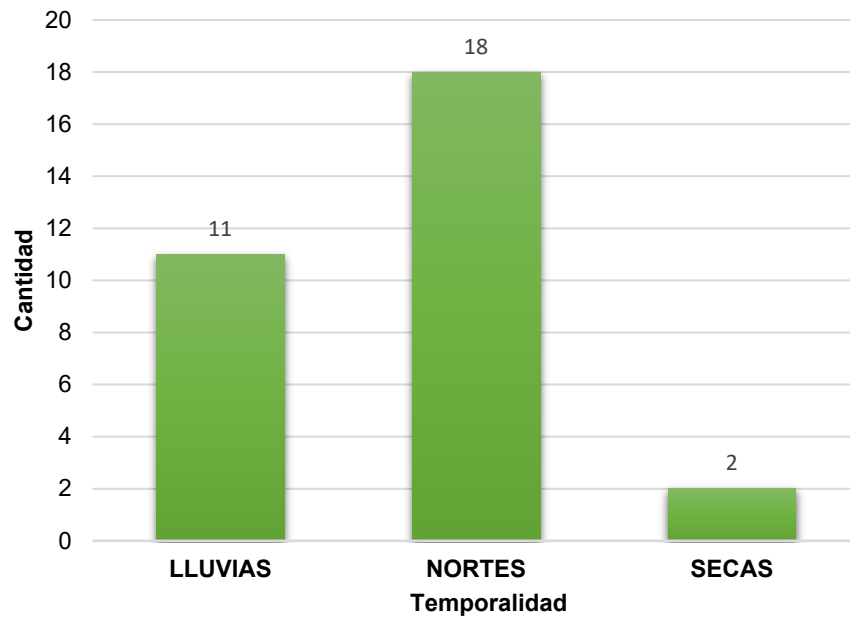
- Identificar más fuentes puntuales de contaminación para complementar el estudio a todo lo largo de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno.
- Ampliar el muestreo espacial e incorporar otros compartimentos ambientales (agua, aire, sedimentos superficiales) para evaluar el alcance de su variabilidad espacio-temporal y el potencial de almacenamiento versus el transporte de microplásticos en estos sistemas.
- Realizar estudios complementarios de hidrología como: velocidad de corrientes y batimetría para poder comparar con mayor detalle el transporte de sedimentos del área y cómo se comportan los microplásticos a lo largo del sitio.
- Llevar a cabo muestreos cercanos a la desembocadura con el mar para tener una comparación entre ambos cuerpos de agua.
- Realizar mayores estudios de microplásticos en sistemas de agua dulce para contribuir a un mayor conocimiento sobre esta problemática ambiental.
- Realizar estudios de identificación de polímeros por medio de técnicas como espectroscopia Infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).
- Unificar una metodología para el aislamiento, la identificación y cuantificación de microplásticos tanto en ambientes marinos como en aguas dulces principalmente, para así reducir la comparabilidad entre los estudios disponibles.
- Diseñar e implementar estrategias de recolección participativa de residuos sólidos en las comunidades aledañas de la Reserva Ecológica Arroyo Moreno en las cuales se promuevan actividades de reciclaje y aprovechamiento.

ANEXO A

Macroplásticos encontrados >5 mm



CANTIDAD DE MACROPLÁSTICOS POR TEMPORALIDAD EN LA RESERVA ECOLÓGICA ARROYO MORENO, VERCARUZ



12. LITERATURA CITADA

Acosta-González G., Carrillo, R. D. V. y Caballero, V. J. A. (2022). Microplásticos en agua y en organismos. En: Contaminación por microplásticos. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 14-21.

Aké-Castillo, J. A., Rodríguez G., C. F., y Buendía, A. L. (2016). Arroyo Moreno: Un manglar en la ciudad. *Revista Ciencia y Luz*, Universidad Veracruzana, (XXIX), 1.

Álvarez, L. D. G., De Jesús, F. B., Costa, A. P. L., Bastos, L. E. F., De Souza, D. A. M., y da Silva, D. G. (2020). Efectos de los microplásticos en el medio ambiente: Un macroproblema emergente. *Revista de Ciencia y Tecnología: RECyT*, (33), 1-10.

Álvarez-Zeferino, J. C., Cruz-Salas, A. A., Vázquez-Morillas, A., y Ojeda-Benítez, S. (2020). Method for quantifying and characterization of microplastics in sand beaches. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(1), 151-164.

Amaral-Zettler, L. A., Zettler, E. R., y Mincer, T. J. (2020). Ecology of the plastisphere. *Nature Reviews Microbiology*, 18(3), 139-151.

Auta, H. S., Emenike, C. U., y Fauziah S. H. (2017). Distribution and importance of Microplastics in the marine environment: a review of the sources, fate, effects, and potencial solution. *Environmental International*, 102, 165-176.

Avio, C. G., Gorbi, S., y Regoli, F. (2017). Plastics and Microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2-11.

Ballesteros, P. L. V. (2014). Los bioplásticos como alternativa verde y sostenible de los plásticos basados en petróleo. Universidad de San Buenaventura Cartagena, 1-22.

Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A. K., y Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health. *Marine pollution bulletin*, 133, 336-348.

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*, 142, 189-195.

Blair, R. M., Waldron, S., Phoenix, V. R., y Gauchotte-Lindsay, C. (2019). Microscopy and elemental analysis characterisation of microplastics in sediment of a freshwater urban river in Scotland, UK. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12), 12491-12504.

Borges-Ramírez, M. M., Mendoza-Franco, E. F., Escalona-Segura, G., y Rendón-von Osten, J. (2020). Plastic density as a key factor in the presence of microplastic in the gastrointestinal tract of commercial fishes from Campeche Bay, Mexico. *Environmental pollution*, 267, 115659.

Bravo-Espinosa, M., Osterkamp, W. R., y Lopes, V. L. (2004). Transporte de sedimentos en corrientes naturales: revisión técnica de ecuaciones empíricas de predicción del arrastre de sedimentos de fondo. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 377-386.

Briz, M. E. (2020). "La polución marina por nurdles es un problema global para el cual se necesita acción urgente. - Mingas por el mar". Mingas por el mar. Consultado el 21

de febrero de 2022. <https://www.mingasporelmar.org/la-polucion-marina-por-nurdles-es-un-problema-global-para-el-cual-se-necesita-accion-urgente/>.

Cashman, M. A., Ho, K. T., Boving, T. B., Russo, S., Robinson, S., y Burgess, R. M. (2020). Comparison of microplastic isolation and extraction procedures from marine sediments. *Marine pollution bulletin*, 159, 111507.

Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, M. A., y Ricciardi, A. (2014). Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(12), 1767-1771.

Cole, M., Pennie, L., Claudia, H. y T, S. G. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin* 62(12), 2588–97.

Corcoran, P. L., Norris, T., Ceccanese, T., Walzak, M. J., Helm, P. A., y Marvin, C. H. (2015). Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record. *Environmental Pollution*, 204, 17-25.

Cruz-Salas, A. A., Alvarez-Zeferino, J. C., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, G. O. M., Vázquez-Morillas, A., y Ojeda-Benitez, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, 24(71), 3-21.

Di, M., y Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of The Total Environment*, 616, 1620-1627.

Ding, L., fan Mao, R., Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., y Yang, C. (2019). Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *Science of the Total Environment*, 667, 427-434.

ECOPLAS. (2019). Economía circular una oportunidad para los plásticos. Publicaciones de ECOPLAS, (51), 1-16.

Eerkes-Medrano, D., Richard, C.T. y David, C. A. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research* (75), 63–82.

Environmental Protection Agency (EPA). (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. EPA-823-B-01-002. Office of Science and Technology Office of Water. Washington, DC. 208.

Eo, S., Sang, H. H., Young, K. S., Gi, M. H. y Won, J. Sh. (2019). Spatiotemporal Distribution and Annual Load of Microplastics in the Nakdong River, South Korea. *Water Research* 160, 228–37. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.053>.

Falahudin, D., Cordova, M. R., Sun, X., Yogaswara, D., Wulandari, I., Hindarti, D., y Arifin, Z. (2020). The first occurrence, spatial distribution and characteristics of microplastic particles in sediments from Banten Bay, Indonesia. *Science of The Total Environment*, 705, 1-38.

Gaceta Oficial. (2008). Órgano del gobierno del estado de Veracruz. Decreto que reforma el diverso de fecha 25 de noviembre de 1999 por el que se declara área natural protegida, como zona sujeta a conservación ecológica, el lugar conocido como Arroyo Moreno. Xalapa, Veracruz. Gaceta Oficial 274. Aprobado el 22 de agosto de 2008

- Garcés-Ordóñez, O., Bayona, A. M. y Rueda, B. R. (2018). Evaluación de impactos de microplásticos sobre el ecosistema de manglar en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Colombia. NVEMAR-MINAMBIENTE 2018. Cuarto Informe técnico. Convenio Interadministrativo 659 de 2017. Santa Marta, Colombia. 374
- García, Sergio. (2009). Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 10(1), 71-80.
- García-Gómez, C., Gortáres-Moroyoqui, P., y Drogui, P. (2011). Contaminantes emergentes: efectos y tratamientos de remoción. *Química Viva*, 10(2), 96-105.
- García-Villar, A. M., Montoya-Mendoza, J., y Chávez-López, R. (2019). Aproximación histórica de la composición de especies de peces en Arroyo Moreno, Veracruz, México. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*. doi:10.22201/fesi.20072082.2019.12.72323
- Garibay-Pardo, L. (2006). Desarrollo comunitario: base para las propuestas de conservación y manejo del Manglar Arroyo Moreno. Tesis de grado. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, 151.
- Gerolin, C. R., Pupim, F. N., Sawakuchi, A. O., Grohmann, C. H., Labuto, G., y Semensatto, D. (2020). Microplastics in sediments from Amazon rivers, Brazil. *Science of the Total Environment*, 749, 141604.
- GESAMP. (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, No. 90, 96.
- GESAMP. (2016). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, No. 93, 220.
- GESAMP. (2019). Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Rep. Stud. GESAMP, No. 99, 130.
- Giraldez Alvarez, L. D., Braz De Jesus, F., Lacerda Costa, A. P., Ferraz Bastos, L. E., Moura De Souza, D. A., y Gongalves da Silva, D. (2020). Efectos de los microplásticos en el medio ambiente: Un macroproblema emergente. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (33), 1-10.
- Góngora-Pérez, J. P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior BANCAMEX*, 64(5), 1-4.
- Guerra-Garduño, L. M. (2022). El impacto ambiental de los plásticos. En Manifestación y evaluación del impacto ambiental: retos, oportunidades y responsabilidades, segunda parte. *Boletín Academia de Impacto Ambiental*, A.C. Edición 72, 8-11
- He, B., Goonetilleke, A., Ayoko, G. A., y Rintoul, L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments, Australia. *Science of the Total Environment*, 700, 134467.
- He, B., Smith, M., Egodawatta, P., Ayoko, G. A., Rintoul, L., y Goonetilleke, A. (2021). Dispersal and transport of microplastics in river sediments. *Environmental pollution*, 279, 116884.

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., y Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental science & technology*, 46(6), 3060-3075.

Hoellein, T. J., Shogren, A. J., Tank, J. L., Risteca, P., y Kelly, J. J. (2019). Microplastic deposition velocity in streams follows patterns for naturally occurring allochthonous particles. *Scientific Reports*, 9(1), 1-11.

Horton, A. A., y Dixon, S. J. (2018). Microplastics: An introduction to environmental transport processes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5(2), <https://doi.org/10.1002/wat2.1268>.

Hudson. (1997). Capítulo 5: Transporte de sedimentos. FAO, <https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s07.htm>

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2014). Procesos de transporte de sedimentos. Consultado en 29/6/22 <http://www.gob.mx>

Jian, M., Zhang, Y., Yang, W., Zhou, L., Liu, S., y Xu, E. G. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in China's largest freshwater lake system. *Chemosphere*, 261, 128186.

Katija, K., Choy, C. A., Sherlock, R. E., Sherman, A. D., y Robison, B. H. (2017). From the surface to the seafloor: How giant larvaceans transport microplastics into the deep sea. *Science Advances*, 3(8), 1-5.

Kelly, A., Lannuzel, D., Rodemann, T., Meiners, K. M., y Auman, H. J. (2020). Microplastic contamination in east Antarctic Sea ice. *Marine Pollution Bulletin*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111130>

León-Muez, D., Peñalver, P., Franco, E., Benfatti, E., y Comes, L. (2020). Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos. Proyecto LIBERA y Asociación Hombre y Territorio (HyT). España, 1-68.

Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., y Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment international*, 163, 1-8.

Li, C., Gan, Y., Zhang, C., He, H., Fang, J., Wang, L., . . . Liu, J. (2020). Microplastic communities in different environments: Differences, links, and role of diversity index in source analysis. *Water Research*, DOI:10.1016/j.watres.2020.116574, 1-46.

Li, J., Ouyang, Z., Liu, P., Zhao, X., Wu, R., Zhang, C., ... y Guo, X. (2021). Distribution and characteristics of microplastics in the basin of Chishui River in Renhuai, China. *Science of The Total Environment*, 773.

Li, Y., Zhang, H., y Tang, C. (2020). A review of possible pathways of marine microplastics transport in the ocean. *Anthropocene Coasts*, 3(1), 6-13

López, A. y Alcalde, A. (2020). Historia de los plásticos. Universidad de Burgos, <https://historiamateriales.ubuinvestiga.es/plasticos/>.

López-Portillo, J.; L. R. Gómez; A. L. Lara-Domínguez; A. Ávila-Ángeles y A. D. Vázquez-Lule. (2009). Caracterización del sitio de manglar Arroyo Moreno, en Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar

con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F, 1-17.

Lugo, CH. E., Ramos, C. C.S., Cid, B. A.K., y Quevedo, M. M.V. (2019). Reciclar, la falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica. Estado de reciclaje en México. Greenpeace, 70.

Luo, W., Su, L., Craig, N. J., Du, F., Wu, C., y Shi, H. (2019). Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental pollution*, 246, 174-182.

Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Connor, I., y Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific reports*, 5, 14947.

Manrique-Muñante, R. E. (2019). Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú. Tesis de grado. Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), 103.

Méndez-Álvarez, J. C. (2013). Análisis del estado actual de conservación del Área Natural Protegida Arroyo Moreno, (Boca del Río, Veracruz), bajo un enfoque de intervención ecológica. Tesis de maestría, Universidad Veracruzana (UV). Centro de Investigaciones Tropicales, 98.

Mohamed-Nor y Obbard J. P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 79 (1-2), 278–83. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>.

Morillo-Velarde, M. L. (2021). Efectos potenciales de los microplásticos en la salud humana. Tesis de grado. Universidad de Sevilla, Departamento de Química Inorgánica, 39.

Niu, L., Li, Y., Li, Y., Hu, Q., Wang, C., Hu, J., ... Zhang, H. (2021). New insights into the vertical distribution and microbial degradation of microplastics in urban river sediments. *Water research*, 188, 116449.

Oliva-Civera, G. (2012). Plásticos Biodegradables. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Zaragoza, 103.

PAOT. (2015). Monitoreo del cumplimiento de la normatividad ambiental y urbana de la propaganda electoral en el Distrito Federal. Ciudad de México, 1-27

Pérez, R., y Márquez, G. (2017). Sedimentología: Universidad Autónoma Metropolitana, 1era Edición, 59.

Piñon-Colin, T., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M. A., Rogel-Hernandez, E., y Wakida, F. T. (2018). Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico. *Marine pollution bulletin*, 131, 63-71.

PlasticsEurope. (2018). Plastics the Facts 2018. An analysis of European plastics production, demand and waste data, 60.

PlasticsEurope. (2019). Sobre los plásticos. <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/>

PlasticsEurope. (2020). *Plastics the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data*, 64.

PlasticsEurope. (2022). *The Circular Economy for plastics. A European Overview*. 48 p.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021). *From pollution to solution. A global assessment of marine litter and plastic Pollution*. Nairobi, 148.

Prata, J. C., Godoy, V., da Costa, J. P., Calero, M., Martín-Lara, M. A., Duarte, A. C., y Rocha-Santos, T. (2021). Microplastics and fibers from three areas under different anthropogenic pressures in Douro River. *Science of The Total Environment*, 776, 145999. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145999>.

Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., . . . Draghi, S. (2020). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, 146, 106274.

Ramírez-Álvarez, N., Mendoza, L. M. R., Macías-Zamora, J. V., Oregel-Vázquez, L., Álvarez-Aguilar, A., Hernández-Guzmán, F. A., . . . Navarro-Olache, L. F. (2020). Microplastics: Sources and distribution in surface waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of The Total Environment*, 703, 134838.

Retama, I., Jonathan, M., Shruti, V., Velumani, S., Sarkar, S., Roy, P. D., y Rodríguez-Espinosa, P. (2016). Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico. *Marine pollution bulletin*, 113(1-2), 530-535.

Sánchez-Hernández, L. J., Ramírez-Romero, P., Rodríguez-González, F., Ramos-Sánchez, V. H., Montes, R. A. M., Rubio, H. R. P., ... y Jonathan, M. P. (2021). Seasonal evidences of microplastics in environmental matrices of a tourist dominated urban estuary in Gulf of Mexico, Mexico. *Chemosphere*, 277, 130261.

Singh, N., Mondal, A., Bagri, A., Tiwari, E., Khandelwal, N., Monikh, F. A., y Darbha, G. K. (2021). Characteristics and spatial distribution of microplastics in the lower Ganga River water and sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 163, 111960.

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*, 36.

Sarria-Villa, R. A., y Gallo-Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27.

Scherer, C., Weber, A., Stock, F., Vurusic, S., Egerci, H., Kochleus, C., ... y Reifferscheid, G. (2020). Comparative assessment of microplastics in water and sediment of a large European river. *Science of the Total Environment*, 738, 139866.

SEDESMA-CGMA-UV. (2006). Programa de manejo del área natural protegida Arroyo Moreno, Boca del Río-Medellín de Bravo, Veracruz. Coordinación General del Medio Ambiente, Xalapa, México, 10, 112.

SEMARNAT. (2020). Panorama general de las tecnologías de el reciclaje de plásticos en México y en el mundo. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 156.

- Shruti, V., Jonathan, M., Rodríguez-Espinosa, P., y Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of atoyac river basin, puebla city, Mexico. *Science of The Total Environment*, 654, 154-163.
- Sighicelli, M., Pietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., ... y Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian Subalpine Lakes. *Environmental Pollution*, 236, 645-651.
- Thompson, R. C., Swan, S. H., Moore, C. J., y Vom Saal, F. S. (2009). Our plastic age. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1973-1976.
- Toledo-Martínez, M.A. (2019). Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano)plásticos en el medioambiente y en la biota marina. Tesis de grado. Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Analíticas. Universidad Nacional de Educación a distancia, 1-65.
- Ugwu, K., Herrera, A., y Gómez, M. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine pollution bulletin*, 169, 112540.
- Van Cauwenberghe, L., Vanreusel, A., Mees, J., y Janssen, C. R. (2013). Microplastic pollution in deep-sea sediments. *Environmental pollution*, 182, 495-499.
- Van den Berg, P., Huerta-Lwanga, E., Corradini, F., y Geissen, V. (2020). Sewage sludge application as a vehicle for microplastics in eastern Spanish agricultural soils. *Environmental pollution*, 261, 114198.
- Vaughan, R., Turner, S. D., y Rose, N. L. (2017). Microplastics in the sediments of a UK urban lake. *Environmental Pollution*, 229, 10-18.
- Vázquez-Morillas, A., Espinosa, V. R.M., Beltrán, V. M. y Velasco, P. M. (2016). Bioplásticos y plásticos degradables. Universidad Autónoma Metropolitana, 11.
- Vázquez-Morillas, A., Espinosa, V. R.M., Beltrán, V. M. y Velasco, P. M. (2016). El reciclaje de los plásticos. Universidad Autónoma Metropolitana, 16.
- Vázquez-Morillas, A., Espinosa, V. R.M., Beltrán, V. M. y Velasco, P. M. (2016). ¿Son tóxicos los plásticos? Universidad Autónoma Metropolitana, 12.
- Vázquez-Tarrío, D. (2012). Transporte de sedimento como carga de fondo en la cuenca del río Narcea (Vertiente Norte de la Cordillera Cantábrica). Tesis de grado. Universidad de Oviedo, 561.
- Wang, C., Xing, R., Sun, M., Ling, W., Shi, W., Cui, S., y An, L. (2020). Microplastics profile in a typical urban river in Beijing. *Science of The Total Environment*, 743, 140708.
- Wang, G., Lu, J., Li, W., Ning, J., Zhou, L., Tong, Y., ... y Xiayihazi, N. (2021). Seasonal variation and risk assessment of microplastics in surface water of the Manas River Basin, China. *Ecotoxicology and environmental safety*, 208, 111477.
- Wu, P., Tang, Y., Dang, M., Wang, S., Jin, H., Liu, Y., ... y Cai, Z. (2020). Spatial-temporal distribution of microplastics in surface water and sediments of Maozhou River within Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Science of the total environment*, 717, 135187.

- Xia, F., Yao, Q., Zhang, J., y Wang, D. (2021). Effects of seasonal variation and resuspension on microplastics in river sediments. *Environmental Pollution*, 286, 117403.
- Yao, P., Zhou, B., Lu, Y., Yin, Y., Zong, Y., Chen, M. T., y O'Donnell, Z. (2019). A review of microplastics in sediments: Spatial and temporal occurrences, biological effects, and analytic methods. *Quaternary International*, 519, 274-281.
- Yustres, J. L. M., Quimbaya, H. C., y Silva, P. M. (2020). Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neiva, Colombia, 2-7. En: Desarrollo e innovación en ingeniería, Medellín-Antoquia, 5ta Edición, Editorial Instituto Antioqueño de Investigación.
- Zhang, S., Wang, J., Liu, X., Qu, F., Wang, X., Wang, X., ... y Sun, Y. (2019). Microplastics in the environment: A review of analytical methods, distribution, and biological effects. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 111, 62-72.
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86.
- Zhou, G., Wang, Q., Zhang, J., Li, Q., Wang, Y., Wang, M., y Huang, X. (2020). Distribution and characteristics of microplastics in urban waters of seven cities in the Tuojiang River basin, China. *Environmental Research*, 189, 109893.
- Zhou, Z., Zhang, P., Zhang, G., Wang, S., Cai, Y., y Wang, H. (2021). Vertical microplastic distribution in sediments of Fuhe River estuary to Baiyangdian Wetland in Northern China. *Chemosphere*, 280, 130800.
- Zambrano, A. (2022). El impacto de microplásticos en organismos marinos. En: Contaminación por microplásticos. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 58-61.