



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

**“MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA INTERMAREAL DE LAS  
PLAYAS ARENOSAS DEL LITORAL CENTRAL DE  
VERACRUZ.”**

**TESIS**

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

**PRESENTA**

**ING. PRO.C.I. FABIOLA CASTAÑEDA GARCIA**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**

**CODIRECTOR DE TESIS**

**DR. ALEJANDRO GRANADOS BARBA**

**ASESORES**

**DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO**

**DRA. ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMÁN**

**FEBRERO 2024**

**BOCA DEL RÍO, VERACRUZ, MÉXICO**





### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

**Número Registro: A-01505-080822**

En la ciudad de Boca del Río, Ver., siendo las 10:00 horas del día 2 de febrero de 2024 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 LA ZONA INTERMAREAL DE LAS PLAYAS ARENOSAS DEL LITORAL CENTRAL DE VERACRUZ”

Que presenta el (la) alumno(a):

**FABIOLA CASTAÑEDA GARCIA**  
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. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**  
Director

**DR. ALEJANDRO GRANADOS BARBA**  
Co-Director

**DRA. FABIOLA LANGO REYNOSO**  
Asesor

**DRA ROSA ELENA ZAMUDIO ALEMAN**  
Asesor





Boca del Río, Ver **31/ENERO/2024**

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**FABIOLA CASTAÑEDA GARCIA  
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 LA ZONA INTERMAREAL DE LAS PLAYAS ARENOSAS DEL LITORAL CENTRAL DE 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





Boca del Río, Ver., **02/FEBRERO/2024**  
Asunto: **CONSTANCIA DE  
NO INCONVENIENCIA**

**ING. VICTOR HUGO MUÑOZ ROBLEDO**  
**JEFE DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**Presente.**

**AT'N.LIC. SONIA CONCEPCIÓN SOLÍS SOLÍS**  
**GESTOR DE TITULACIÓN**  
**Presente.**

Por medio del presente, me permito hacer constar que el(a) candidato(a) a Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental C. **FABIOLA CASTAÑEDA GARCIA**, de la generación agosto 2022 – enero 2024 con número de control **22990001**, cumplió con todos los requisitos para su liberación como tesista, mismos que incluyen la presentación del manuscrito final de tesis autorizado por su director de tesis **DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ** y el envío del artículo derivado de su tesis de grado a una revista indexada.

Por lo anterior no tengo inconveniente en que realice los trámites correspondientes para el acto recepcional para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, en la fecha y hora que defina el candidato con su Director de tesis.

Sin otro particular y para los fines legales que corresponda, quedo de usted.

**A T E N T A M E N T E**

*Excelencia en Educación Tecnológica®  
Por nuestros mares responderemos*

**DR. JUAN DAVID GARAY MARIN**  
**JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIO DE  
POSGRADO E INVESTIGACION**

**Vo.Bo.**

**DRA. MARÍA DEL REFUGIO CASTAÑEDA CHÁVEZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

c.c.p. Coordinador de MCIAMB  
c.c.p. Expediente





Boca del Río, Veracruz, **8/febrero/2024**

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 **10** días del mes **febrero** de **2024**. El que suscribe **Fabiola Castañeda Garcia** por mi propio derecho y en calidad de autor de la tesis titulada: **Microplásticos en la zona intermareal de las playas arenosas del litoral central de 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: fabyy1@live.com .

Agradeciendo de antemano sus atenciones, le envío un cordial saludo

**ATENTAMENTE**

NOMBRE Y FIRMA DEL ESTUDIANTE DE MAESTRIA

c.c.p. Archivo



## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a Dios y a mi familia. A pesar de las adversidades que la vida nos presenta, ha sido su inquebrantable fe en mí lo que me ha impulsado a lograr este objetivo. Su constante apoyo y esperanza son el motor que me ha permitido alcanzar este logro.

Además, quiero dedicar este documento, el cual resume dos años de formación e investigación a personas muy especiales en mi vida: En primer lugar, a mi mamá, Lourdes Fabiola García Becerra y a mi papá, Francisco Javier Castañeda, por acompañarme a lo largo de este camino, junto con mi hermano Adán pues siempre han creído en mí.

Igualmente, quiero dedicar este trabajo en memoria de mi abuelo, Luis García Uribe. Él estuvo presente al inicio de mi trayectoria en la maestría y, aunque ya no esté físicamente con nosotros, tengo la certeza que verá su culminación.

Por último, pero igualmente significativo, quiero agradecerme a mí, por creer en mí, y haber mantenido la fe en mis capacidades, por permitirme crecer y dejarme guiar, por el constante trabajo y esfuerzo.

## AGRADECIMIENTOS

“Si he visto más lejos, es poniéndome sobre hombros de gigantes” Isaac Newton

Agradezco al Instituto Tecnológico de Boca del Río por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi trabajo de investigación. Asimismo, agradezco al CONAHCYT por su respaldo al otorgarme una beca para realizar mis estudios de Maestría apoyo económico otorgado a través de la beca con numero de apoyo 997893, el cual ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación."

Quiero expresar un sincero agradecimiento a mi directora de tesis la Dra. María del Refugio Castañeda Chávez por el valioso tiempo que compartimos, el apoyo incondicional, comprensión y paciencia constante de orientación e inspiración durante todo el proceso.

Mi profundo agradecimiento al Dr. Alejandro Granados Barba por su inigualable atención, paciencia, dedicación al guiarme en mi formación académica. Su gran generosidad al compartir sus conocimientos, sonrisas y perspectivas de vida que perdurarán en mi memoria, además; siempre valorare su amistad enormemente, la cual pude disfrutar en compañía de su doctorante Karina Arvizu.

A mi asesora de investigación la Dra. Fabiola Lango Reynoso por sus valiosas aportaciones y sugerencias en el transcurso de la investigación.

A la maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental y su personal académico que me abrió las puertas y me apoyo para compartirme un poco de sus conocimientos.

A mis compañeros los M. C. Xareni Vázquez, Misael Bernal y Luz Campos, gracias.

Agradezco sinceramente a la Universidad de Guadalajara por permitirme realizar una estancia de investigación en el Centro Universitario de la Costa Sur de Jalisco (CUCSUR), donde su equipo de trabajo me presto las instalaciones de manera muy cordial y atenta, sino que también compartieron sus equipos de trabajo y conocimientos, enriqueciendo significativamente mi formación académica.

Gracias a toda mi familia por acompañarme en este proceso tan interesante en mi vida junto con todas las palabras de inspiración y cariño junto con todas las personas que contribuyeron para culminar mi Maestría.

¡Gracias!

## RESUMEN

Durante el Antropoceno, los plásticos han cubierto las demandas funcionales y estéticas del ser humano ofreciendo soluciones innovadoras y duraderas; sin embargo, su dificultad de reciclaje y degradación han generado un impacto al ambiente que es necesario evaluar. Aunque son un problema global, la información acerca de los microplásticos (MPS) de la zona intermareal de las playas arenosas es escasa, particularmente del litoral central Veracruzano donde se sitúa la ciudad y puerto más antiguos de México, que están inmersos en la creciente Zona Metropolitana de Veracruz con vocación pesquera, turística y residencial, en donde se albergan las playas de Antepuerto, Villa del Mar, Mocambo, Arrollo Giotte y Farallón. La toma de muestras se realizó en la temporada de secas encontrado 7 categorías de microplásticos: microfibras con 2,871 (73%), fragmentos 455 (11%), espumas 338 (9%), esponjas 162 (4%), películas 77 (2%), enredos 32 (1%) y microesferas (10 <0%). En general, no se evidenció el gradiente esperado a partir del puerto con relación al número total de MPS registrados en las playas estudiadas; no obstante, Antepuerto, la playa más cercana al puerto y con mayor presión antrópica, mostró el mayor número, mientras que Farallón, la playa con menor presión, registró el menor número de MPS. En lo particular, cuando se analizan los resultados por categorías, si se observa dicho gradiente para el estrato superficial considerando microesferas y en el estrato fondo para la categoría de las espumas.

**Palabras clave:** microplásticos, contaminantes emergentes, playas arenosas, microfibras, fragmentos, espumas, esponjas, películas, microesferas, enredos, playas arenosas.

## ABSTRACT

During the Anthropocene, plastics have covered the functional and aesthetic demands of human beings, offering innovative and durable solutions; However, its difficulty in recycling and degradation has generated an impact on the environment that needs to be evaluated. Although they are a global problem, information about microplastics (MPS) in the intertidal zone of sandy beaches is scarce, particularly on the central Veracruz coast where the oldest city and port in Mexico is located, which are immersed in the growing Metropolitan Zone of Veracruz with a fishing, tourist and residential vocation, where the beaches of Antepuerto, Villa del Mar, Mocambo, Arrollo Giotte and Farallón are located. Sampling was carried out in the dry season, 7 categories of microplastics were found: microfibers with 2,871 (73%), fragments 455 (11%), foams 338 (9%), sponges 162 (4%), films 77 (2% ), tangles 32 (1%) and microspheres (10 <0%).

No gradual pattern is evident in the total amount of MPS in relation to the order of the beaches. However, a compression was identified between the proximity to the port area of Veracruz and the presence of MPS, with the beach closest to the port showing the highest concentration of these materials. On the other hand, it will be observed that the beach furthest from the port recorded the lowest amount of MPS compared to the beaches studied, identifying a gradient for the surface stratum in the category of microspheres, as well as a gradient in the bottom stratum for the category of the foams.

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	12
II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	13
2.1 El Antropoceno y los MPS .....	13
2.2 Instrumentos normativos .....	14
2.3 La clasificación de plásticos .....	15
2.4 Historia de la Ciudad de Veracruz .....	17
2.5 La Zona Costera Veracruzana .....	17
III. ANTECEDENTES.....	19
3.1 Estudios sobre la presencia de MPS en playas arenosas y sedimentos.....	19
3.2 Estudios ecológicos en playas arenosas y sedimentos de la ZMV.....	21
IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
V. JUSTIFICACIÓN .....	25
VI. Pregunta de investigación .....	25
VII. HIPÓTESIS .....	25
VIII. OBJETIVOS .....	26
8.1 Objetivo general .....	26
8.2 Objetivos específicos .....	26
IX. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
9.1 Área de estudio .....	27
9.2 Procedencia de los Datos .....	29
9.3 Muestreo .....	30
9.4 Toma de muestra .....	32
9.5 Trabajo en laboratorio para la selección de MPS. ....	33
9.6 Control de calidad del material de laboratorio para la trazabilidad del método ...	35
X. RESULTADOS y DISCUSIÓN .....	37
10.1.1 Clasificación de los MPS recolectados. ....	37
10.1.2 Abundancia de los MPS.....	38
10.1.3 Abundancia de MPS en función de su categoría. ....	48
10.2 Análisis en las categorías de MPS recolectados en superficie y fondo. ....	53

10.2.1 Análisis del uso de la playa Antepuerto. ....	56
10.2.2 Análisis del uso de la playa Villa del Mar. ....	58
10.2.3 Análisis del uso de la playa Mocambo. ....	61
10.2.4 Evaluación del uso de la playa Arrollo Giotte.....	63
10.2.5 Evaluación del uso de la playa Farallón.....	64
10.3 Existencia de un gradiente de la abundancia de MPS en las playas estudiadas. .....	66
XI. CONCLUSIONES.....	69
XII. Bibliografía .....	70
Anexo I: Resultado de las pruebas de normalidad con el apoyo del software MINITAP 18 para las 5 playas arenosas muestreadas. ....	81

#### Índice de tablas

Tabla 1. Características físicas de las cinco playas estudiadas y su presión antropogénica. ....	28
Tabla 2. <i>Formas de los MPS encontradas en el presente estudio</i> .....	53.
Tabla 3. Clasificaciones de los MPS encontradas en el presente estudio. ....	544

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Elaborado en ArcGIS.....	27
Figura 2. Playas de la zona costero central de Veracruz. A) Farallón, B) Antepuerto, C) Villa del Mar, D) Mocambo, E) Arroyo Giotte.....	31
Figura 3. Diseño de la recolección de muestras donde se observan los tres transectos perpendiculares a la línea de costa .....	32
Figura 4. (A) Nucleador de 20 por 40 cm, (B) Nucleador de 15 cm, (C) Sedimento extraído, (D) sedimento restante después de extraída la muestra, (E) Tamiz con abertura de malla de 250 $\mu$ . .....	33
Figura 6. Equipo utilizado para el análisis de muestras. De izquierda a derecha A) Microscopio estereoscópico LeicaE4, B) cajas petri Labasics 75 x 15 mm, C) Pinzas de acero inoxidable, D) Incubadora Fisher Scientific 637 D.....	35
Figura 7. A) Microfibras, B) Fragmentos, C) Espumas, D) Esponjas, E) Películas, F) Enredos, G) Microesferas.....	37
Figura 9: Promedio de las categorías encontradas en las 5 playas de estudio.....	40
Figura 10: Categorías de los pzas promedio encontrados en el estrato superior y fondo de la playa Antepuerto.....	41
Figura 11: Categorías de MPS en los estratos superior y fondo de playa Villa del Mar.....	42
Figura 12: Categorías de MPS en los estratos superior y fondo de la playa Mocambo.....	43
Figura 14: Categoría de pzas promedio encontrados en el estrato superior y fondo de la playa Farallón .....	45
Figura 15. Presencia de pzas en las 5 playas estudiadas en orden descendente del estrato superior.....	46
Figura 16. Presencia de pzas en las 5 playas estudiadas en orden descendente del estrato fondo.....	47
Figura 20. Dendrograma resultado del análisis de Clúster que agrupa la abundancia total de MPS en función de su similitud.....	52
Figura 21. Dendrograma resultado del análisis de Clúster que agrupa la abundancia de MPS en los estratos superior y fondo, en función de su similitud .....	53
Figura 22. Registro de un gradiente en las microesferas del estrato superficial. ....	67
Figura 23. Registro de un gradiente en las espumas del estrato fondo. ....	68

## I. INTRODUCCIÓN

El hombre históricamente ha buscado crear materiales artificiales con el propósito de recibir beneficios de tipo funcional, ergonómico y estético para sustituir a los materiales naturales (PEAPM, 2020). En los últimos 60 años, los plásticos se han destacado por satisfacer las demandas de la sociedad al ofrecer soluciones con diversos beneficios. Proviene de materiales que son resultado de diferentes investigaciones científicas e innovación tecnológica; pero cuya dificultad de reciclaje y degradación generan un impacto negativo al ambiente, principalmente al medio marino que un destino final de los desechos plásticos (PEAPM, 2020; Huang *et al.*, 2022).

En la actualidad, los Microplásticos (MPS) en el medio ambiente, son un tema destacado debido a su impacto negativo sobre los diferentes organismos de la cadena trófica en su hábitat (Álvarez-Zeferino *et al.*, 2020). Existen diferentes resultados sobre la presencia de MPS en cuerpos de agua y en sedimentos; sin embargo, no existe una metodología aceptada que permita obtener resultados comparativos. Su origen incierto contribuye a la presencia de estos elementos en el ambiente, mientras que la falta de comprensión acerca de sus impactos los vuelve sujetos idóneos para investigaciones futuras. Debido a la ausencia de parámetros definidos, se consideran contaminantes emergentes (Kovač Viršek *et al.*, 2016; Flores-Cortés & Armstrong-Altrin, 2022; Huang *et al.*, 2022; Welsh *et al.*, 2022). Los MPS miden desde 5 mm hasta 0.333 micrómetros de acuerdo con diversos autores (Thompson *et al.*, 2004; Janet Gil *et al.*, 2012; Marine Debris Program, 2015; Bollaín *et al.*, 2019; Iannacone *et al.*, 2019; Wu *et al.*, 2021; Flores-Cortés & Armstrong-Altrin, 2022; Leads *et al.*, 2023).

En este estudio se integra información de MPS recolectados en la zona intermareal de cinco playas arenosas del litoral central de Veracruz (Antepuerto, Villa del Mar, Arroyo Giotte, Mocambo y Farallón), para determinar si existe un gradiente de mayor a menor presencia de MPS a partir del puerto de Veracruz. Para ello, se hace una caracterización en función de su abundancia numérica y formas dominantes, las cuales representan una amenaza para los organismos psamíticos.

## II. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 2.1 El Antropoceno y los MPS

El Antropoceno es un período caracterizado por un impacto significativo del ser humano sobre los sistemas naturales debido, en gran parte, a la presión antropogénica impulsada por factores socioeconómicos y fuerzas políticas generando una capa profunda en el registro geológico. Sus repercusiones irreversibles al medio ambiente con relación estrecha en el crecimiento de la población humana, se da a partir de la revolución industrial donde la necesidad de producir bienes y servicios dio paso a la primera máquina de vapor (Crutzen, 2002; De Stefano *et al.*, 2022). En la era antropogénica, la población mundial paso de 2500 millones de personas, estimadas en 1950, a 8000 millones en el año 2022; asimismo, en ella destaca el uso de productos procedentes del caucho o látex, así como nuevos materiales fabricados a partir de la transformación del petróleo a productos plásticos (De Stefano *et al.*, 2022).

De acuerdo con Sánchez *et al.* (2022), la narrativa histórica del desarrollo del plástico tiene su origen en un material llamado “parkesina” creado por A. Parkes, que posteriormente fue mejorado y nombrado como “celuloide” por J. Hyatt; sin embargo, el primer plástico patentado fue llamado “baquelita” por el químico L. Hendrik en 1909. Después de 1950 el plástico sustituyó el embalaje y, con ello, su producción aumento a

2 millones de toneladas; consecuentemente se planteaba ya como un problema ambiental debido a los residuos. Para 1980, se intensificó y diversificó con un crecimiento exponencial convirtiéndose en una de las principales industrias del mundo con una producción de 359 millones de toneladas provocando el desafío ambiental actual.

En efecto, la industria del plástico generó 55,000 empresas pymes creando empleo directo para más de 1.56 millones de personas, facturando alrededor de 377 millones de dólares americanos en el 2019 (PEAPM, 2020) y produciendo 367 millones de toneladas plásticas de 1950 al 2020; sin embargo, esta producción ha propiciado impactos negativos en el sistema natural ya que aproximadamente un 79% del plástico termina como desecho en los cuerpos de agua (Ilechukwu *et al.*, 2023).

## **2.2 Instrumentos normativos**

Se han implementado numerosas iniciativas regionales e internacionales con el objetivo de prevenir la contaminación por MPS. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), por ejemplo, lanzó una campaña global para preservar el medio ambiente con el objetivo de reducir drásticamente el uso de plásticos de un solo uso para el año 2022, y abordar de manera integral las principales fuentes de contaminación plástica marina, incluyendo los MPS presentes en productos cosméticos (Llorca, M. *et al.*, 2020).

En el gobierno de México se ha implementado normatividad para efectos en el manejo adecuado de sus residuos, como la Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos (LGPEGIR); publicada en el DOF 18-01-2003 en su artículo 19 en el cual enumera los residuos de manejo especial en la fracción I a la XI. Dichas fracciones clasifican en el número IV a los residuos provenientes de las actividades que realizan los aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias. En el artículo 28 obliga a los grandes generadores de residuos peligrosos, importadores, exportadores y distribuidores referentes a residuos sólidos urbanos de manejo especial; como lo pueden ser envases

plásticos, envases de poliestireno expandido y neumáticos usados; la obligación de tener una correspondiente formulación y ejecución de un plan de manejo.

### **2.3 La clasificación de plásticos**

El hablar de MPS es razonar intrínsecamente sobre “plástico”; dicho material se emplea en una colección de sustancias sintéticas o parcialmente sintéticas (Martínez *et al.*, 2023); en efecto, es el material preferido debido a su versatilidad, bajo costo, alta durabilidad, peso liviano y múltiples usos como embalaje de productos hechos con otro material o del mismo, entre otros (Ilechukwu *et al.*, 2023). La alta demanda por estos materiales ha hecho que las actividades antropogénicas sean responsables de la presencia de los MPS en los cuerpos de agua y playas arenosas (Bollaín *et al.*, 2019). El término “Microplásticos” fue acuñado inicialmente por Thompson en el año 2004, sin embargo, de acuerdo con la Agencia Química Europea (ECHA) en el 2020; los microplásticos (MPS) se definen como partículas sólidas compuestas de materiales poliméricos que contienen aditivos y/o sustancias adheridas que oscilan entre 0.333 micras a 5 mm. En algunos trabajos los MPS han sido clasificados en primarios y secundarios para su estudio (Sánchez *et al.*, 2022).

Los primarios se originan de productos para el cuidado personal, de la industria del vidrio, cerámica, la metalúrgica junto con su fundición, productos de construcción, del petróleo; estos plásticos primarios se crean con el tamaño deseado para cumplir una función específica, por ejemplo: las microesferas, que se elaboran para incorporarlas a la formulación de pastas de dientes y exfoliantes (Bollaín *et al.*, 2019).

Los secundarios provienen del agrietamiento de una pieza plástica más grande que puede ser degradable o biodegradable, orgánica o inorgánica y que llega a romperse por el proceso de fragmentación, fotoenvejecimiento, biodegradación o abrasión y oxidación química (Zhang *et al.*, 2023).

El proceso de fragmentación está condicionado por diversos factores y condiciones que varían con las distintas estaciones climáticas; estos fragmentos se desplazan hacia el sur impulsados por los vientos predominantes y, durante su trayectoria, algunos de ellos quedan atrapados en la vegetación (Ruíz *et al.*, 2022). La exposición de los MPS a temperaturas fluctuantes de entre 30 a 60°C favorece a la fractura a partículas más pequeñas; es decir, una pieza plástica de 20 cm se fragmentará esporádicamente en 62,500 partículas microplásticas que medirán 0.8 mm cada una (Wu *et al.*, 2021). De éstas, las que tienen características con bordes filosos reportan una introducción reciente a la biota, mientras que con bordes redondo se asocian con la introducción a la biota desde hace tiempo (Chubarenko *et al.*, 2018; Mengatto *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el 2017 registro la cantidad promedio diaria generada de residuos sólidos urbanos recolectados de 102,887 ton donde 4,208 de éstas son de tipo plástico y solo el 43% del total de basura generada es separada. El estado de Veracruz contribuye con 6,030 ton del total de residuos que se genera en México. La basura aumenta constantemente y termina en el medio marino como resultado de la industria del caucho o textil que genera basura en forma de fibras sintéticas, por ejemplo, en un día, una ciudad de 100,000 habitantes libera aproximadamente 1 kg de fibras que provienen del lavado de chaquetas tipo poliéster (da Fonseca *et al.*, 2022).

## **2.4 Historia de la Ciudad de Veracruz**

El puerto de Veracruz es ejemplo de la dinámica observada en las urbes en expansión. Tras la conquista ha fungido como punto de comercio para importar y exportar bienes del país, con una consecuente ampliación de su área territorial sobre los arrecifes y humedales adyacentes (Siemens *et al.*, 2006). En la actualidad el puerto de Veracruz se ha convertido en uno de los más importantes de México; la ciudad de Veracruz ahora es una conurbación que conjunta a los municipios de La Antigua, Veracruz, Boca del Río, Medellín y Alvarado denominada Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV) que está conformada por una población costera de alrededor de 850,536 personas (INEGI,2020).

## **2.5 La Zona Costera Veracruzana**

La zona costera es un espacio amplio donde se presenta una interacción entre los medios marino, terrestre y atmosférico. Es una zona dinámica con cambios constantes asociados a procesos naturales como el movimiento de mareas, oleaje y cambios en el nivel del mar, temporalidades climáticas como frentes fríos o norte, tormentas o huracanes que propician vientos, lluvias e inundaciones debido a descargas pluviales y fluviales. Asimismo, se observan transformaciones en la línea de costa debido a procesos antropogénicos relacionados con actividades humanas portuarias, pesqueras, turísticas y urbanas como es el caso de la costa del estado de Veracruz (Ortiz-Lozano *et al.*, 2011). Específicamente en la región central de la Zona Metropolitana de Veracruz (ZMV), con una extensión de 745 km equivalente al 29.3 % de la costa mexicana, el crecimiento antropogénico ha deteriorado los sistemas costeros de dunas y humedales a lo largo de la historia (Siemens *et al.*, 2006) o de los sistemas arrecifales (Valadez-Rocha *et al.*, 2017) reduciendo los servicios ecosistémicos que proporcionan (Ortiz-Lozano *et al.*, 2015).

Dentro de la zona costera, destacan las playas arenosas porque brindan importantes servicios ecosistémicos de alto valor para la población humana, relacionados principalmente con la cultura, turismo, esparcimiento y recreación, además de ser un espacio utilizado ecológicamente por invertebrados, aves, tortugas marinas, peces, entre otros (Hidalgo *et al.*, 2016; Granados-Barba *et al.*, 2023;). Son zonas dinámicas con acumulaciones de arena y materiales diversos abastecidos por las mareas, olas y corrientes marinas (Grant-Gross, 1985). Estos depósitos de arena han brindado históricamente al ser humano de materias primas para la producción de vidrio, cerámica, materiales para la construcción, captación de agua, incautación de carbono, entre otros (Hidalgo *et al.*, 2017).

En la ZMV confluyen actividades antropogénicas portuarias, pesqueras, turísticas y urbanas cuyo efecto ambiental sobre los diferentes sistemas costeros es necesario evaluar y monitorear. Al respecto, se ha estudiado el efecto de diferentes impactos sobre la zona intermareal (Granados-Barba *et al.*, 2023) de las playas arenosas de la región central de Veracruz; sin embargo, ninguno ha estudiado la presencia de MPS en los sedimentos de dicha zona intermareal, con lo que esta investigación adquiere relevancia porque además, los analiza en dos profundidades dentro del sedimento.

### III. ANTECEDENTES

#### 3.1 Estudios sobre la presencia de MPS en playas arenosas y sedimentos

Los estudios relacionados sobre los contaminantes MPS en el mundo son diversos (Claessens *et al.*, 2011; De-la-Torre *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2021; Ab Rashid *et al.*, 2022); no obstante, su observación y distribución en sedimentos y medio ambiente en el continente americano está ganando relevancia (Orona-Novar *et al.*, 2022) en países como Estados Unidos, México y Canadá. En efecto, se han hecho recomendaciones para mejorar el análisis y muestreo de estos contaminantes y, debido a esto, la NOAA en el año 2015 generó un manual de recomendaciones para la cuantificación de partículas sintéticas en sedimento y agua.

Los MPS detectados en diversos sitios son sugeridos por Yu X *et al.* (2017) debido a que muestreo en 16 sitios pertinentes a sedimentos del servicio de parques nacionales y dos Islas Vírgenes del Atlántico sudoccidental de los Estados Unidos. Además, encontró la presencia de MPS con una variación desigual en la concentración promedio con 60 piezas por kg de arena con abundancia en filamentos y materiales fibrosos.

Con el objetivo de observar la acumulación de MPS en la zona intermareal en las playas de Buenos Aires, Argentina, Ronda *et al.* (2023) realizaron, durante mayo de 2019 (temporada de secas), un muestreo en marea baja, en sectores intermareales alto, medio y bajo y a 5 cm de profundidad. Encontraron que todas las muestras presentaron MPS con abundancia en fibras (58%) seguido de películas con (41%), concluyendo que los contaminantes MPS se depositan en la marea alta.

En el sur, a lo largo de las costas del territorio mexicano, Álvarez-Zeferino, *et al.* (2020) observó la presencia de MPS en abundancias diversas de 33 playas arenosas; se clasificaron en 5 regiones marinas diferentes y densidad poblacional variable. Se

encontró una concentración desigual de 31.7 a 545.8 MPS/m<sup>2</sup>, con un coeficiente de variación alto de 28.7 a 122.33 %. Los MPS más abundantes fueron los fragmentos, además se observó una mayor concentración en las playas colindantes al Golfo de California. Una variable importante que se tomó en cuenta en el estudio fue el evento natural “Huracán Bud” este factor contribuyó al incremento de las concentraciones totales.

En el golfo de México, en Tamaulipas, Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023) estudiaron 20 puntos de muestreo en la playa Tampico y se detectó una variación en la concentración MPS que osciló entre 283 MPS/20 g de sedimento seco. En este análisis, se observó que las fibras fueron el único tipo de MPS identificado. Esta presencia se relacionó con las propiedades físicas de la playa junto con la densidad de cada categoría de MPS. Asimismo, para la región central del golfo de México, al norte de Veracruz; Flores-Cortés & Armstrong-Altrin (2022) registran la presencia de MPS en los sedimentos costeros de playa Tecolutla con una concentración de 181MPS/75g de sedimento seco, observando diversas categorías, principalmente fibras, películas, y fragmentos. No se registraron MPS en todas las muestras, lo que sugiere que la característica textural del sedimento influye en el depósito de los MPS junto con la presencia de ríos cerca de la zona de estudio que contribuye con el depósito de estos contaminantes emergentes además la característica de tener densidad poblacional abundante.

Las variadas texturas de los sedimentos han suscitado a un mayor interés en la investigación sobre el golfo de México. Como el estudio recientemente realizado en Tuxpan, al norte de la laguna Tampamachoco, por Franco-García *et al.* (2022) que incluyó la muestra de tres playas arenosas donde se identificó abundancia de MPS en la categoría de fibra con color verde y azul, en promedio 79 Pz/kg de sedimento seco y 68.19 Pz/m<sup>2</sup>.

En cuanto a estudios pertenecientes a la región central del Golfo, Peralta-Peláez et al. (2023) estudiaron la abundancia microplástica en cinco playas arenosas del área de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, las cuales registraron una presencia total de 72 pz/m<sup>2</sup> en la marea alta. La playa más abundante fue Antón Lizardo con 37 MPS/m<sup>2</sup> correspondiente a una playa natural, La Mancha con 4 MPS, Chachalacas 39 MPS, y el Sendero 46 MPS/ m<sup>2</sup>.

López (2018) estudió los residuos sólidos urbanos mayores de 10 cm en las playas turísticas de Vicente Fox (Santa Ana) y Villa del Mar, con respecto a la playa natural de Antón Lizardo, encontrando una diferencia significativa en la abundancia de plásticos encontrados en la playa natural con respecto a las playas turísticas.

### **3.2 Estudios ecológicos en playas arenosas y sedimentos de la ZMV**

Desde el ámbito ecológico, Pérez-Ruiz et al. (2012) y Granados-Barba et al. (2023) estudiaron la calidad del bentos intermareal en la playa Villa del Mar, contrastando lo observado con la playa deteriorada adjunta al puerto de Veracruz (Club de Yates) y con una playa natural no deteriorada, lejana del puerto (Farallón). Observado una abundancia de *Scolelepis lighti* en todas las playas pero disminuyendo en las playas modificadas, donde se presentan otras familias de gusanos que no surgen en playas naturales.

Asimismo, Sánchez-Domínguez et al. (2015) analizaron la concentración de enterococos en agua intersticial del sedimento intermareal registrada en dos playas muy concurridas (Villa del Mar y Mocambo) y la contrastaron con Arroyo Jiote que es menos concurrida. Observaron que cuando hay aumento de actividad turística; bacterias inversamente a la textura del sedimento, evidencian un gradiente sobre enterococos, grasas y aceites, sólidos totales disueltos.

Ruíz-Reyes et al. (2023) caracterizaron la abundancia de MPS en los nidos de tortuga en cinco playas a lo largo de la costa de Nautla y Vega de la Alatorre, Veracruz, México. Encontraron 1.2 Pz/kg de arena para la playa con mayor abundancia. Los plásticos dominantes fueron los fragmentos con el 42 % seguido de las fibras con 28%, las espumas el 21%, películas 13%, pellets el 7%. De las playas muestreadas el 94 % presentaron MPS.

Desde el ámbito ambiental, Hidalgo et al. (2017) caracterizaron el ambiente bentónico de la zona intermareal en función de los parámetros fisicoquímicos, encontrando una distribución de las playas y su orden coincidió con la contribución de sólidos totales y suspendidos. Además, se encontró especies con mayor nicho ecológico de *Scolelepis* (*Scolelepis*) *vossae* y *Excirolana Braziliensis*.

#### IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, se identifica un vacío del conocimiento sobre la presencia de los contaminantes emergentes microplásticos, por ello no existe ninguna regulación sobre los límites máximos permisibles en las playas arenosas del litoral central de Veracruz, México. Se requiere información cuantitativa sobre la presencia de microplásticos en la zona intermareal de las playas arenosas del litoral central de Veracruz. Asimismo, observar si existe un gradiente de afectación debido a la presión antropogénica a partir del puerto más antiguo de México.

Como se mencionó en la introducción los océanos son considerados el sumidero de la contaminación antropogénica, a causa de ello la ONU declaró que a partir del año 2021 y hasta el 2030 entrará una década de restauración y resiliencia para los océanos causada por el crecimiento antropogénico. Con el objetivo de reducir los desechos plásticos.

Con el crecimiento poblacional el consumo de plástico ha ido en aumento por ser el material de embalaje más utilizado, (PEAPM, 2020; Ronda *et al.*, 2023). Por esta razón se estima un consumo de 11 millones de plásticos netos para el 2025, de éstos, solo unos pocos se pueden reutilizar o reciclar o pueden cambiar su forma debido a la incineración; no obstante, otros son desechados en vertederos o liberados al medio ambiente (Bi D *et al.*, 2023).

Los desechos que son sometidos naturalmente a procesos fisicoquímicos o biológicos se envejecen y fragmentan generando partículas más pequeñas (Iannacone *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2022), según el tamaño es la clasificación determinante; puede ser MPS y nano plásticos el nombre dependerá de su tamaño, una vez en el océano originan un problema de biodiversidad marina al ser colonizados por los microorganismos bentónicos; por su pequeño tamaño son confundidos con comida (Ragusa *et al.*, 2021;

Pedrotti *et al.*, 2022;). Son contaminados por comunidades bacterianas y sustancias adheridas que habitan en los plásticos navegantes en el agua que circula originando vectores potencialmente peligrosos para la cadena trófica y la salud humana. La expansión urbana es otro factor que sugiere ser la causa del aumento de contaminación microplástica que se presenta en las grandes metrópolis al igual que lo sucedido en otras zonas costeras (Naidu *et al.*, 2020).

Las piezas de plástico que por procesos naturales disminuyen su tamaño a los  $\leq 5\text{mm}$  son conocidos como MPS y a causa de su abundancia y persistencia en el ambiente han provocado un impacto ambiental masivo. Son señalados como una amenaza grave tanto para los océanos como a los sedimentos marinos (Jorquera *et al.*, 2022). Hoy en día los MPS se consideran contaminantes emergentes por ser compuestos químicos de diversa procedencia que se presentan en el medio medioambiente de una manera inadvertida y por esta razón provocan problemas ambientales, además en la mayoría de los casos no son componentes regulados (Janet Gil *et al.*, 2012; Olivatto *et al.*, 2019).

Los MPS originan un problema de salud humana pues recientes trabajos detectaron en la placenta, sangre, en el colon, en la leche la presencia de micro- y nano plásticos (Ragusa *et al.*, 2021). El desecho de los MPS al medio y su impacto sobre la biota se intensifica; se ha descubierto que son capaces de adherirse a las branquias de los peces, o también son comidos de manera accidental en alimentos contaminados lo que afecta de manera negativa la reproducción de ostras, el metabolismo de los poliquetos, copépodos y se genera una pérdida de peso (Jorquera *et al.*, 2022).

## **V. JUSTIFICACIÓN**

Los MPS son partículas pequeñas de plástico que se esparcen fácilmente en un espacio determinado (Crutzen, 2002) y, hoy en día, representan uno de los problemas ambientales más importantes del ser humano por lo que es necesario realizar una evaluación integral de su presencia en el medioambiente para tomar las medidas requeridas antes de realizar cualquier transformación futura. Sin embargo, a pesar de su importancia económica y ecológica, aún existe escasa información de los MPS existentes en la zona intermareal de las playas arenosas del litoral central de Veracruz donde destaca la presencia, por más de un siglo, de ser uno de los principales puertos de México (Siemens *et al.*, 2006). Por esta razón, esta investigación busca aportar conocimiento al estudio de los MPS de las playas arenosas en la zona intermareal del litoral central de Veracruz, a través de su cuantificación y caracterización física.

## **VI. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Cómo es el gradiente de distribución espacial en la categoría y abundancia de los microplásticos recolectados en el sedimento superior y fondo de la zona intermareal de cinco playas arenosas del litoral central de Veracruz, con relación al tipo de playa y uso durante un muestreo en primavera?

## **VII. HIPÓTESIS**

Se encontrará un gradiente de distribución espacial en la categoría y abundancia de los microplásticos recolectados en el sedimento superior y fondo, de la zona intermareal de cinco playas arenosas del litoral central de Veracruz, con relación al tipo de playa y uso durante un muestreo en primavera.

## **VIII. OBJETIVOS**

### **8.1 Objetivo general**

Evaluar la existencia de un gradiente de microplásticos en sedimento superior y fondo de la zona intermareal de cinco playas arenosas del litoral central de Veracruz, considerando su categoría y abundancia con relación al tipo de playa, y uso durante un muestreo en primavera.

### **8.2 Objetivos específicos**

1. Clasificar los microplásticos recolectados en las playas de estudio en función de su categoría y abundancia.
2. Analizar si la categoría y abundancia de los microplásticos recolectados en el sedimento intermareal superior y de fondo se relacionan con el tipo de playa y el uso que se les da.
3. Determinar la existencia de un gradiente de mayor a menor abundancia de microplásticos en la zona intermareal de las playas arenosas, a partir del puerto de Veracruz.

## IX. MATERIALES Y MÉTODOS

### 9.1 Área de estudio

El estado de Veracruz se ubica en la región centro del golfo de México (Figura 1). Presenta un clima principalmente cálido húmedo y subhúmedo con lluvias abundantes en verano, una temperatura promedio de 23 a 26°C y una variación pluvial anual de 1200 a 1500 mm (García, 1987). En la costa Veracruzana se observan tres temporadas climáticas secas o estiaje en primavera, lluvias en verano (que incluye un periodo de tormentas tropicales y huracanes) y Nortes en otoño-invierno (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008)



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio. Elaborado en ArcGIS.

La zona de estudio de la investigación se encuentra en la región central de Veracruz, incluye cinco playas arenosas ubicadas en cuatro municipios distintos: Farallón (en Actopan), Antepuerto y Villa del Mar (en Veracruz), Mocambo (en Boca del Río) y Arroyo Gote (en Alvarado). Cada una de ellas se sitúa a diferente distancia del puerto de Veracruz (Figura 1) y están sujetas a diferente presión antropogénica (Tabla 1).

*Tabla 1. Características físicas de las playas estudiadas y su presión antropogénica.*

Características/ Playa.	Antepuerto	Villa del Mar	Mocambo	Arroyo Gote	Farallón
Ubicación (Municipio)	<b>Veracruz</b>	<b>Veracruz</b>	<b>Boca del Río</b>	<b>Alvarado</b>	<b>Actopan</b>
Distancia al Puerto	<b>0.5 km</b>	<b>2 km</b>	<b>10 km</b>	<b>30 km</b>	<b>60 km</b>
Tipo Playa / Amplitud	<b>Urbana / 15m</b>	<b>Urbana / 30m</b>	<b>Urbana / 80m</b>	<b>Rural / 30m</b>	<b>Rural / 100m</b>
Naturalidad	<b>Modificada. Con escolleras</b>	<b>Modificada. Con escolleras</b>	<b>Modificada. Con escolleras</b>	<b>No Modificada. Sin escolleras</b>	<b>No Modificada. Sin escolleras</b>
Límite de Playa	<b>Malecón</b>	<b>Malecón</b>	<b>Calle</b>	<b>Dunas</b>	<b>Dunas</b>
Acceso a Playa	<b>a 10m de Calle</b>	<b>a 50m de Calle</b>	<b>a 200m de Calle</b>	<b>a 500m de Carretera</b>	<b>a 500m de Carretera</b>
Turismo	<b>Moderado Con palapas</b>	<b>Masivo Con palapas</b>	<b>Masivo Con palapas</b>	<b>Escaso Con palapas</b>	<b>Moderado Con palapas</b>
Actividad de Pesca	<b>Ausente</b>	<b>Ausente</b>	<b>Recolección de red</b>	<b>Comercial</b>	<b>Deportiva</b>

La zona de trabajo se encuentra influenciada por los ríos La Antigua, al norte, el Papaloapan al sur y el Jamapa al centro, que varía de acuerdo con la temporada y la dirección de las corrientes ya que en invierno las corrientes van al sur, mientras que en verano van hacia el norte (Krutak *et al.*, 1980; Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008). sobre el litoral, se presentan numerosas descargas pluviales y urbanas; y al sur del área, se presenta un arroyo pequeño que descarga agua a la playa que le da su nombre Arroyo Giotte (INEGI, 2020).

La línea de costa de Veracruz se caracteriza por ser sinuosa al igual que los perfiles de profundidad sobre una plataforma continental somera con profundidades promedio de menos de 70 m. Cerca de la costa se distinguen dos masas de agua, una a partir de la mezcla del agua común del golfo de México con el agua costera, y otra del agua de mar diluida por las aguas de los ríos. Regularmente, la columna de agua está estratificada; sin embargo, por periodos cortos los eventos de norte producen procesos de mezcla, con un descenso de la temperatura (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008). En el área de estudio las mareas son semidiurnas, existen dos mareas altas y dos mareas bajas por cada día lunar. Los ciclos de marea están descritos con detalle en (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008).

## **9.2 Procedencia de los Datos**

El material sedimentológico se recolectó en el marco del proyecto “La meiofauna como herramienta de monitoreo en playas arenosas de la región central de Veracruz” en su campaña de primavera del 2021. Las muestras provienen del litoral, que es el espacio costero de interacción Tierra-Mar, donde se encuentran las playas arenosas, ecosistemas ampliamente distribuidos en las costas del mundo. Específicamente, se recolectaron en la zona intermareal, que es el espacio del litoral delimitado por los niveles máximos y mínimos de la marea (Figura 3).

### 9.3 Muestreo

El diseño de muestreo y la toma de muestra consideró el tipo de playa y sus características (Tabla 1) con relevancia al crecimiento urbano histórico de acuerdo con el mapa propuesto en Siemens et al. (2006), así como el grado de modificación que presentan las playas debido a la ausencia de dunas y/o la presencia de escolleras de acuerdo con Hidalgo et al. (2016). Asimismo, se cubrió la zona intermareal de la región central de cada playa considerando tres niveles de marea, el máximo (“superior”), intermedio denominado (“medio”) y el mínimo (“inferior”).

Los muestreos se realizaron del 20 al 22 de mayo del 2021, en marea baja y durante los días con menor variación diaria de la marea de acuerdo con las tablas de marea del CICESE (<http://predmar.cicese.mx>) a partir de las 7 h comenzando con Antepuerto (A), seguido de Villa del Mar (B), Mocambo (C), Arrollo Gioté (D) y Farallón (E). A través de las imágenes que se muestran a continuación, se pueden observar las diferencias estructurales y morfológicas de se presentan en cada una de las playas (Figura 2).





*Figura 2. Playas de la zona costero central de Veracruz. A) Farallón, B) Antepuerto, C) Villa del Mar, D) Mocambo, E) Arroyo Giote.*

Se realizó la recolección de muestras, sobre tres transectos perpendiculares a la línea de costa con una separación de 5 m entre ellos. Cada transecto se muestreo en tres estaciones cubriendo los niveles de marea superior, medio e inferior (Figura 3).

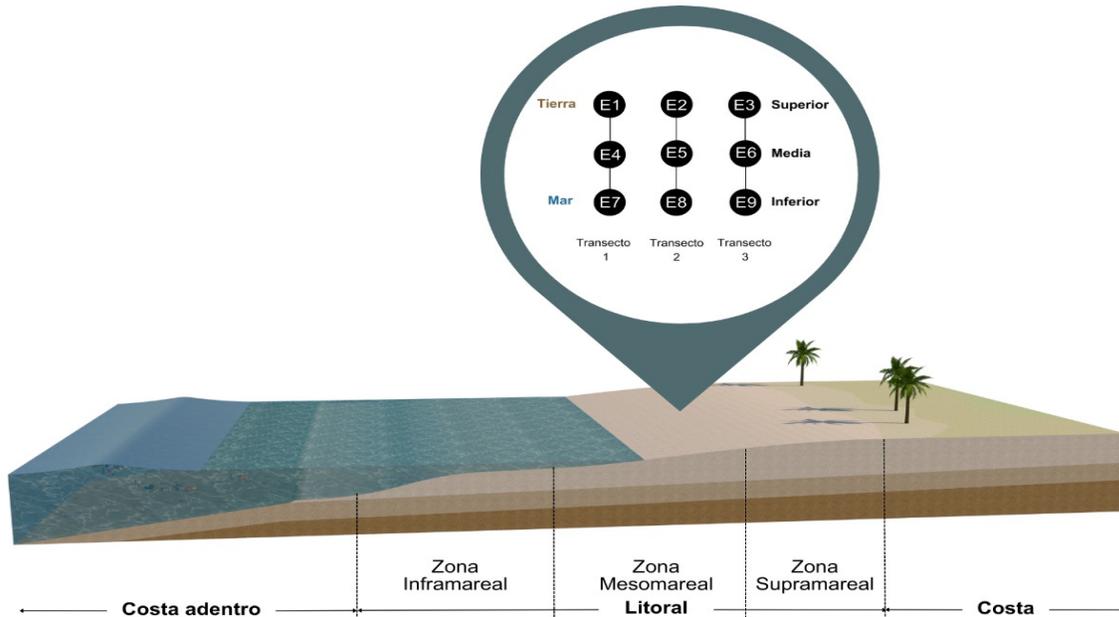
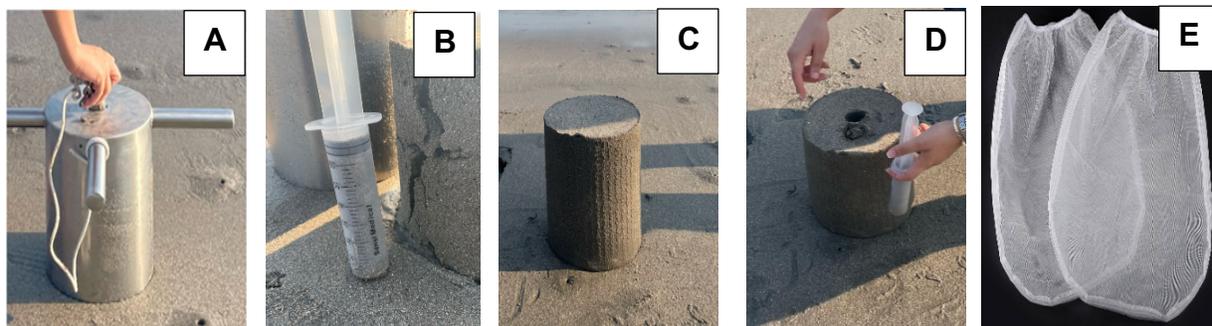


Figura 3. Diseño de la recolección de muestras donde se observan los tres transectos perpendiculares a la línea de costa.

#### 9.4 Toma de muestra

Las muestras de MPS se obtuvieron con dos nucleadores (Figura 4, letra A y B), el primero con un nucleador metálico de 20 cm de diámetro por 40 cm de alto para extraer un núcleo de sedimento intermareal (Figura 4, letra C) que fue colocado sobre la arena para extraer el sedimento. Con el segundo nucleador de 60 cm<sup>3</sup> (Figura 4, letra B) se recolectaron tres núcleos de la parte superior y tres más en el fondo (un original y dos réplicas en cada caso). Mismas que se denominan “Superficie” y “Fondo” respectivamente (Figura 4, letra C). Después se llevó a tamizar con un tamiz de abertura de malla de 250 micras (Figura 4, letra E) para llevarse a resguardo en una bolsa de cierre hermético marca Ziploc ® grado alimenticio de 16.5 x 14.9 cm a temperatura ambiente. Cada bolsa con muestra se codificó con un marcador indeleble con la clave Antepuerto (Ant), Villa del Mar (VM), Mocambo (M), Arrollo Giotte (AG) y Farallón (F), pero para motivos del estudio se nombró a las playas muestreadas por su nombre

completo según correspondió. Las muestras se almacenaron en un contenedor hermético para su transporte al laboratorio evitando la fricción con separadores.



*Figura 4. (A) Nucleador de 20 por 40 cm, (B) Nucleador de 15 cm, (C) Sedimento extraído, (D) sedimento restante después de extraída la muestra, (E) Tamiz con abertura de malla de 250  $\mu$ .*

### **9.5 Trabajo en laboratorio para la selección de MPS.**

En el laboratorio se tomó 60 g de muestra de sedimento húmedo por estación de muestreo con sus repeticiones y se colocaron en cajas petri Labasics 75 x 15 mm de vidrio previamente lavadas con agua, jabón y esterilizadas en la incubadora Fisher Scientific 637 D durante una hora a 100°C. Se sometió a observación microscópica estereoscópica para separar los MPS presentes y colocarlos en Eppendorf tubes® 3810x – microtubo. Al finalizar cada muestra se colocó alcohol etílico absoluto (etanol) diluido al 30 % para su manipulación. En cajas petri Labasics 75 x 15 mm de vidrio previamente enjuagados con agua, jabón y esterilizadas en la incubadora Fisher Scientific 637 D durante una hora a 100°C, se vertió la muestra presente en los Eppendorf tubes® 3810x – microtubo y se colocaron bajo luz de 40 watts para crear un campo de esterilización y evaporar el alcohol completamente. Después de evaporado se vertió 1 ml de peróxido de hidrogeno al 30% a una muestra representativa para disolver la materia orgánica y esperar hasta la disolución total, después se retiró el peróxido restante por decantación. Los MPS presentes en las cajas petri Labasics 75 x 15 mm de vidrio se llevaron al

proceso de identificación visual para su clasificación y medición correspondiente con el microscopio estereoscópico LeicaE4 y pinzas de acero inoxidable. A continuación se presenta un diagrama de flujo para su visión general (Figura 5) y el equipo utilizado para el análisis de muestra (Figura 6).

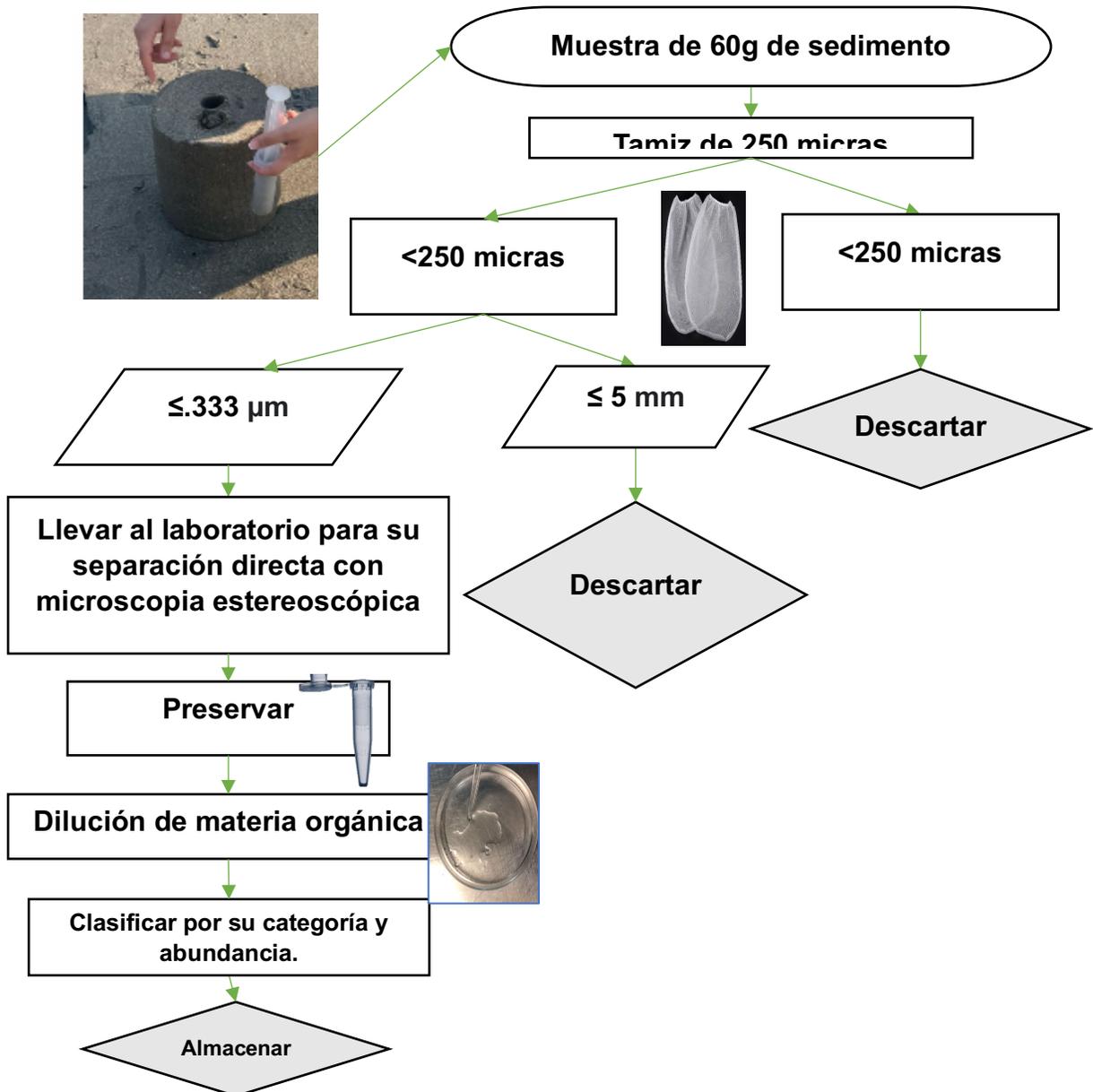
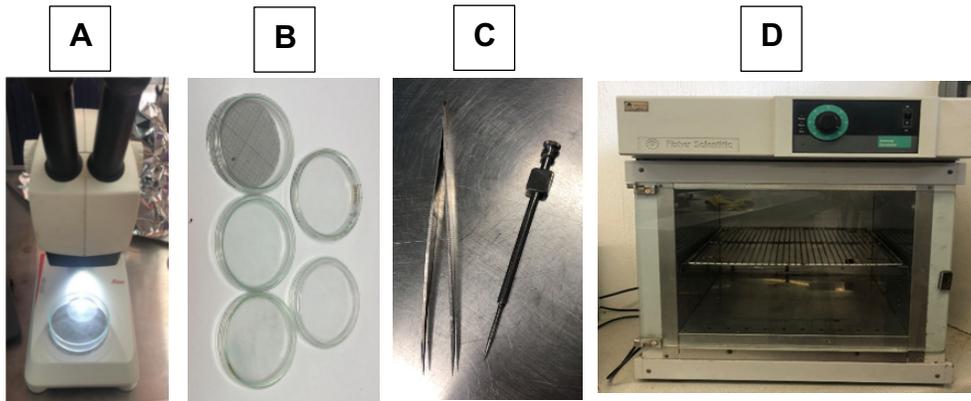


Figura 5. Diagrama de flujo para el análisis de los MPS en sedimentos de este estudio (NOOA, 2017).



*Figura 6. Equipo utilizado para el análisis de muestras. De izquierda a derecha A) Microscopio estereoscópico LeicaE4, B) cajas petri Labasics 75 x 15 mm, C) Pinzas de acero inoxidable, D) Incubadora Fisher Scientific 637 D.*

### **9.6 Control de calidad del material de laboratorio para la trazabilidad del método**

En el laboratorio, las cajas petri Labasics 75 x 15 mm de vidrio y pinzas de acero inoxidable se limpiaron cuidadosamente con agua destilada y se llevaron a la incubadora Fisher Scientific 637 D durante una hora a 100°C para evitar la contaminación. Las muestras antes de ser analizadas se resguardaban en contenedores de aluminio alejados de las rachas de viento como control de calidad en caso de contaminación por aire.

### **9.7 Análisis de Datos**

Se elaboró una base de datos con matrices en Excel correspondientes a la abundancia promedio de MPS, que más adelante llamaremos abundancia. Para observar los datos obtenidos en el presente estudio en donde se obtuvieron los valores mínimos, máximos sobre la abundancia más adelante se abrevian como pzas. Los MPS fueron

clasificandolos según las categorías predefinidas de acuerdo con los trabajos de Viršek *et al.* (2016), GESAMP (2019), Gaylarde *et al.* (2021) y Yücel, (2022).

Apartir de los valores de abundancia obtenidos, se calculó el promedio correspondiente a cada estación de muestreo en cada playa. Este esquema permitió llevar a cabo un análisis estadístico descriptivo con el objetivo de examinar la información obtenida con ayuda del software Past3.

Después obtenidos los datos se realizó la prueba de Shapiro Wilk para obtener medias de las muestras y se compararon entre los grupos. Asimismo, se realizó una ordenación mediante un Análisis de Escalamiento Multidimensional (MSD) (Kruskal y Wish, 1991) con el objetivo de buscar un gradiente se observaron las graficas de abundancia obtenidas.

## X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 10.1.1 Clasificación de los MPS recolectados.

El presente estudio clasificó los MPS recolectados en la zona intermareal del litoral central de Veracruz a partir de la forma de siete categorías diferentes: microfibras, fragmentos, espumas, esponjas, películas, microesferas y enredos (Figura 7).

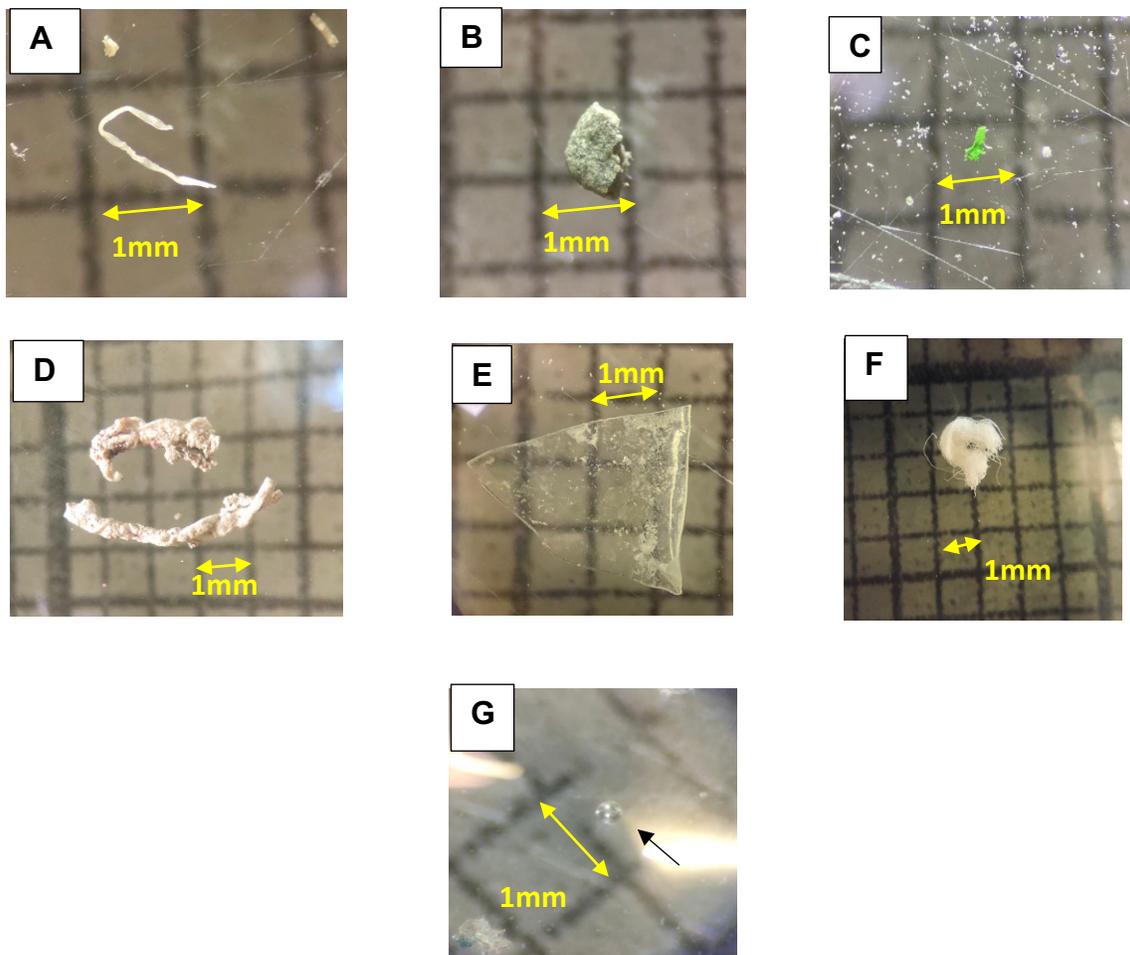


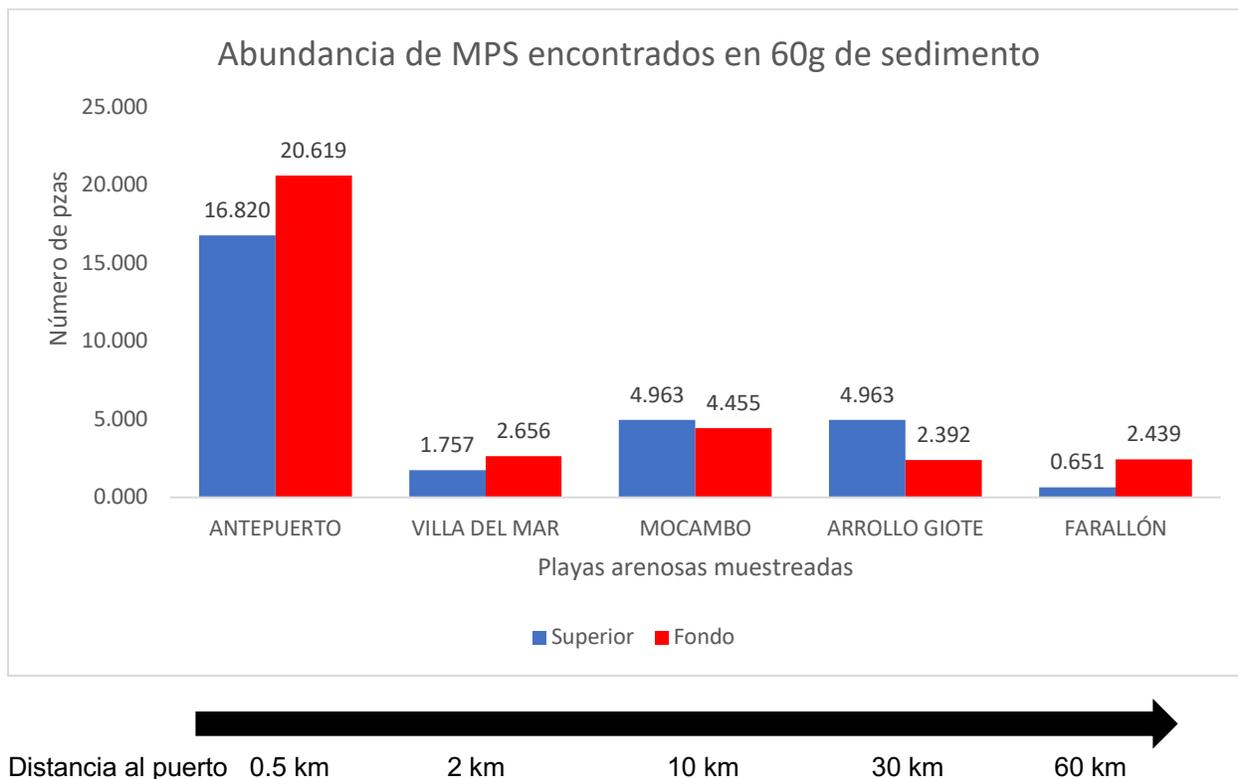
Figura 7. A) Microfibras, B) Fragmentos, C) Espumas, D) Esponjas, E) Películas, F) Enredos, G) Microesferas.

### **10.1.2 Abundancia de los MPS.**

Se identificó una abundancia de 6.171 pzas/60g de muestra en todo el estudio. Asimismo, se recolectaron 5.830 pzas/60g en el estrato denominado “Superior” y 6.512 pzas/60g, en el estrato denominado “Fondo”.

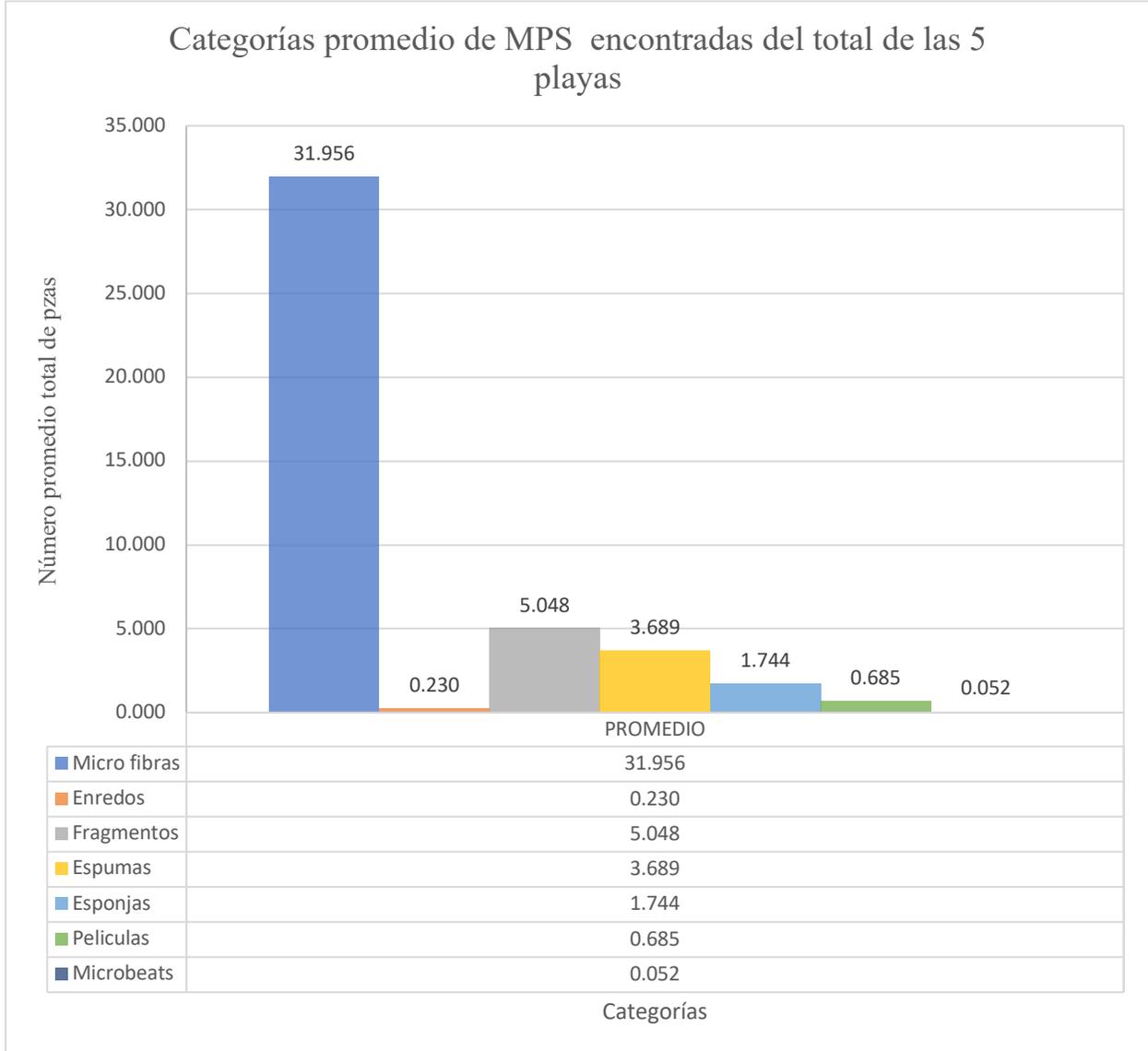
Antepuerto, la playa con más deterioro, registró la mayor abundancia total con 18.720 pzas/60g y Farallón, la playa natural de referencia por su menor deterioro, registró la menor abundancia con 1.545 pzas/60g, (Figura 8), lo cual es un reflejo de las características particulares de estas dos playas (Tabla 1). Es importante indicar que, en cuanto a los MPS totales por playa, no se registró la presencia de un gradiente de mayor a menor MPS a partir de playa Antepuerto hacia Farallón.

En de la abundancia total por estrato, los resultados son consistentes con lo observado y descrito anteriormente ya que, en general, destaca la similitud que hay entre los valores de superficie y de fondo; no obstante, en el fondo los valores de abundancia registrados son ligeramente más altos que en la superficie en la mayoría de las playas estudiadas como son Antepuerto, Villa del Mar y Farallón. En efecto, solo Mocambo y Arroyo Giote registraron valores más altos en superficie que en fondo, lo cual no se esperaba encontrar, incluso en Farallón, se registran los valores de mayor contraste al registrarse 3.8 veces más MPS en fondo que en superficie, mientras que, en Antepuerto, el contraste es mucho menor, como se puede observar en la Figura 8.



*Figura 8. Promedios de MPS identificados en las 5 playas arenosas del litoral central estudiadas, organizados a partir de la distancia al puerto de Veracruz (Tabla 1).*

En promedio se registraron 7 diferentes categorías en las 5 playas estudiadas para los estrados superior y fondo: microfibras, enredos, fragmentos, espumas, esponjas, películas y microesferas. Es inesperado encontrar abundancia de microfibras con un 73.970 %, lo cual representó tres veces más la abundancia que el resto de las formas. La menor correspondió a las microesferas con <0% (Figura 9). Es imperante mencionar que se observó un gradiente en la abundancia de microesferas y espumas.

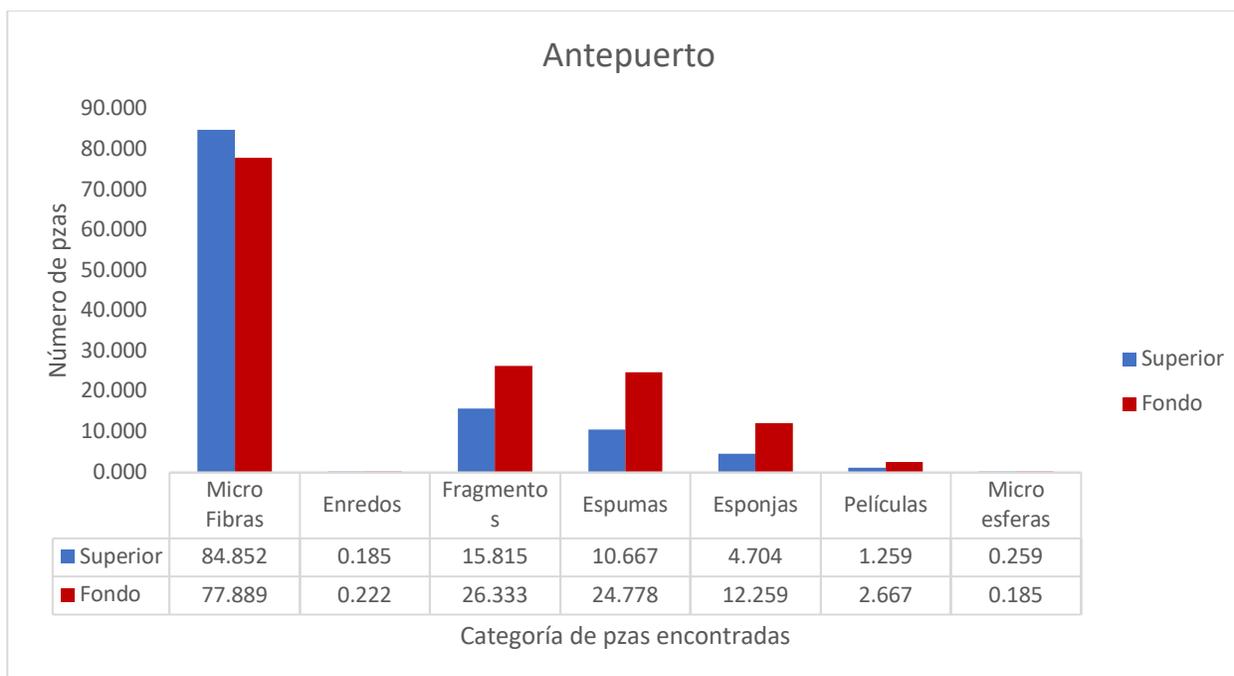


*Figura 9: Promedio de las categorías encontradas en las 5 playas de estudio*

En la playa Antepuerto se registró una abundancia de 18.720 pzas/60g. En el estrato superior se identificaron 16.820 pzas/60g de 7 categorías diferentes. La mayoría correspondió a las microfibras con el 72.066 %, lo cual representó 2.5 veces más del resto de formas encontradas, la menor presencia fue de enredos de fibras y microesferas con un porcentaje >0 % (Figura 10). Es imperante mencionar que del total de categorías buscadas, 6 se presentaron con mayor abundancia en Antepuerto; solo los enredos,

fueron más abundantes en Arrollo Gioté. Además, Antepuerto es la playa estudiada más cercana al puerto de Veracruz por lo que la abundancia era esperada (Tabla 1).

En el estrato fondo, se encontraron 20.619 pzas/60g de 7 categorías diferentes. Las microfibras representaron la mayor cantidad encontrada con el 53.964 %, la menor contribución fue de los microesferas y enredos de fibras con >0 % (Figura 10). La playa Antepuerto presentó mayor abundancia y diversidad de MPS en los dos estratos estudiados, lo que la convierte en la playa más contaminada del presente estudio.



*Figura 10: Categorías de los pzas promedio encontrados en el estrato superior y fondo de la playa Antepuerto.*

En la playa Villa del Mar se registró una abundancia de 2.206 pzas/60g. En el estrato superior se identificaron en promedio 1.757 pzas de siete categorías diferentes. La contribución mayor fue de las microfibras con una mayoría del 91.867 %; la menor contribución fue de las esponjas y microesferas con <1 % (Figura 11). En el caso de las

espumas y esponjas se encontraron en cantidades iguales en el estrato superior, con >1% cada uno. Además, es importante mencionar que, en comparación con las demás playas estudiadas, Villa del Mar ocupa el segundo lugar con menor contribución de microfibras, fragmentos y espumas del estudio; resultados que no se esperaban puesto que Villa del Mar es la segunda playa más cerca al puerto de Veracruz (Tabla 1).

En el estrato fondo de identifico una abundancia de 2.6/60g de 6 categorías diferentes (Figura 12). Las microfibras resultó ser la contribución con el 86.852 % mientras que la menor fue de las microesferas con <0 %. Sorprendentemente, en comparación con las demás playas estudiadas el estrato fondo; Villa del Mar ocupó el tercer lugar en presentar más MPS de las categorías: enredos, esponjas y películas. Este hallazgo es inesperado, considerando la proximidad de Villa del Mar al puerto de Veracruz.



*Figura 11: Categorías de MPS en los estratos superior y fondo de playa Villa del Mar.*

En la playa Mocambo se registró una abundancia de 4.709 pzas/60g. Del estrato superior se identificaron en promedio 4.963 pzas/60g presentes en cinco categorías diferentes. La mayor contribución fue de las microfibras con 93.176 % y la menor contribución fue

de los enredos, esponjas y microesferas con el 1 % (Figura 12). No se encontró presencia de esponjas y microesferas, a pesar de ello Mocambo es la segunda playa con mayor cantidad de MPS del estrato superior. Cabe destacar que no se encontró un gradiente en la presencia de MPS con forme a la proximidad con el puerto de Veracruz.

En el estrato fondo se identificó una abundancia de 4.455 pzas/60g de 7 categorías. La contribución mayor fue de las microfibras con 92.517 %. Es imperante mencionar que Mocambo es la segunda playa con mayor aporte de MPS tipo enredos, fragmentos, espumas y películas lo cual no se esperaba encontrar.

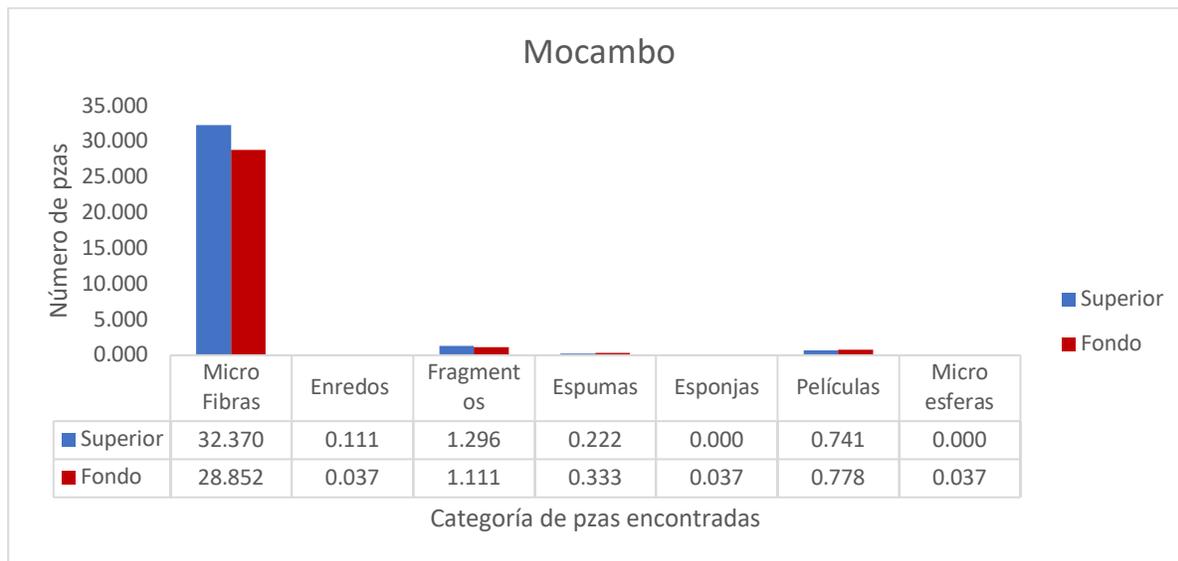
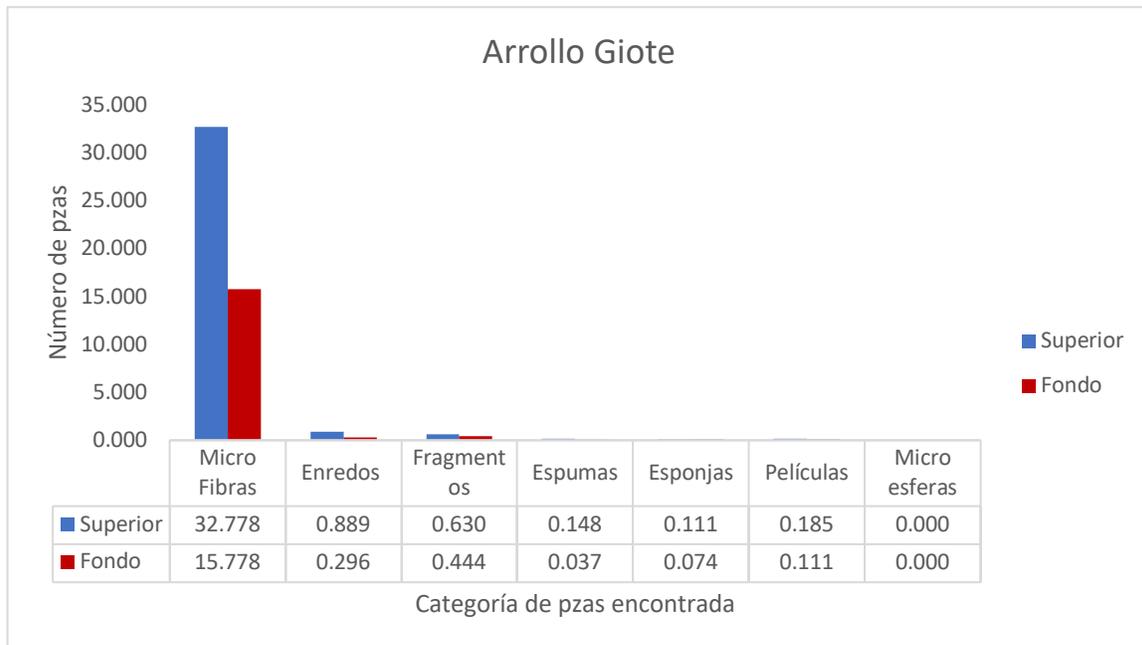


Figura 12: Categorías de MPS en los estratos superior y fondo de la playa Mocambo.

En la playa Arrollo Giotte se registró una abundancia de 3.677 pzas/60g. Del estrato superior se identificaron 4.963 pzas/60g en promedio pertenecientes a 6 categorías distintas. La contribución mayor fue de las microfibras con 94.349 %, mientras que la menor representó a las películas y esponjas, con 1 %, (Figura 13). No se encontró presencia de microesferas. Cabe destacar que Arrollo Giotte fue la playa con mayor número de enredos con respecto a las playas estudiadas, además no se esperaba

encontrar 292 microfibras/dm<sup>3</sup>, la misma cantidad que su playa vecina Mocambo (Figura 12).

En el estrato fondo se identificó una abundancia de 2.392 pzas/60g de 6 categorías diferentes. La mayor presencia fue de las microfibras con el 89 %, la menor fue de espumas y esponjas ambos con 1 %. Es imperante mencionar que no tuvo aporte de microesferas; como se muestra en la Figura 13. En comparación con las 5 playas analizadas, Arrollo Giotte presentó la menor cantidad de enredos, pero fue de la segunda con mayor abundancia de microfibras y esponjas.

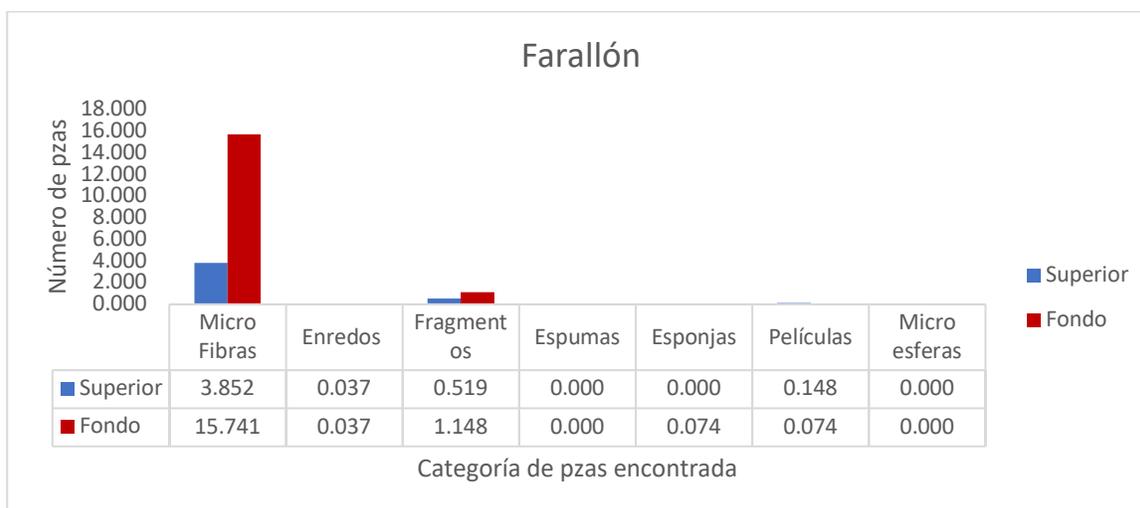


*Figura 13: Categoría de MPS promedio encontrados en el estrato superior y fondo de la playa Arrollo Giotte.*

En la playa Farallón, se encontró una abundancia de 1.545 pzas/60g. En el estrato superior se identificó una abundancia de 0.651 pzas pertenecientes a 5 categorías diferentes. La contribución más común fue de las microfibras con 94.349 %, mientras que la menor fue de los enredos, fragmentos y películas con el >1 % (Figura 14). Farallón

tuvo el menor número de pzas en microfibras, enredos, esponjas y películas, pero no se encontraron rastros de espumas y microesferas. Lo que la convierte en la playa menos contaminada en términos de MPS según el presente estudio.

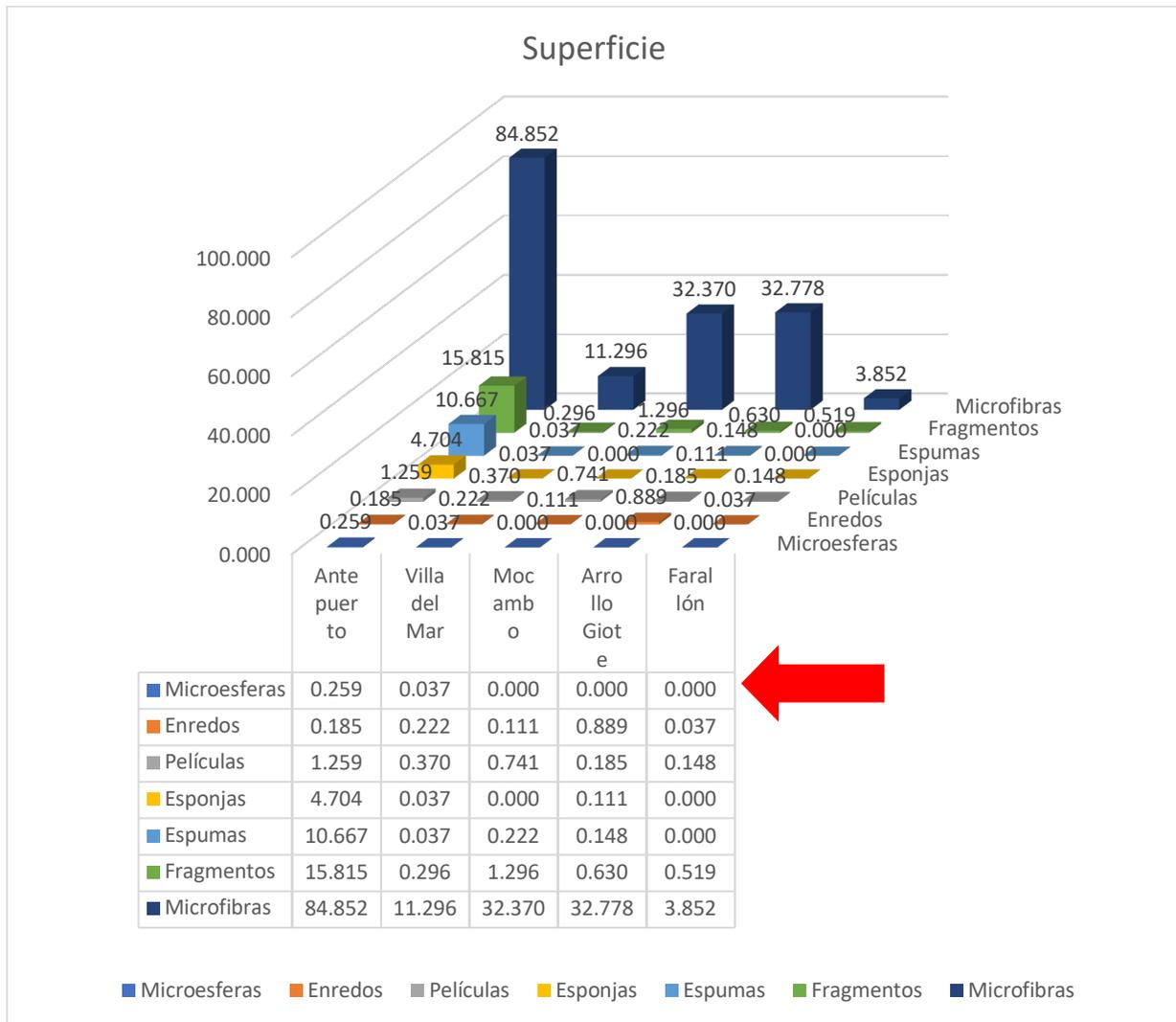
En cuanto al estrato de fondo, se identificó una abundancia de 2.439 pzas/60g de categorías diferentes. Las microfibras fueron la contribución más común, con un promedio del 94.247 %, mientras que los enredos, espumas, esponjas, y películas se presentaron en menor número, con solo un 1 %. No se encontraron espumas ni microesferas en este estrato. De las 5 playas estudiadas, Farallón sigue siendo la que tuvo la menor cantidad de MPS en todas las categorías mencionadas (fibras, enredos, espumas, esponjas, películas y microesferas). Esto era de esperarse, ya que Farallón es la playa con el menor impacto antropogénico del estudio. Cabe destacar que Farallón fue la playa con mayor número de enredos con respecto a las playas estudiadas.



*Figura 14: Categoría de pzas promedio encontrados en el estrato superior y fondo de la playa Farallón.*

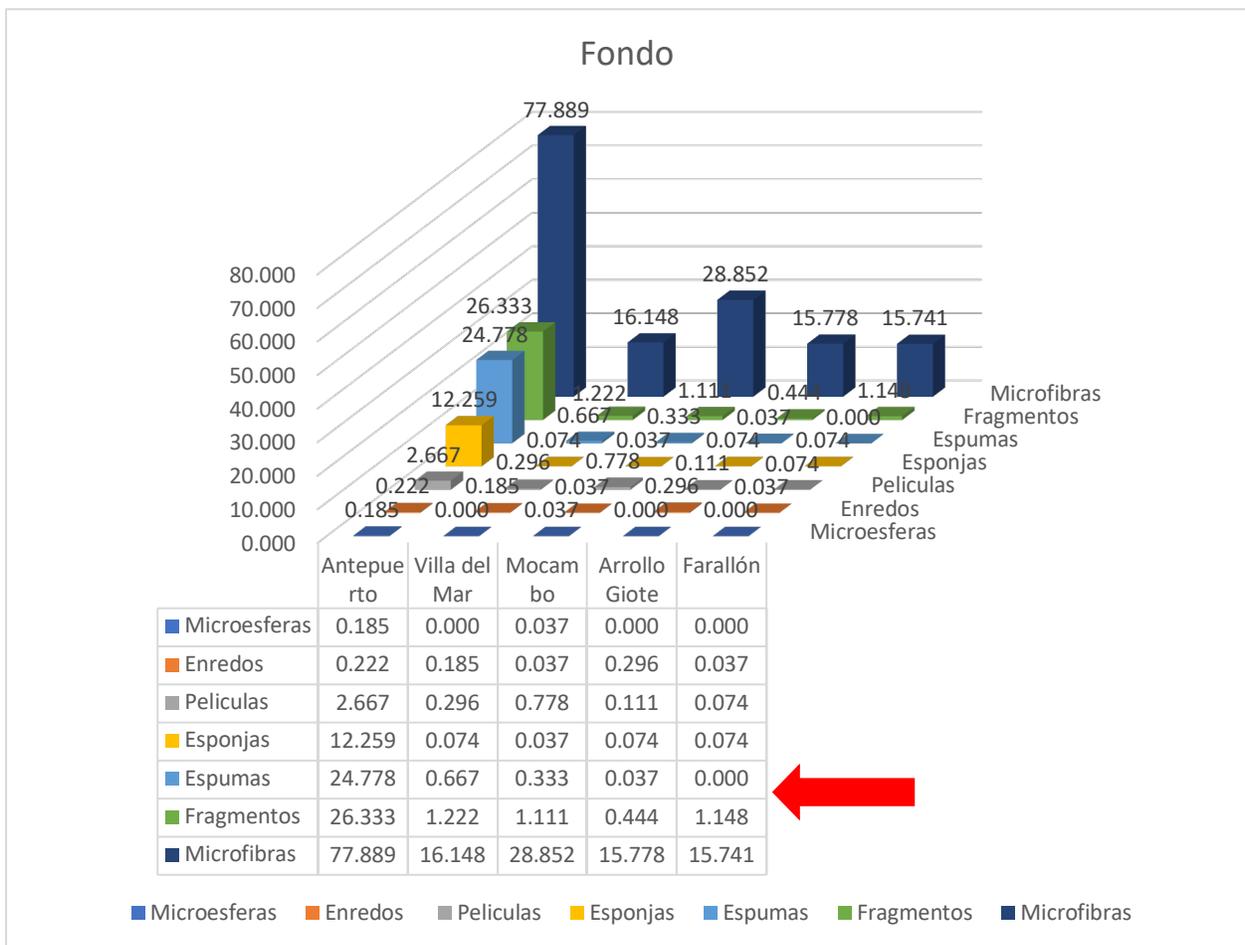
En el estrato superior se pudo notar que la playa con mayor contribución de MPS fue Antepuerto, ya que se detectaron 7 categorías diferentes en esta playa, seguida de Villa del Mar. Por otro lado, Arroyo Giotte presentó la menor diversidad de categorías de MPS.

Es relevante mencionar que tanto Mocambo como Farallón no presentaron contribución de microesferas y tampoco esponjas. Es imperante mencionar que se observó un gradiente en la presencia de Microesferas en el estrato superior (Figura 15).



*Figura 15. Presencia de pzas en las 5 playas estudiadas en orden descendente del estrato superior.*

En contraste, en el estrato fondo, las playas Antepuerto y Mocambo exhibieron la mayor abundancia de las categorías buscadas; mientras que la playa Farallón presentó la menor diversidad con cinco categorías. La ausencia de microesferas fue evidente en tres de las cinco playas estudiadas por lo que se puede deducir que es poco común encontrarlas. Adicionalmente se encontró una gradiente de abundancia en las categorías esponjas y espumas que no se esperaba encontrar, lo cual arroja una nueva suposición sobre la dinámica de distribución microplástica en estas playas estudiadas (Figura 16).



*Figura 16. Presencia de pzas en las 5 playas estudiadas en orden descendente del estrato fondo.*

### 10.1.3 Abundancia de MPS en función de su categoría.

La abundancia de MPS fue de 9.4275 pzas de los estratos superior y fondo con las siete categorías diferentes (microfibras, fragmentos, espumas, esponjas, películas, enredos y microesferas) en Antepuerto (n=29.029), Villa del Mar (n=3.5343), Mocambo (n=6.936), Arrollo Gote (n=4.873) y Farallón (n=2.764), para conocer la normalidad de los datos obtenidos se utilizó el programa Past (Pedrosa, *et al.*, 2015; Daniel *et al.*, 2006; Swift, 20022) para conocer la media y desviación estándar.

Para la abundancia de MPS del estrato superior por 60g de sedimento:

La playa Antepuerto media 16.8 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 30.6 pzas, Villa del Mar 1.76 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 4.21 pzas, Mocambo 4.96 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 12.09 pzas, Arrollo Gote 4.96 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 12.27 pzas, Farallón 0.651 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 1.424 pzas.

En este estudio la abundancia de MPS en el estrato fondo por cada 60g de sedimento seco la playa Antepuerto 185.8571 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 247.0185 pzas, Villa del Mar 25 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 53.5070 pzas, Mocambo 41.1428 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 96.1707 pzas, Arrollo Gote 22.7142 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 52.6678 pzas, Farallón 22.1428 pzas  $\pm$  (Desviación estándar) 51.7024 pzas.

Se realizó la prueba estadística Shapiro-Wilk con el objetivo de observar la normalidad de los datos. Se muestra de manera practica las variaciones de cada factor, bajo las condiciones de variable respuesta siguientes:

H0: Si  $p \geq 0.05$  No existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con relación a la variable de respuesta. Por lo que los datos siguen una distribución normal.

HA: Si  $p \leq 0.05$  Si existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con relación a la variable respuesta. Por lo que los datos no siguen una distribución normal.

*Nota: La prueba se utilizó una significancia de  $P = 0.05$  y para la decisión sobre  $H_0$  consideramos que si el valor es mayor se acepta  $H_0$  y si el valor es menor se rechaza la  $H_0$ .*

Tras observar si existen diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con relación a la variable respuesta. Los datos de la playa Antepuerto no siguen una distribución normal ya que el valor de  $P \leq 0.05$  para el estrato superior  $p=0.234$  y fondo  $p=0.0004$  por ello no existe homocedasticidad, y dado que la muestra es menor a 50 se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk (Pedrosa, *et al.*, 2015).

Los datos de la playa Villa del Mar si siguen una distribución normal ya que el valor de  $P \leq 0.05$  para el estrato superior  $p=2.499e^{-05}$  y fondo  $p=9.614e^{-06}$  por ello si existe homocedasticidad, y dado que la muestra es menor a 50 se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk (Pedrosa, *et al.*, 2015).

Los datos de la playa Mocambo si siguen una distribución normal ya que el valor de  $P \leq 0.05$  para el estrato superior  $p=1.099e^{-05}$  y fondo  $p=1.096e^{-05}$  por ello si existe homocedasticidad, y dado que la muestra es menor a 50 se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk (Pedrosa, *et al.*, 2015).

Los datos de la playa Arrollo Giotte si siguen una distribución normal ya que el valor de  $P \leq 0.05$  para el estrato superior  $p=8.355e^{-06}$  y fondo  $p=8.114e^{-06}$  por ello si existe homocedasticidad, y dado que la muestra es menor a 50 se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk (Pedrosa, *et al.*, 2015).

Los datos de la playa Farallón si siguen una distribución normal ya que el valor de  $P \leq 0.05$  para el estrato superior  $p = 1.546e^{-05}$  y fondo  $p = 6.212e^{-05}$  por ello si existe homocedasticidad, y dado que la muestra es menor a 50 se tendrá en consideración la prueba de Shapiro-Wilk (Pedrosa, *et al.*, 2015).

Con base a la ordenación mediante un análisis de escalamiento multidimensional (MSD) (Kruskal y Wish, 1991) con la matriz de similitud, se produce una ordenación de estaciones en función de los datos de abundancia de mps de cada categoría. con el objetivo de buscar un gradiente y verificar las agrupaciones a escala, posible observar arreglos de estaciones que respondan a gradientes ambientales.

En este caso no fue posible observar un gradiente pero se confirma lo antes mencionado sobre Antepuerto y Farallón, ambas se extrapolizan del resto confirmado que Antepuerto presenta alta abundancia MPS y Farallón es la playa natural menos antropogenizada del estudio. Por otro lado Villa del Mar, Mocambo y Arollo Giotte comparten características de abundancia.

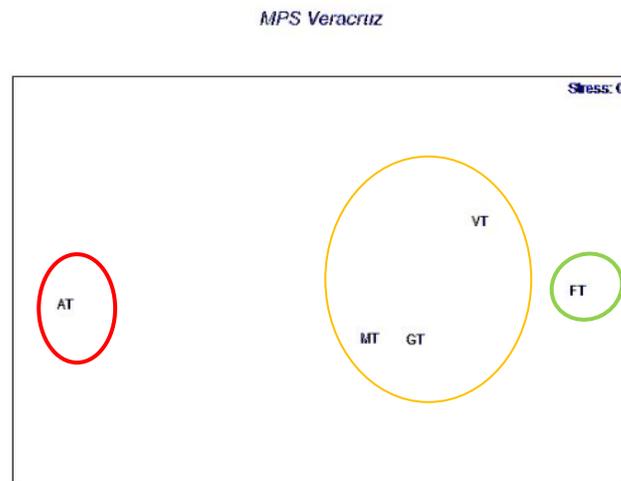


Figura 17. Análisis de escalamiento multidimensional (MDS) para la abundancia total de las 5 playas. Los elipses rojos muestran los conjuntos similares obtenidos, los verdes los conjuntos diferentes a un nivel de stress fórmula 1.

En la Figura 18, el análisis (MDS) para la letra A, se muestra la abundancia del estrato superior; y en la letra B, se muestra la abundancia del estrato fondo, donde se puede demostrar que la superficie y fondo actúan de la misma manera bajo un nivel de stress fórmula 0.

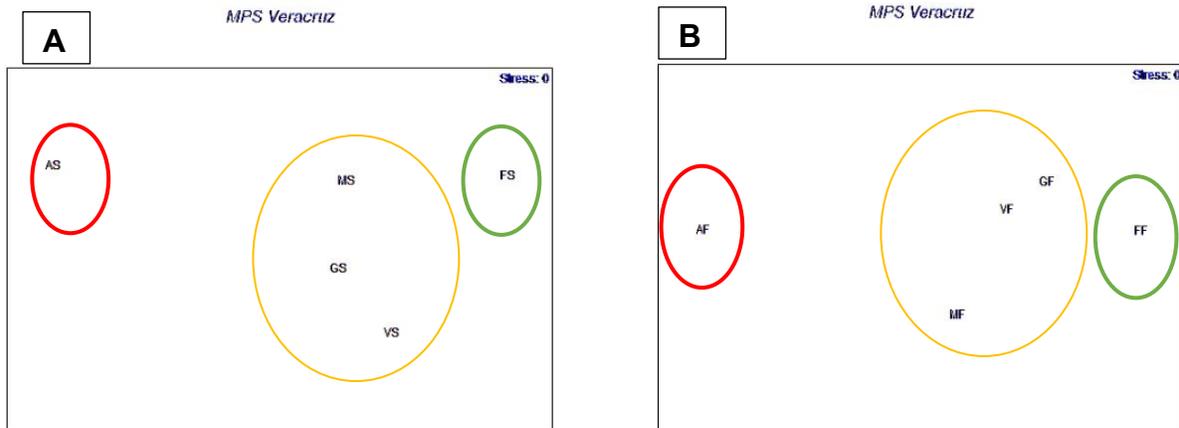
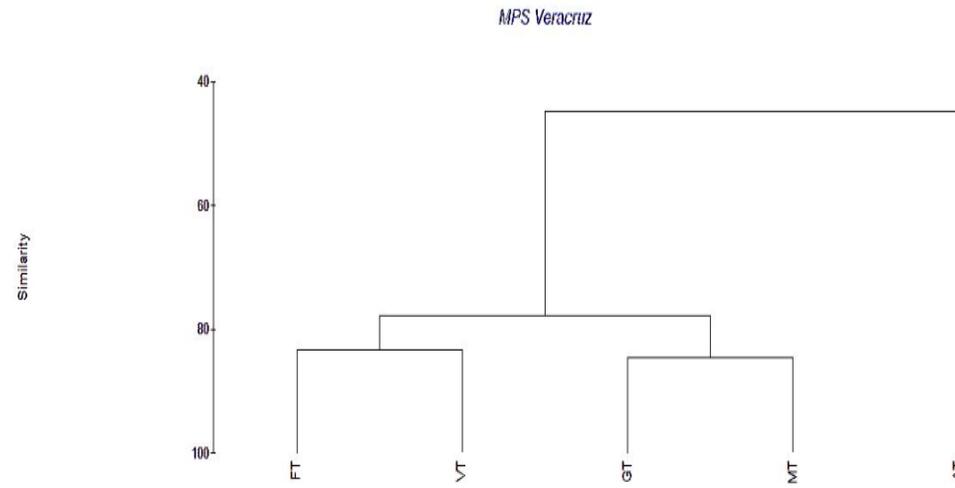


Figura 18. (MDS) para la abundancia de las 5 playas en los estratos, A superior y B fondo. Los elipses rojos muestran los conjuntos similares obtenidos, los verdes los conjuntos diferentes a un nivel de stress fórmula 1.

Bajo el criterio de homogeneidad de las formas MPS se realizó un análisis de cluster donde se observó una similitud entre la abundancia de MPS en las playas Farallón, Villa del Mar, Arrollo Giotte y Mocambo. Destaca la diferencia de Antepuerto sobre el resto de las playas.



*Figura 20. Dendrograma resultado del análisis de Clúster que agrupa la abundancia total de MPS en función de su similitud.*

Se realizó un segundo análisis cluster con los estratos superior y fondo de las 5 playas y no se observó un gradiente de MPS. Pero si se observó una que Mocambo es parecida a las playas Villa del Mar, Arrollo Giotte y Farallón fondo. Se destaca la diferencia de Antepuerto sobre el resto de las playas (Figura 21).

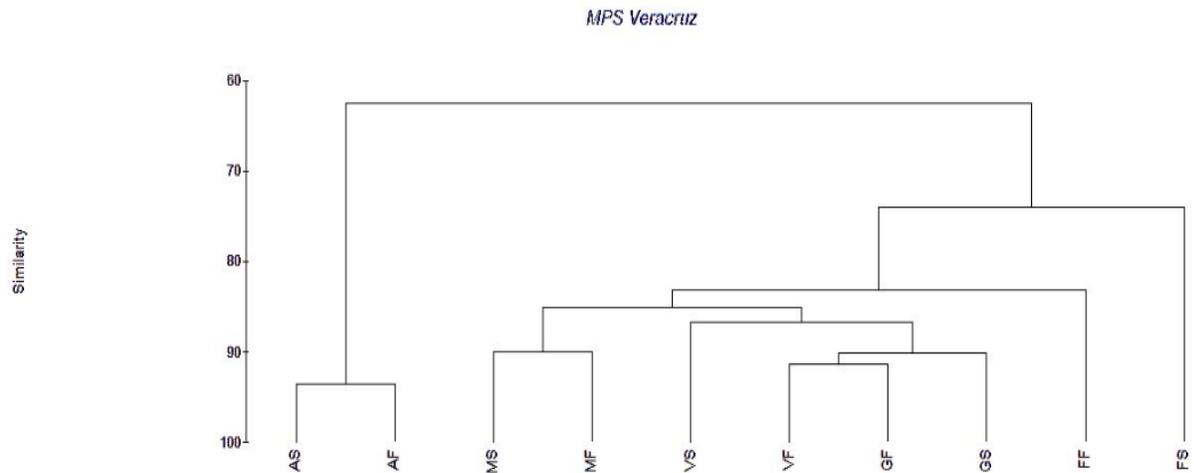


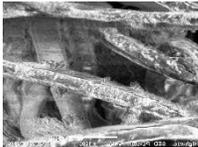
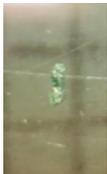
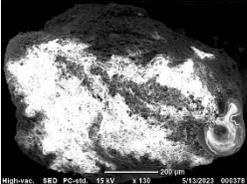
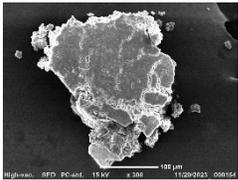
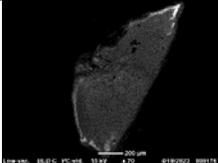
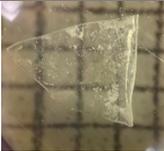
Figura 21. Dendrograma resultado del análisis de Clúster que agrupa la abundancia de MPS en los estratos superior y fondo, en función de su similitud.

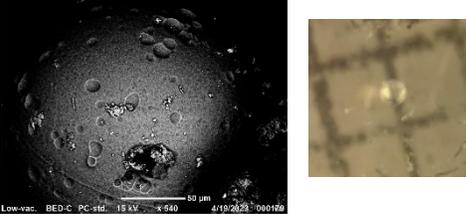
## 10.2 Análisis en las categorías de MPS recolectados en superficie y fondo.

Se propuso una clasificación de siete categorías de MPS basada en lo encontrado en el presente estudio, y siguiendo las directrices presentadas en la guía de seguimiento y evaluación de desechos plásticos en el océano, conforme a los informes y estudios de Viršek *et al.*, 2016; GESAMP (2019); Gaylarde *et al.*, 2021; Yücel, N. (2022).

Las distintas formas de MPS en los puntos de muestreo se derivan de su morfología identificada, ya sea irregular o esférica. En la Tabla 2, se describen los nombres asignados a cada categoría identificada en la primera columna, y el autor que la describe en la sexta columna. Las imágenes en la segunda y tercera columna ilustran las características visuales que coinciden con las formas observadas en este estudio como se observa en la Figura 4, y en la quinta columna de acuerdo la descripción proporcionada por cada autor.

**Tabla 2. Formas de los MPS encontradas en el presente estudio.**

Formas del MPS	Microscopia electrónica de barrido	Estereoscopia microscópica	Figura	Descripción	Autor
Filamentos/fibras/ (microfibras en este estudio)			(Figura 7, letra A)	Pueden ser largas o cortas pero son delgadas y flexibles.	(Viršek <i>et al.</i> , 2016).
Fragmentos rígidos	 *		(Figura 7, letra B)	Presentan una característica rígida, gruesa, con bordes cortados y un contorno irregular.	(Viršek <i>et al.</i> , 2016).
Foams o espumas			(Figura 7, letra C)	Piezas de suaves al tacto y fácil de desboronar.	(Gaylarde <i>et al.</i> , 2021).
Espojas			(Figura 7, letra D)	Son suaves y esponjosos al tacto y de un contorno irregular.	(Gaylarde <i>et al.</i> , 2021).
Films o películas			(Figura 7, letra E)	Hojas flexibles y de un espesor delgado.	(Gaylarde <i>et al.</i> , 2021).

Enredos		(Figura 7, letra F) Están compuestos de filamentos enredados o fibras. Yücel, N. (2022)
Gránulos (llamados microsferas en este estudio)		(Figura 7, letra G) Son de tamaño muy pequeño, alrededor de 1mm de diámetro con una forma regular, no son huecos. (Viršek <i>et al.</i> , 2016).

\*Foto tomada con Espectroscopia Raman

Basado en Ronda et al. (2023), las fibras (microfibras en este estudio) son las más dominantes, donde alcanzan densidades de rango 31.955 con un promedio de 266 (Figura 9). De manera opuesta al presente estudio, la mayoría de los autores utilizan el método de separación por densidad con una solución salina saturada de cloruro de sodio (NaCl), como método comúnmente utilizado para la extracción del MPS en sedimentos (NOAA, 2017), pero de igual manera es considerado insuficiente e ineficaz en el caso de los polímeros con densidades superiores a las del NaCl, afectando a la muestra de manera negativa como se puede observar en las diferencias de microfibras encontradas en cada estudio (Tabla 3). El presente trabajo mostró que nuevas formas de plásticos están conformando los microplásticos las cuales podrían ser nuevas vías de contaminación.

Las investigaciones marinas en general resultan en matrices de datos a partir de las cuales se obtienen patrones y relaciones mediante análisis multivariado de datos, en el cual se toma en cuenta a diversas variables simultáneamente, incrementando la cantidad de información que puede ser utilizada en un sólo análisis. Para ello, existen dos áreas

de técnicas multivariadas generales, la clasificación, que puede describirse como la actividad de dividir un conjunto de objetos en clases (Gordon, 1987), y la ordenación, que puede definirse como un análisis de una matriz de muestras a partir de las cuales se encuentra un nuevo conjunto de variables que predicen óptimamente la estructura entre las variables originales (Clarke y Green, 1988).

### **10.2.1 Análisis del uso de la playa Antepuerto.**

El puerto de Veracruz es uno de los más importantes destinos turísticos de México, mismo que en el 2021 presentó alrededor de 1'800,000 visitantes (SECTUR) (2021).

Las playas estudiadas sitúan diversas actividades económicas; tal como es el caso de Antepuerto, la playa urbana más cercana al puerto, y con mayor estrés por las actividades antropogénica, la sobreexplotación de recursos para la economía, el turismo, y la población cercana de 607,209 personas INEGI (2023), un malecón de 950 mts con una escollera poniente al final de 4.245 km de longitud.

Las escolleras presentes en la playa urbana de Antepuerto ayudan a disipar la energía del oleaje, volviendo el agua calmada, encerrando la playa y controlando la entrada y salida de cualquier sólido disuelto y materiales, por el cual hay asentamiento de materiales que no deberían estar presentes provocando que las partículas suspendidas finas terminen cayendo y acumulándose (Rivera et al 2016). Es posible que esta comunidad de 607,209 personas antes mencionada genere descargas de aguas residuales provenientes del lavado de prendas de vestir, este fenómeno podría contribuir en la emisión de 1 kg de fibras por cada 1,000 en la zona, como lo observa (Pedrotti *et al.*, 2022), Además esto podría deberse a la actividad del turismo en semana santa. Se tubo la presencia más alta del estudio en la playa Antepuerto de microfibras, como lo encontrado en los sedimentos intermareales realizado por Orona-Novar et al. (2022) en Estados Unidos donde se observaron 74 mps/m<sup>2</sup> durante la marea baja.

Por otro lado, el promedio de fragmentos encontrados en la playa Antepuerto fueron los más altos del estudio (Figura 9). Particularmente en dicha playa se observa la presencia de vendedores ambulantes ubicados en la cercanía de la playa, atraídos por el turismo, quienes envuelven y acompañan sus productos con cucharas y otros empaques plásticos de un solo uso que pueden terminar fragmentados por procesos físicos o tirados en las playas por movimiento de los individuos temporales o residentes en la zona, generando una influencia significativa en la presencia de fragmentos a más de 500 partículas como lo observado por Nchimbi et al. (2022) y Olivatto *et al.* (2019).

Es usual observar que las playas más cercanas a un puerto de carga y descarga marítima registran mayor densidad promedio de sólidos disueltos por maniobras de carga y descarga de mercancías y la presión antropogénica que reciben (Orozco *et al.*, 2020).

La abundancia promedio de espumas en la playa Antepuerto fue la más elevada del estudio. Las espumas son una categoría de MPS caracterizada por la presencia de pinturas de látex, resinas sintéticas, como lo describe De la Torre et al. (2020).

Se registró una concentración notablemente superior de esponjas en el estudio sobre las otras cuatro playas estudiadas, posiblemente originadas de envases desechables utilizados para alimentos, desechos de señalación marina, caucho entre otros. Estos materiales al fracturarse pueden llegar a más de 100 partículas (De la Torre, *et al.*, 2020). Los materiales presentes en las inmediaciones de la playa se ven transportados a la playa por la presión antropogénica continua de los individuos presentes en la zona, como transeúntes y turismo; además la cercanía de 10 m de la calle a la playa contribuye a la presencia de MPS de esta categoría.

Las películas presentes en la playa Antepuerto fueron las más altas del estudio, posiblemente provenientes del uso turístico y presencia urbana que tiene la playa, ya que quizás provienen de bolsas de basura, películas para empaques, envoltorios de comida pueden llegar a fracturarse a más de 55 partículas (Ruimin Qi *et al.*, 2020).

Los enredos encontrados en la playa Antepuerto no fueron los más elevados del estudio provenientes posiblemente de actividades pesqueras, prendas de vestir o prendas tejidas (Yücel *et al.*, 2022).

En los sedimentos de Antepuerto se observó la mayor presencia de microesferas del estudio. Estas piezas diminutas se añaden comúnmente en cosméticos, productos de cuidado personal y artículos de limpieza, alcanzando un aproximado de 1000 microesferas por cada unidad de dicho producto (Jia *et al.*, 2022). Las esferas se encuentran fabricados en tamaño micro, por lo que no solo su aparición es producto de las actividades recreativas por del turismo, y descargas de aguas residuales producidos por los pobladores, sino también a las actividades propias del propio puerto (Claessens, *et al.*, 2011).

La fragmentación de plásticos en las playas se observa posiblemente por las temperaturas fluctuantes entre 30 a 60°C y que, al elevarse apresura el quebrantamiento de las piezas, lo cual influye al depósito desigual de los restos ya fragmentados, y que distribuidos según sus densidades se dosifican sobre los sedimentos (Olivatto *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2023).

### **10.2.2 Análisis del uso de la playa Villa del Mar.**

La playa Villa del Mar es una playa disipativa que se caracteriza por estar en un ambiente urbano que recibe estrés por parte de las actividades desarrolladas dependientes al ser humano como los desarrollos costeros para tener una playa urbana de uso turístico. A lo largo los 180 m de su costa se observa la presencia de restaurantes que utilizan plásticos de un solo uso, vendedores ambulantes, estructuras de palapas de plástico ubicadas a la orilla de la playa, turistas y 2 esolleras, todas estas actividades podrían contribuir con la presencia de MPS.

Las 2 escolleras presentes en la playa disipan la energía del oleaje volviendo el agua más calma, encerrando la playa para contribuir con la entrada y salida de cualquier material suspendido que no debería estar presente provocando que las partículas que lleguen caigan al sedimento y se acumulen (Rivera et al 2016).

Se observa la aparición abundante de microfibras como lo ocurrido en la playa Tampico en Tamaulipas (Flores-Cortés & Armstrong-Altrin, 2022). La aparición en Villa del Mar podría atribuirse a los individuos que se encuentran aledaños a la playa que buscan situarse en ella o pasar, ya que debido a que se encuentra ubicada en el corredor turístico Veracruz- Boca del Rio, según señala Jiménez (2008), recibe transito temporal masivo junto con los desarrollos costeros colindantes. Con una población aproximada de 607,209 personas INEGI (2023), es posible que las actividades humanas en la zona costera como el lavado de prendas de vestir contribuya en la emisión como lo describe Pedrotti *et al.* (2022) en donde se generan 1 kg de fibras por cada 1,000 habitantes en la zona.

Los fragmentos presentes en la playa Villa del Mar podría atribuirse a los residuos sólidos urbanos presentes en la playa por los desperdicios de envases para bebidas, envases farmacéuticos, actividades pesqueras, tuberías entre otras piezas flexibles, juguetes, traídos de los turistas, vendedores ambulantes o restaurantes localizados en la playa (Nchimbi *et al.*, 2022; Olivatto *et al.*, 2019).

Las espumas presentes en la playa fueron constantes puntualizando la presencia de pinturas de látex, resinas sintéticas, como lo describe De la Torre *et al.* (2020). Muchos de estas espumas vienen de pinturas antiincrustantes utilizadas en embarcaciones comerciales y actividades de navegación, marcas viales y superficies externas de edificios (Gaylarde *et al.*, 2022). Villa del Mar presenta en la zona aledaña a la playa construcciones de edificios, y otros desarrollos costeros para casa habitación, negocios y restaurantes fachados con pinturas.

Se registró una concentración de esponjas en el estudio sobre las otras cuatro playas estudiadas, posiblemente originadas de envases desechables utilizados para alimentos, desechos de señalación marina o caucho que al fracturarse puede llegar a más de 100 partículas más pequeñas (De la Torre, *et al.*, 2020). Los materiales presentes en las inmediaciones de la playa se ven transportados a la playa por la presión antropogénica debido al tránsito masivo de transeúntes presentes en la zona, y turismo; además la cercanía de 50 metros de la calle a la playa contribuye a la presencia de caucho emitido por el tránsito vehicular que se acumula en las calles como polvo aunque las cantidades y conteo aún están en medida teórica (Järlskog *et al.*, 2022).

La presencia de películas provenientes de bolsas de basura, películas para envoltorios junto con empaques, comida, condones podrían atribuirse al tránsito masivo de individuos (Ruimin Qi *et al.*, 2020)

Los enredos identificados en Villa del Mar podrían estar directamente vinculados a las microfibras, ya que estos enredos están compuestos predominantemente por dicho material. Los enredos provienen posiblemente de actividades pesqueras, prendas de vestir o prendas tejidas (Yücel *et al.*, 2022).

Las microesferas fueron la categoría menos presente en la playa Villa del Mar, estos MPS se añaden mayormente a los cosméticos, artículos de cuidado personal y de limpieza (Jia *et al.*, 2022). Por lo que no solo ya se encuentran fabricados en tamaño micro, sino que además su aparición es producto de las actividades recreativas por del turismo, y su posible entrada al océano es por descargas de aguas residuales producidos por los pobladores.

El caso de los valores encontrados en la playa Villa del Mar, en efecto, no eran esperados, esta diferencia nos sugiere la posibilidad de que Villa del Mar recibe mayor atención en términos de limpieza lo que podría influir en la alteración de los datos resultantes.

### **10.2.3 Análisis del uso de la playa Mocambo.**

Las playas estudiadas albergan diversas actividades económicas, tal como es el caso de Mocambo, caracterizada por ser una playa urbana de 650 mts, causa probable para generar un tránsito constante de personas. Es una playa modificada con 4 escolleras perpendiculares al mar, sin presencia de ríos adyacentes, playa tipo bahía (Granados B. *et al.*, 2022). El río más cercano es el Jamapa que se encuentra a 4 km de distancia.

La funcionalidad de las 4 escolleras presentes es disipar la energía del oleaje por consecuente la playa Mocambo es calmada, favoreciendo al turismo y al asentamiento de materiales finos que no se deberían de depositar (Rivera *et al.* 2016). Los estudios mediante inteligencia artificial concluyen que la playa se encuentra en estado limpio pero con riesgo de presentar contaminación plástica debido a que se encontró presencia total de 1008 en la temporada de estiaje. Entre los macroplásticos encontrados hay botellas, bolsas, recipientes, cubiertos, tapas, fragmentos y popotes (Granados B. *et al.*, 2022).

En la playa Mocambo se observó una abundancia de microfibras en comparación con las seis clasificaciones del identificadas en la playa. Como lo ocurrido en el estado de Tamaulipas en la playa Tampico con 13,392 fibras microplásticas por kg de sedimento seco (Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin, 2023). Esta presencia se ve posiblemente influenciada a la población de municipio Veracruz donde pertenece la playa, en donde habitan 607,209 personas que generan descargas de aguas residuales provenientes del lavado de prendas de vestir, este fenómeno podría contribuir en la emisión de 1 kg de fibras por cada 1,000 en la zona, como lo observa (Pedrotti *et al.*, 2022). Además es zona

de pesca por lo que se encuentran embarcaciones que dejan sus redes a la intemperización logrando una posible fragmentación.

Las espumas presentes en la playa fueron constantes puntualizando la presencia de pinturas de látex, resinas sintéticas, como lo describe De la Torre *et al.* (2020). Muchos de estas espumas vienen de pinturas antiincrustantes utilizadas en embarcaciones comerciales y actividades de navegación, marcas viales y superficies externas de edificios (Gaylarde *et al.*, 2022). Mocambo presenta en la zona aledaña a la playa construcciones de edificios, y otros desarrollos costeros para casa habitación, negocios y restaurantes fachados con pinturas.

Se registró una concentración de esponjas en el estudio sobre las otras cuatro playas estudiadas, posiblemente originadas de envases desechables utilizados para alimentos, desechos de señalación marina o caucho que al fracturarse puede llegar a más de 100 partículas más pequeñas (De la Torre, *et al.*, 2020). Los materiales presentes en las inmediaciones de la playa se ven transportados a la playa por la presión antropogénica debido al tránsito masivo de transeúntes en la zona y turismo; además la cercanía de 50 metros de la calle a la playa contribuye a la presencia de caucho emitido por el tránsito vehicular que se acumula en las calles se observa en polvo; aunque las cantidades y conteo aún están en medida teórica (Järlskog *et al.*, 2022).

La presencia de películas provenientes de bolsas de basura, películas para envoltorios junto con empaques, comida, condones podrían atribuirse al tránsito masivo de individuos (Ruimin Qi *et al.*, 2020)

Los enredos identificados en Mocambo podrían estar directamente vinculados a las microfibras, ya que estos enredos están compuestos predominantemente por dicho material. Los enredos provienen posiblemente de actividades pesqueras, prendas de vestir o prendas tejidas (Yücel *et al.*, 2022).

Las microesferas fueron la categoría menos presente en la playa Villa del Mar, estos MPS se añaden mayormente a los cosméticos, artículos de cuidado personal y de limpieza (Jia *et al.*, 2022). Por lo que no solo ya se encuentran fabricados en tamaño micro, sino que además su aparición es producto de las actividades recreativas por del turismo, y su posible entrada al océano es por descargas de aguas residuales producidos por los pobladores.

#### **10.2.4 Evaluación del uso de la playa Arrollo Gioté.**

La playa Arrollo Gioté es una playa reflectiva que se caracteriza por estar en un ambiente rural, sin presencia de escolleras, con vegetación y baja incidencia de actividades humanas. La ausencia de escolleras mantiene el oleaje dinámico, lo cual no permite que los materiales o partículas pequeñas caigan al sedimento y se acumule (Rivera *et al.* 2016).

Se observó una alta presencia de microfibras debido posiblemente a la actividad pesquera desarrollada en la zona, como lo ocurrido en Tamaulipas, donde la única categoría de MPS encontrada fue de microfibras (Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin, 2023).

La presencia de películas provenientes de bolsas de basura, películas para envoltorios junto con empaques, comida, condones podrían atribuirse al tránsito de individuos (Ruimin Qi *et al.*, 2020). Además, se observa una presencia de muy baja en esponjas posiblemente originadas de envases desechables utilizados para alimentos, desechos de señalación marina o caucho que al fracturarse puede llegar a más de 100 partículas más pequeñas (De la Torre, *et al.*, 2020) No se encontró presencia de microesferas.

### 10.2.5 Evaluación del uso de la playa Farallón.

Farallón es una playa de uso rural, con el municipio de Actopan con 41,742 de habitantes, notorias dunas y presencia de numerosas palmeras, además una baja incidencia de las actividades humanas que no interfieren notoriamente con el entorno natural. La ausencia de escolleras en la zona permite el asentamiento de materiales finos, sólidos suspendidos, así como cualquier material orgánico o inorgánico fino o de tamaños pequeños (Rivera *et al.*, 2016). Como resultado de esto, las pzas promedio presentes fueron cinco de las siete categorías encontradas en el estudio con número más bajo.

En la playa Farallón se observó una abundancia de microfibras en comparación con las seis clasificaciones del identificadas en la playa, pero la más baja del estudio. Como lo ocurrido el estudio de Granados-Bernal (2022) en donde Farallón fue tomada como playa control debido a su baja incidencia de MPS.

Esta presencia se ve posiblemente influenciada a la población de municipio Veracruz donde pertenece la playa, en donde habitan 607,209 personas que generan descargas de aguas residuales provenientes del lavado de prendas de vestir, este fenómeno podría contribuir en la emisión de 1 kg de fibras por cada 1,000 en la zona, como lo observa (Pedrotti *et al.*, 2022). Además, es zona de pesca por lo que se encuentran embarcaciones que dejan sus redes a la intemperización logrando una posible fragmentación.

Por otro lado, el promedio de fragmentos encontrados en la playa Farallón fueron los más bajos del estudio. Particularmente en dicha playa no se observa la presencia de vendedores ambulantes, bajo turismo, influenciando en la ausencia de MPS.

La presencia de películas provenientes de bolsas de basura, películas para envoltorios junto con empaques, comida, condones podrían atribuirse al tránsito masivo de individuos (Ruimin Qi *et al.*, 2020), pero la baja presencia de estos genera baja abundancia.

Los enredos identificados en Farallón también fueron bajos, mismos que se podrían vincular a las microfibras, pero no están presentes en abundancia significativa. Los enredos provienen posiblemente de actividades pesqueras, prendas de vestir o prendas tejidas (Yücel *et al.*, 2022).

No se encontró presencia de espumas ni microesferas.

*Tabla 3: Presencia de MPS encontrados en distintas playas del golfo de México.*

Área de estudio	Concentración de MPS por kg de sedimento seco							Ab. total	Autor
	Microfibras	Fragmen- tos	Espumas	Esponjas	Películas	Enredos	Microesfe- ras		
Litoral central de Veracruz, México	31.955	.222	4.881	3.688	1.737	0.662	0.051	43.196 pzas/60g	Este estudio
Tecolutla, México.	166	12	0	0	3	0	0	181 MPS/75g	Flores-Cortés, M., & Armstrong-Altrin, J. S. (2022).
Tamaulipas, Playa Tampico	58%	1 %	0	0	41 %	0	0	256 a 283 MPs/20g	Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023)
Buenos Aires, Argentina	58%	1%	0	0	41%	0	0	986 MPS /kg	(Ronda <i>et al.</i> , 2023)

En Tecolutla con el estudio de Flores-Cortés, M., & Armstrong-Altrin, J. S. (2022), se observó una abundancia mayor en fibras, igual que el presente estudio posiblemente por la actividad presente en la zona, como lo ocurrido en el presente estudio. Además con respecto a la abundancia Tecolutla observó 4 veces más presencia de MPS, lo que puede ser causado a la influencia directa del río Tecolutla sobre las 19 playas muestreada, todas las estaciones de muestreo pertenecieron a una playa rural, con características de playas reflectivas a diferencia del presente estudio el cual se observó un muestreo en dos playas rurales y tres urbanas, con un total de cinco.

En Tamaulipas, playa Tampico Flores-Ocampo & Armstrong-Altrin (2023), observaron 84% más abundancia de MPS más que en el presente estudio. Es posible que se deba a que se realizó el muestreo en temporada de lluvias, aumentando las fuentes de aportes de MPS por escurrimientos. Además no se realizaron replicas en los transectos, ni repeticiones de cada caso.

La zona costera Argentina presentó una abundancia de 58 % de microfibras, y 41 % en películas, a diferencia del presente estudio en donde las playas rurales y urbanas presentaron películas y microfibras. El muestreo de la costa Argentina se realizó en verano, época climática que coincide con el alto turismo.

### **10.3 Existencia de un gradiente de la abundancia de MPS en las playas estudiadas.**

Las investigaciones marinas en general resultan en matrices de datos a partir de las cuales se obtienen patrones y relaciones. De acuerdo a la ordenación observada en las playas con forme a la expansión del puerto de Veracruz como lo observó Siemens et al (2016) , no se registró un gradiente de manera general en las playas de estudio, sin embargo, de manera particular se registró un gradiente de mayor a menor abundancia en los MPS de acuerdo a su categoría.

La categoría microesferas, en el estrato superior observó un patrón de mayor a menor presencia (Figura 22) de acuerdo a la playa con mayor presencia antropogénica. Es imperante mencionar que la ausencia de la playa Farallón en la grafica es debido a la similitud de los datos con Arrollo Giotte, ambas playas naturales.



*Figura 22. Registro de un gradiente en las microesferas del estrato superficial.*

De manera específica las espumas también observaron un gradiente o patrón de mayor a menor presencia (Figura 23) de acuerdo a la playa con mayor presencia antropogénica.



*Figura 23. Registro de un gradiente en las espumas del estrato fondo.*

## **XI. CONCLUSIONES**

1. Se encontraron siete categorías de MPS diferentes: microfibras, fragmentos, espumas, esponjas, enredos, películas y microesferas, siendo microfibras la categoría con más abundancia en todas las playas estudiadas, y microesferas la que menos abundancia tiene.
2. La abundancia de MPS en las playas no modificadas de tipo rural (Arrollo Giotte y Farallón) fue significativamente diferente con respecto a las playas modificadas de tipo urbano Antepuerto, Villa el Mar y Mocambo.
3. Antepuerto, que es la playa adjunta al puerto de Veracruz, mostró la mayor abundancia de MPS en todas las categorías excepto en enredos, mientras que Farallón la playa con características naturales, mostró la menor abundancia de microfibras, enredos, películas. No presentó espumas y microesferas.
4. No se observó el gradiente esperado de abundancia de MPS en la zona intermareales a partir del puerto de Veracruz, sin embargo, dicho gradiente si se observa en las categorías de microesferas en el estrato superior, y de espumas en el de fondo.

## XII. BIBLIOGRAFÍA

- Ab Rashid, M. F., & Darus, N. A. (2022). Research trends on the presence of microplastic particles in the environment and the impact of microplastics around the world from 2010-2022: A literature review and bibliometric analysis. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. 12(6), 490–517.
- Acosta González G., Ditz Carrillo V., Rosales, Caballero - Vázquez J.A. (2022). Microplásticos en agua y organismos. *Ciencia*, 04 73 2 1431.
- Alava, J. J., José, P., Veintimilla, J., Tirape, A., & Calle, P. (2019). Assessment of Mercury in endangered Galapagos Sea Lions, Galapagos Islands View Project Modelling the Bioaccumulation of Persistent Organic Pollutants, Mercury and Microplastics in the foodweb of endangered seabirds of the Galapagos Islands *View project*. <https://www.researchgate.net/publication/334361005>
- Álvarez-Zeferino, J.C., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A.A., Martínez-Salvador, C., Vázquez-Morillas, A. (2020). Microplastics in Mexican beaches, Resources, Conservation and Recycling, 155, 104633, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633>
- Bi, D., Wang, B., Li, Z., Zhang, Y., Ke, X., Huang, C., Liu, W., Luo, Y., Christie, P., & Wu, L. (2023). Occurrence and distribution of microplastics in coastal plain soils under three land-use types. *Science of the Total Environment*, 855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159023>
- Bollaín, C., Bollaín Pastor, C., & Agulló, D. V. (2019). Presencia de microplásticos en agua y su potencial impacto en la salud pública. *Colaboración especial In Rev Esp Salud Pública* (93).
- Celis-Hernández, O., Ávila, E., Ward, R. D., Rodríguez-Santiago, M. A. & Aguirre-Téllez, J. A. (2021). Microplastic distribution in urban vs pristine mangroves: using marine sponges as bioindicators of environmental pollution. *Environmental Pollution*. 284, 117391. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117391>.

- Cepero, G., María, Teresa, Leal, A., María, Teresa, y Castillo, G., Eduardo. (2018). Aplicación de estándares de certificación para el diagnóstico y gestión de playas. Congreso Internacional de Investigación, *Academia Journals*.
- Chubarenko, I., Esiukova, E., Bagaev, A., Isachenko, I., Demchenko, N., Zobkov, M., Efimova, I., Bagaeva, M., & Khatmullina, L. (2018). Behavior of microplastics in coastal zones. In *Microplastic Contamination in Aquatic Environments: An Emerging Matter of Environmental Urgency* (pp. 175–223). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00006-0>
- Claessens, M., Meester, S. de Landuyt I., Van, Clerck K. de, & Janssen C. R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199–2204. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Córdoba P. R., Nuñez M. C., & Skerritt Gardner, D. (2008). Migración internacional, crisis agrícola y transformaciones culturales en la región central de Veracruz. México: *Centro De estudios Mexicanos y Centroamericanos*, 1–37.
- Crutzen J. P. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415, 1–1.
- Cruz-Salas, A. A., Alvarez-Zeferino, J. C., Martínez-Salvador, C., Enríquez-Rosado, M. del R., Gutiérrez-Ortiz, M. del R., Vázquez-Morillas, A., & Ojeda-Benitez, S. (2020). Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca.
- da Fonseca, E. M., Gaylarde, C., Baptista Neto, J. A., Camacho Chab, J. C., & Ortega-Morales, O. (2022). Microbial Interactions with Particulate and Floating Pollutants in the Oceans: A Review. *Micro*, 2(2), 257–276. <https://doi.org/10.3390/micro2020017>
- Daniel, Wayne W, (2006) Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud Ed. Limusa Wiley, México

- De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Fernández, N. Y., Espinoza-Morriberón, D., & Saldaña-Serrano, M. (2020). Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110u877>
- Dodson, G.Z., Shotorban, K.A., Hatcher, P.G., Waggoner, D.C., Ghosal, S., Noffke, N., (2020). Microplastic fragment and fiber contamination of beach sediments from selected sites in Virginia and North Carolina, USA, *Marine Pollution Bulletin*, (151), 110869, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110869>.
- Duno De Stefano, R., Angulo, D., Lorena, L., Itzá, C., Álvarez-Lopezello, J., & Chávez-García, Y.E. (2022). Microplásticos en el Antropoceno: contaminación y efectos en el suelo. *Desde El Herbario CICY*, 14(212–217), 1–6. [http://www.cicy.mx/sitios/desde\\_herbario/](http://www.cicy.mx/sitios/desde_herbario/)
- Eleftheriou, A. (2013). *Methods for the study of marine benthos*. Wiley-Blackwell.
- Estrella-Jordan, B. A., Lango-Reynoso, F., Castañeda-Chávez, M. del R., Montoya-Mendoza J., Reynier-Valdes, D. (2023). "Microplastic Pollution in Sea Turtle Nests on the Beaches of Nautla and Vega de Alatorre, Veracruz". *Microplastics*, (2). 182-191. <https://doi.org/10.3390/microplastics2020014>
- Fernández Díez, P. (2005). Departamento de ingeniería eléctrica y energética universidad de cantabria energía de las olas.
- Franco García, F. Y., & Macías Hernández, M. K. (2022). Tipos de Microplásticos presentes en tres playas del municipio de Tuxpan, Veracruz. *Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México*.
- Flores-Cortés, M., & Armstrong-Altrin, J. S. (2022). Textural characteristics and abundance of microplastics in Tecolutla beach sediments, Gulf of Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(10). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10447-4>

- Gaylarde Christine C., Bautista Neto J.A., Monteiro da Fonseca E., (2021) Paint fragments as polluting microplastics: a brief review. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111847, issn 0025-326x, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111847>
- Gil J., Soto M. M., Usma I. A., J., & Gutiérrez, O.D. (2012). Emerging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Contaminantes emergentes em agua, efeitos e possíveis tratamentos*. (7), Issue 2.
- GESAMP (2019) Guidelines for the Monitoring and Assessment of Plastic Litter in the Ocean Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution. - *GESAMP Reports and Studies*. (99). <http://hdl.handle.net/20.500.11822/30009>
- Salas Monreal, D., Díaz-Hernández, A., Áke-Castillo, J. A., Granados-Barba, A., & Riverón-Enzástiga, M. L. (2023). Annual variation of hydrographic parameters at the confluence of the Jamapa river and Moreno stream (Mexico): Jamapa river hidrography.
- Granados Barba, A., Pérez Ruiz, M. de los Á., & Castañeda Chávez, R. (2017). Calidad ambiental de las playas arenosas. *Diario Xalapa*, 3E, 1–1
- Grant Gross, M. (1985). (M. Grant Gross & R. J. Foster, Eds.; 5th ed.). *Oceanography* Charles E. Merrill Publishing Company A Bell & Howell Company
- Hidalgo Rodríguez, G., Granados Barba, A., Castañeda Chávez, M. del R., & Ortiz Lozano, L. D. (2017). Comunidades intermareales de la macrofauna en playas arenosas del litoral central de Veracruz, Golfo de México: Un enfoque de integridad ecológica
- Hidalgo Rodríguez, G., Castañeda Chávez, M. del R. & Granados-Barba, A. & Sánchez-Domínguez, B. (2016). Environmental Variability of Tropical Sandy Beaches Across an Anthropic Gradient: The Case of Central Veracruz (Southwestern Gulf of Mexico). *International Journal of Environmental Research*. 10. 481-490

- Huang, X., Gao, H., Li, Z., Wu, F., Gong, Y., & Li, Y. (2022). Microplastic contamination and risk assessment in blue shark (*Prionace glauca*) from the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114138>
- Iannacone, J., Huyhua, A., Alvariño, L., Valencia, F., Principe, F., Minaya, D., Ortega, J., Argota, G., & Castañeda, L. (2019). Vista de microplásticos en la zona de marea alta y supra litoral de una playa arenosa del litoral costero del Perú. *The Biologist (Lima)*, 17, 335–346.
- Ilechukwu, I., Das, R. R., & Reimer, J. D. (2023). Review of microplastics in museum specimens: An under-utilized tool to better understand the Plasticene. *Marine Pollution Bulletin*, 191, 114922. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114922>
- Irina C., Elena E., Andrei B., Igor I., Natalia D., Mikhail Z., Irina E., Margarita B., Lilia K., - Behavior of Microplastics in Coastal Zones, *Microplastic Contamination in Aquatic Environments Chapter 6*, 2018, 175-223, ISBN 9780128137475, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813747-5.00006-0>.
- Järllskog, I., Strömvall, M.A., Magnusson, K., Gustafsson, M., Polukarova, M., Galfi, G., Ronsson, M., Andersson-Sköld, Y. (2020) Occurrence of tire and bitumen wear microplastics on urban streets and in sweepsand and washwater, *Science of the total Environment*, (729), 2020, 138950, issn 0048-9697. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138950>
- Jia, Q., Duan, Y., Han, X., Sun, X., Munyaneza, J., Ma, J., & Xiu, G. (2022). Atmospheric deposition of microplastics in the megalopolis (Shanghai) during rainy season: Characteristics, influence factors, and source. *Science of the Total Environment*, 847. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157609>

- Jiménez, O. G. (2008). Organización espacial del corredor turístico Veracruz-Boca del Río. *Teoría y praxis*, (5), 171-186.
- Jorquera, A., Castillo, C., Murillo, V., Araya, J., Pinochet, J., Narváez, D., Pantoja-Gutiérrez, S., & Urbina, M. A. (2022). Physical and anthropogenic drivers shaping the spatial distribution of microplastics in the marine sediments of Chilean fjords. *Science of the Total Environment*, 814. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152506>
- Kovač Viršek, M., Palatinus, A., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*. 118. <https://doi.org/10.3791/55161>
- Lagos Tobías, A. M., Felipe Algarra, A., Lara Yanes, L., Victoria León, M., de Dios Sevilla, M., Londoño, R., Quiroga, S., & Investigador-Colciencias, J. (2013). *Meiofauna*.
- Lara M. Pinheiro, Raqueline C.P. Monteiro, Juliana A. Ivar do Sul, Monica F. Costa, (2019) Do beachrocks affect microplastic deposition on the strandline of sandy beaches? *Marine Pollution Bulletin*, (141),569-572, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.010>.
- Leads, R. R., Weinstein, J. E., Kell, S. E., Overcash, J. M., Ertel, B. M., & Gray, A. D. (2023). Spatial and temporal variability of microplastic abundance in estuarine intertidal sediments: Implications for sampling frequency. *Science of the Total Environment*, 859. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160308>.
- Llorca, M.; Álvarez-Muñoz, D.; Ábalos, M.; Rodríguez-Mozaz, S.; Santos, LH; León, VM; Campillo, JA; Martínez-Gómez, C.; Abad, E.; Farré, M. (2020) Microplásticos en la zona costera del Mediterráneo: Toxicidad e impacto para el medio ambiente y la salud humana. *Entorno de tendencias. Anal. Química*. (27), e00090.

- Marine Debris Program, N. (2015). Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments.
- Martínez G., Valeria Susana, Guerrero R., S., Mora-Longa, G., Klagges Ormeño, C., Moreno Araneda, M., Montenegro M., Luis M., Palacios P., Martha L., Chaurra A., María A., Purca Cuicapusa, S., R., Robinson-Duggon, J., & Vega-Baudrit, José Roberto. (2023). La problemática de los micro y nanoplásticos en las costas americanas del Océano Pacífico. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 16(30). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69783>.
- Mengatto, M. F., & Nagai, R. H. (2022). A first assessment of microplastic abundance in sandy beach sediments of the Paranaguá Estuarine Complex, South Brazil (RAMSAR site). *Marine Pollution Bulletin*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113530>
- Miranda Pacheco, S. (2020). Desagüe, ambiente y urbanización de la ciudad de México en el siglo XIX. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 40(159), 31–72. <https://doi.org/10.24901/rehs.v40i159.701>
- Naidu, B. C., Xavier, K. A. M., Shukla, S. P., Jaiswar, A. K., & Nayak, B. B. (2022). Microplastics in the foreshore coastal waters, sediment, and coastal fauna of a highly populated megacity - A study on the effect of anthropogenic discharge on clams. *Marine Pollution Bulletin*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114262>
- Nchimbi, A. A., Shilla, D. A., Kosore, C. M., Shilla, D. J., Shashoua, Y., & Khan, F. R. (2022). Microplastics in marine beach and seabed sediments along the coasts of Dar es Salaam and Zanzibar in Tanzania. *Marine Pollution Bulletin*, 185. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114305>

- Olivatto, G. P., Martins, M. C. T., Montagner, C. C., Henry, T. B., & Carreira, R. S. (2019). Microplastic contamination in surface waters in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 157–162. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.12.042>
- Orona-Návar, C., Raul García-Morales, Frank J. Loge, Jürgen Mahlknecht, Iris Aguilar-Hernández, Nancy Ornelas-Soto. (2022) Microplastics in Latin America and the Caribbean: A review on current status and perspectives, *Journal of Environmental Management*, 309,114698, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114698>
- Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. de L. (2011). Zona costera. *COSTAS*, 1–24.
- Pedrotti, M. L., de Figueiredo Lacerda, A. L., Petit, S., Ghiglione, J. F., & Gorsky, G. (2022). *Vibrio* spp and other potential pathogenic bacteria associated to microfibers in the North-Western Mediterranean Sea. *PLoS ONE*, 17(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275284>
- Peralta Peláez, L. A., C. Peña Montes, L. Hermida-Castellanos, O. de J. Huerta Quero, C. Hernández-Álvarez, I. A. Mejía Estrella & B. Sulbarán Rangel. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33 (2): 231-242.
- Pérez Jiménez, J. C., Morales Jiménez, C., Lango Reynoso, F., & Castañeda Chávez, M. del R. (2023). Fuentes de contaminación terrestres con impactos en arrecifes coralinos de la zona centro del golfo de México. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, 16, 1146–1152.
- Pérez-Ruiz M. de los A., Granados-Barba. A., Castañeda Chávez M del R., (2017). *Ciencia y Luz*. Universidad Veracruzana Dirección de Comunicación de la Ciencia.

Plastics Europe Association of Plastics Manufactures. (2020). Plásticos: los hechos 2020.

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

Rivera, I. L., Ruiz, H. E., & Escobar, B. L. C. (2016) Programa de Saneamiento de la Polución de la Playa Las Escolleras, Ubicada en Puerto Chiapas, del Municipio de Tapachula, Chiapas. *Revista Análisis Organizacional*, 1473.

Rodríguez, J. G., López, J., & Jaramillo, E. (2001). Community structure of the intertidal meiofauna along a gradient of morphodynamic sandy beach types in southern Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 74(4), 885–897. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2001000400015>

Ronda, A. C., Menéndez, M. C., Tombesi, N., Álvarez, M., Tomba, J. P., Silva, L. I., & Arias, A. H. (2023). Microplastic levels on sandy beaches: Are the effects of tourism and coastal recreation really important? , *Chemosphere*, 316. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137842>

Ruíz-Reyes CI, Lango-Reynoso F, Castañeda-Chávez M del R, Moran-Silva A. (2023) Microplásticos en playas del área de anidación de tortugas de Nautla-Vega de Alatorre, Veracruz. *Microplásticos.*; 2(3):230-241. <https://doi.org/10.3390/microplastics2030019>

Ruimin Qi, Davey L. Jones, Zhen Li, Qin Liu, Changrong Yan, Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review, *Science of The Total Environment*, (703), 2020, 134722, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134722>.

- Salas-Pérez J, Salas-Monreal D, Arenas-Fuentes VE, Salas-de-León DA, & Riveron-Enzastiga ML. (2008). Tidal characteristics in a coral reef system from the western Gulf of Mexico. *Ciencias Marinas*, 4, 1–12.
- Secretaría de Turismo (SECTUR) (2021). Available online: <http://www.veracruz.gob.mx/2021/11/26/Veracruz-esta-profesionalizadoen-turismo-visitantes-generan-derrama-de-2-mil-170-mdp-sectur/>
- Siemens, A. H., Moreno-Casasola, P., & Bucno, C. S. (2006). The Metabolization of Dunes and Wetlands by the City of Veracruz, Mexico.
- Sverdrup, K. A., Duxbury, A. B., & Duxbury, A. C. (2006). Fundamentals of oceanography, fifth edition (D. Bruflodt, D. Nemmers, & L. Dalberg, Eds.; *Fifth Edition*, (1).
- Swift, R. S. (2002). Cómo mejorar las relaciones con los clientes. *Pearson Education*. p. 172.
- Thompson, R. C., Ouen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. C., Mcconigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? [www.sciencemag.org/cgi/content/full/304/5672/838/](http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/304/5672/838/)
- Torrez-Pérez, K. A., Cervantes, O., & Reyes-Gómez, J. (2020). Quantification and Classification of Microplastics (Mps) in Urban, Suburban, Rural and Natural Beaches of Colima and Jalisco. México. *Revista Costas*, 3(1), 207–230. <https://doi.org/10.25267/Costas.2021>
- Wang, C., O'Connor, D., Wang, L., Wu, W. M., Luo, J., & Hou, D. (2022). Microplastics in urban runoff: Global occurrence and fate. In *Water research* (Vol. 225, p. 119129). NLM (Medline). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119129>
- Welsh, B., Aherne, J., Paterson, A. M., Yao, H., & McConnell, C. (2022). Spatiotemporal variability of microplastics in Muskoka-Haliburton headwater lakes, Ontario, Canada. *Environmental Earth Sciences*, 81(24). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10670-9>

- Wu, X., Zhong, C., Wang, T., Zou, X., Zang, Z., Li, Q., & Chen, H. (2021). Occurrence and distribution of microplastics on recreational beaches of Haichow Bay, China. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10987-7>/Published.
- Yücel, N. (2022) Detección de fibras microplásticas enredadas en camarón rosa de aguas profundas en el noreste del mar Mediterráneo. *Environmental Science and Pollution Research*, 30 , 10914–10924. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22898-w>.
- Yu X, Ladewig S, Bao S, Toline CA, Whitmire S, Chow AT. Occurrence and distribution of microplastics at selected coastal sites along the southeastern United States. *Sci Total Environ*. 2018 Feb 1;613-614:298-305. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.100. Epub 2017 Sep 14. PMID: 28917168.
- Zhang, M., Liu, N., Hou, L., Li, C., & Li, C. (2023). Adsorption behaviors of chlorpyrifos on UV aged microplastics. *Marine Pollution Bulletin*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114852>

Anexo I: Resultado de las pruebas de normalidad con el apoyo del software MINITAP 18 para las 5 playas arenosas muestreadas.

