



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

ALBA GUADALUPE BARBOSA SANCHEZ

ASESOR INTERNO:

NORMA LAURA RODRIGUEZ AVILA

TÍTULO:

CARACTERIZACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN LA COSTA DE SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, CAMPECHE

MARZO/2026



2026
año de
**Margarita
Maza**





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHINÁ

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

ALBA GUADALUPE BARBOSA SANCHEZ

ASESOR INTERNO:

NORMA LAURA RODRIGUEZ AVILA

TÍTULO:

CARACTERIZACIÓN DE LOS MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN LA COSTA DE SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, CAMPECHE

MARZO/2026



2026
año de
**Margarita
Maza**



Calle 11 S/N entre 22 y 28, Chiná, Campeche, C.P. 24520.

Tel. 9818272052 y 9818272082 dir_china@tecnm.mx www.itchina.edu.mx



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Chiná
Dirección

Chiná, Campeche; 09/marzo/2026

Oficio No. DIR/208/2026

C. BARBOSA SANCHEZ ALBA GUADALUPE
PRESENTE

El que suscribe, manifiesta que el Dictamen emitido por el Comité de Revisión que integra el sínodo de la Titulación Integral por Tesis denominada **"CARACTERIZACIÓN DE LOS MICROPLASTICOS PRESENTES EN LA COSTA DE SAN FRANCISCO DE CAMPECHE, CAMPECHE"**; es **APROBADO** como requisito parcial para obtener el Título de Licenciada en Biología.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica
Aprender Produciendo

MARCO GABRIEL ROSADO ÁVILA
DIRECTOR



2026
año de
Margarita
Maza



Calle 11 S/N, Puerto 27 y 28, Chiná, Campeche, C.P. 24530

Tel. 9818272052 y 9818272082 dir_china@tecnm.mx www.itchina.edu.mx

COMITÉ REVISOR

Este trabajo fue revisado y aprobado por este comité y presentado por la C. **BARBOSA SANCHEZ ALBA GUADALUPE** como requisito parcial para obtener el título de: **LICENCIADA EN BIOLOGÍA** el día 12 del mes de marzo del año 2026 en Chiná, Campeche.

NORMA LAURA RODRÍGUEZ ÁVILA
PRESIDENTE

KARINA VERDEL ARANDA

Secretario

GERARDO ALFONSO AVILÉS RAMÍREZ

Vocal

HECTOR OCTAVIO GUERRERO TURRIZA

Vocal Suplente

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme la fortaleza, la protección y la oportunidad de regresar siempre a casa con bien en cada salida y retorno del instituto, y por acompañarme a lo largo de este camino académico.

A mis padres, Manuel Barbosa y Guadalupe Sánchez, por su respaldo incondicional, y por el apoyo económico, por confiar en mí incluso en los momentos de duda y por animarme cada vez que sentí que no podía continuar, extendiendo este agradecimiento a mis hermanas, quienes han sido una parte fundamental de mi vida; deseo que este logro sea también una motivación para ellas, y un ejemplo de que con esfuerzo, constancia y apoyo familiar es posible alcanzar nuestras metas.

Al profesor Gerardo Avilés, por creer en mi potencial y motivarme a llevar a cabo la presente investigación, su confianza y orientación fueron clave para el desarrollo de este trabajo.

A la doctora Norma Rodríguez, por sus valiosos asesoramientos, consejos y disposición para compartir su conocimiento, los cuales enriquecieron significativamente esta investigación y mi formación académica.

A mis compañeros y amigos Henry Rodríguez y Luis Ligonio, por acompañarme en cada salida de campo, por las risas en el laboratorio y por los cafés y desayunos compartidos, que hicieron este proceso más llevadero y significativo.

De igual manera se agradece a la Administración Portuaria Integral de Campeche por las facilidades brindadas y por permitir el acceso a las zonas portuarias para la realización de los muestreos y actividades de campo necesarias para el desarrollo de esta investigación, su apoyo fue fundamental para llevar a cabo el trabajo en el área de estudio y contribuir al cumplimiento de los objetivos planteados.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por formar parte de mi crecimiento personal y profesional.

INDICE

1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES	2
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. General.....	5
3.2. Específicos.....	5
4. JUSTIFICACION	6
5. MARCO TEORICO	7
5.1. Zona costera.....	7
5.2. Factores ambientales	7
5.2.1. pH	7
5.2.2. Temperatura del mar.....	8
5.2.3. Temperatura de la atmósfera.....	8
5.3. Dinámica costera (olas)	8
5.4. Plásticos	10
5.4.1. Macroplásticos.....	10
5.4.2. Microplásticos	12
5.5. Efecto de los microplásticos en las zonas costeras, océanos, organismos y en la salud humana.....	13
6. HIPOTESIS	15
7. METODOLOGÍA Y ÁREA DE ESTUDIO.....	16
7.1. Etapa 1: Preparación y planificación	16
7.1.1. Diseño de investigación.....	18
7.1.2. Sitios de muestreo	18
7.2. Etapa 2: Trabajo de campo y recolección de muestras	18
7.3. Etapa 3: Análisis de laboratorio e Interpretación	20
7.4. Etapa 4 Gabinete.....	22
8. RESULTADOS	23
9. DISCUSION	35
10. CONCLUSION	38
11. REFERENCIAS CITADAS.....	39
12. Anexos	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de tamaños aceptada en la degradación de los plásticos (Castañeda, 2020)	12
Figura 2. Zona Costera dentro de la ciudad de San Francisco de Campeche (Tomada de Google Earth).....	16
Figura 3. A) Recolección de agua superficial en un bidón de 10L. B) Medición del pH y temperatura del agua con un medidor multiparamétrico. C) Medición de la velocidad del viento y temperatura atmosférica con un anemómetro digital. D) Registro de parámetros ambientales durante el muestreo en playa bonita. Se observa la toma de datos en campo correspondientes a variables físico-químicas y condiciones meteorológicas, realizadas como parte del monitoreo costero para la recolección de muestras destinadas al análisis de microplásticos.....	19
Figura 4. Sistema de filtración por vacío empleado en el laboratorio para la separación de microplásticos presentes en muestras de agua. El equipo consta de una bomba de vacío conectada a un matraz Kitasato con embudo de filtración y mangueras de conexión, permitiendo el paso del líquido a través de un filtro para la retención de partículas sólidas.	20
Figura 5. Muestras etiquetadas y listas para ser analizadas bajo el estereoscopio electrónico	21
Figura 6. Observación e identificación de microplásticos mediante microscopía digital	22
Figura 7. Fibras plásticas identificadas como MPs en agua costera, con longitudes de 2.35 μm a 10.5 μm . Se evidencian fibras rectas y curvadas, en colores rojo y azul, características de la fragmentación de plásticos mayores.	24
Figura 8. MPs tipo fibra observados mediante microscopía estereoscópica en muestras de agua costera. Las partículas presentan tamaños entre 1.26 μm y 13.77 μm , en colores rojo y azul, con morfología predominantemente filamentosa y curvada.....	25
Figura 9. Fibras sintéticas clasificadas como MPs, con longitudes de 2.58 μm a 14.74 μm . Se observan variaciones en grosor, color y disposición (filamentos aislados y agrupados), lo que refleja su origen múltiple y procesos de degradación ambiental.	26
Figura 10. MPs tipo fibra visualizados mediante microscopía estereoscópica. Las partículas presentan un rango de 1.64 μm a 13.44 μm , con predominio de fibras delgadas en colores azul y rojo, en formas rectas, curvadas y enrolladas, evidenciando heterogeneidad morfológica.	27
Figura 11. Fibras plásticas identificadas como MPs en muestras de agua costera, visualizadas con microscopía estereoscópica. Se observan partículas con longitudes comprendidas entre 1.64 μm y 13.44 μm , con predominio de estructuras filamentosas en tonos azul y rojo.	28
Figura 12. A) El análisis estadístico indicó que la diferencia no fue estadísticamente significativa, aunque se evidencia una tendencia al aumento posiblemente asociada a la intensificación de las actividades turísticas. B) Se observa una tendencia decreciente en la abundancia promedio de MPs desde el sitio API Galerías hacia Playa Bonita.....	33
Figura 13. A) Intervalos de confianza al 95 % de la velocidad promedio del viento (m/s) antes y después del periodo vacacional de Semana Santa, no se observaron variaciones significativas entre ambos muestreos, manteniéndose valores similares en el promedio general. B) Se observa un aumento en la temperatura posterior al periodo vacacional,	

pasando de aproximadamente 30 °C a 32 °C, el análisis estadístico mediante prueba t para muestras relacionadas mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos muestreos, lo que indica una variación térmica asociada tanto a factores estacionales como al incremento de la radiación solar y las condiciones climáticas propias del periodo. C) Hubo un incremento en la temperatura ambiental posterior al periodo vacacional, pasando de aproximadamente 35 °C a 38 °C, se evidenció una diferencia significativa entre ambos muestreos, indicando un cambio térmico estacional que podría influir en la dinámica superficial del agua y, por ende, en la distribución de MPs. D) Hubo una disminución significativa del pH posterior al periodo vacacional, pasando de valores cercanos a 7.3 a aproximadamente 6.4, lo que indica un aumento en la acidez del agua.³⁴

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala del estado del viento y del mar	9
Tabla 2. Clasificación de plásticos (Ocampo M, 2019)	11
Tabla 3. Sitios de muestreo y sus características principales	17
Tabla 4. Clasificación de MPs por forma y color de las primeras muestras entre los 5 sitios seleccionados	23
Tabla 5. Clasificación de las segundas muestras entre los 5 sitios seleccionados	23
Tabla 6.- Número de Mps por cada sitio muestreado	29
Tabla 7. Promedio de valores de densidad de Mps	30
Tabla 8. Datos de variables ambientales de cada sitio seleccionado	30
Tabla 9. Descripción del tipo de oleaje en la zona costera de San Francisco de Campeche	32

RESUMEN

Los plásticos, utilizados por su bajo costo, resistencia y versatilidad, tienden a fragmentarse con el tiempo en microplásticos (MPs), partículas menores de 5 mm que hoy se encuentran distribuidas en casi todos los ecosistemas, estos pueden liberar sustancias tóxicas y ser ingeridos por organismos marinos, afectando procesos biológicos esenciales, representando un posible riesgo para la salud humana; en la costa de San Francisco de Campeche, la combinación dinámica costera, expansión urbana y alta actividad turística, especialmente durante temporadas vacacionales favorece la acumulación y dispersión de estas partículas en el ambiente marino.

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de las actividades humanas en la contaminación por microplásticos en esta región, comparando su presencia antes y después de Semana Santa 2025, para ello, se realizó una investigación en cinco puntos del litoral, donde se recolectaron muestras de agua superficial y se midieron parámetros ambientales para asociar estas variables con la abundancia y distribución de microplásticos; Los resultados confirmaron la presencia de MPs en todas las muestras analizadas, predominando las fibras azules y rojas, con tamaños de entre 2 y 14 μm , se contabilizaron 134 partículas antes del periodo vacacional y 168 después, aunque este aumento no fue estadísticamente significativo; las concentraciones más elevadas se registraron en Cocteleros y API Galerías, zonas con fuerte actividad turística y portuaria, también se detectaron variaciones significativas en la temperatura del agua y el pH, mientras que la velocidad del viento y la temperatura ambiental permanecieron estables; la contaminación por microplásticos en San Francisco de Campeche es constante y generalizada, aunque el incremento posterior a Semana Santa no fue significativo, la tendencia observada en áreas turísticas subraya la necesidad de fortalecer la gestión ambiental, mejorar el manejo de residuos y mantener un monitoreo continuo que considere los factores climáticos y oceanográficos que afectan su distribución.

Palabras clave: microplásticos, contaminación, zona costera, actividad turística.

1. INTRODUCCION

Los plásticos son de los materiales que más se utilizan en la vida cotidiana estos mayormente provienen de derivados del petróleo, desde su producción se ha experimentado un incremento sostenido durante las últimas siete décadas, de acuerdo con García-Regalado et al. (2024), la fabricación mundial de plásticos alcanzó aproximadamente 400.3 millones de toneladas en 2022, reflejando el crecimiento exponencial del consumo y la dependencia de este material.

Debido a su alta disponibilidad y a la inadecuada gestión de los residuos plásticos, estos contaminantes se encuentran ampliamente distribuidos en todo el mundo, incluyendo aguas residuales, cuerpos de agua superficiales, suelos, sedimentos, aire y, particularmente, en los ecosistemas oceánicos (Hartmann et al., 2019).

Los macroplásticos que se desechan en la zona costera, como botellas, bolsas y contenedores, sufren procesos de degradación ocasionados por la radiación solar, la acción mecánica del viento, las olas y las corrientes marinas, convirtiéndose en partículas microscópicas denominadas *microplásticos* (MPs), de tamaño inferior a 5 mm; dichas partículas pueden liberar compuestos químicos tóxicos: como plastificantes, retardantes de llama y colorantes, que se incorporan al suelo, al agua y al aire, generando impactos ambientales considerables (Mejía Estrella et al., 2023).

Por otra parte estos MPs pueden ser ingeridos y acumulados por diversos organismos marinos, entre ellos peces, moluscos, almejas y crustáceos, lo cual representa un riesgo potencial para la salud humana, principalmente a través del consumo de especies contaminadas y de la transferencia trófica de estas partículas en la cadena alimentaria (Alcázar-Espinoza, 2024).

El estudio de los microplásticos en la costa de San Francisco de Campeche es particularmente relevante debido a las características geomorfológicas y ecológicas de la región, así como a su función como espacio recreativo, turístico y pesquero; este entorno combina sectores urbanos con áreas naturales, lo que permite observar de forma directa la interacción entre factores humanos y ambientales, a pesar de la creciente preocupación global, la información sobre la abundancia, morfología y dinámica de los MPs en esta zona sigue siendo limitada, lo que justifica la necesidad de generar datos actualizados que sirvan de base para estrategias de manejo costero sostenible.

La investigación tiene como propósito evaluar cómo las actividades humanas influyen en la presencia de microplásticos en la costa de San Francisco de Campeche durante Semana Santa 2025, para lograrlo, se contará y clasificará la cantidad de microplásticos, se medirán factores ambientales como pH, temperatura y oleaje, y se analizará cómo estos factores y la insolación afectan su distribución y acumulación.

Por tanto, el presente estudio proporciona una base científica para la formulación de políticas ambientales y programas de educación orientados a la reducción del uso de plásticos desechables, la gestión integral de residuos y la conservación de los ecosistemas marino-costeros.

2. ANTECEDENTES

Los microplásticos (MPs), son definidos como partículas plásticas con un tamaño inferior a 5 milímetros y pueden tener un origen primario, como en el caso de las microesferas añadidas a productos cosméticos y de cuidado personal, o secundario, derivado de la fragmentación progresiva de plásticos de mayor tamaño por efecto de la intemperie y la acción mecánica. De igual manera la inadecuada gestión de los residuos plásticos constituye un factor determinante en la contaminación marina y costera, ya que estos materiales, al fragmentarse en partículas microscópicas, son ingeridos inadvertidamente por diversos organismos marinos, esta dinámica no solo altera la integridad de los ecosistemas acuáticos, sino que también configura una problemática ambiental de alcance global (Uddin et al., 2021).

Diversas investigaciones han documentado la presencia y los efectos de los MPs en ecosistemas marinos tanto a escala nacional como internacional; por ejemplo, el estudio realizado en la Playa de San Mateo, en la provincia de Manabí, Ecuador, tuvo como objetivo evaluar la abundancia de MPs en arena de playa; donde aplicaron un diseño no experimental de tipo mixto y exploratorio, mediante el cual se recolectaron 100 muestras de arena en cinco puntos representativos, utilizando un muestreo sistemático. Sus muestras fueron procesadas en laboratorio mediante técnicas de separación por densidad y clasificación visual con estereomicroscopio; los resultados evidenciaron una abundancia promedio de 12.5 ± 10.3 ítems/kg de arena, con predominio de fibras (63 %), seguidas de fragmentos (25 %) y películas plásticas (12 %), los autores concluyeron que la principal fuente de contaminación corresponde a actividades antropogénicas, destacando la alta afluencia turística de la zona como factor relevante (Zambrano-Tigua, 2024).

De manera complementaria, otro estudio desarrollado en la Playa de San Vicente, también en Manabí, analizó la presencia de MPs a partir de la recolección de muestras de arena en distintos sectores; las cuales pasaron por un procesamiento en laboratorio mediante separación por densidad y observación microscópica, se registró una concentración de 16.5 partículas/kg de arena. Identificaron partículas de 1 mm, 2 mm, 2.36 mm y 4 mm, entre las cuales predominaban las de color blanco y azul, en relación con la colonización biológica, se reportó la presencia de biopelículas, siendo la muestra número 3 la de mayor densidad con 737 unidades formadoras de colonias por mililitro (Zambrano Witong, Medina Cedeño, Pincay Cantos y Calderón Pincay, 2024).

En México, Torrez-Pérez, Cervantes, Reyes-Gómez y Olivos-Ortiz (2020) llevaron a cabo un estudio en 12 playas de Colima y Jalisco, clasificadas en urbanas, suburbanas, rurales y naturales, con el propósito de cuantificar y caracterizar MPs en sedimentos costeros, recolectando 94 muestras en la línea de pleamar e identificando un total de 12,001 partículas plásticas. Su abundancia promedio fue de $2,553.4 \pm 1,895.8$ MPs/kg de sedimento seco, con máximos en playas urbanas y suburbanas; no obstante, también se detectaron concentraciones significativas en playas rurales y naturales, lo cual demuestra la amplia dispersión de estos

contaminantes. En este estudio, predominaron las fibras (88 %) y los fragmentos (9 %), con colores azul, gris y negro como los más frecuentes; en el análisis estadístico se evidenció diferencias significativas en la abundancia de MPs según el tipo de playa, confirmando la relación entre actividad humana e incremento de la contaminación plástica, por lo que, mencionan los autores, es urgente implementar estrategias de manejo costero y de reducir el consumo de plásticos de un solo uso como medidas de mitigación.

Por su parte, Santoyo-Chapa et al. (2023) centraron su investigación en organismos destinados al consumo humano, analizando la presencia de MPs en colas de camarones (*Litopenaeus vannamei*) congelados, importados de Honduras y China, así como cultivados en México; en total, se examinaron 233 tractos digestivos, encontrándose que los camarones hondureños presentaron la mayor abundancia (444 MPs), mientras que los mexicanos y chinos mostraron cantidades inferiores. Mencionan que la morfología predominante correspondió a filamentos (89.6–94.4 %), seguidos de fragmentos y films, con colores azul y negro como los más frecuentes, también se detectaron diferencias significativas en el tamaño de los MPs según el origen: en Honduras se registraron partículas de mayor tamaño (1.17 mm en promedio), mientras que en China se observaron las de menor dimensión (0.46 mm).

Pérez Gómez et al. (2024), identificaron la presencia de microplásticos en heces de lobos marinos (*Otaria flavescens*) en el puerto La Poza, Región del Biobío, Chile, con el propósito de evaluar su papel como bioindicadores de contaminación marina, mediante la recolección y análisis de muestras fecales; en sus resultados detectaron microfibras de diversos colores, siendo el negro el más predominante, los autores destacan que esta evidencia sugiere una alta exposición de los mamíferos marinos a los microplásticos presentes en su entorno y en su dieta, reflejando la circulación de estas partículas en la cadena trófica.

Mendoza-Olea et al. (2022) analizaron la presencia de microplásticos en el acuífero kárstico de la península de Yucatán (AKPY), principal fuente de agua dulce de la región, recolectaron 19 muestras de agua de pozos y cenotes en Yucatán y Quintana Roo, las cuales fueron filtradas y analizadas mediante microscopía estereoscópica; como resultado revelaron la presencia de microplásticos en todas las muestras, con concentraciones entre 10 y 936 partículas L^{-1} , predominando las fibras (94 %) y el color blanco (51 %); se observó una correlación positiva entre la abundancia de microplásticos y la densidad poblacional, lo que sugiere un origen asociado a actividades antropogénicas y a la vulnerabilidad del sistema kárstico.

Por último, en un estudio realizado por García-Jaramillo et al. (2023), se analizó la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de 126 ejemplares de *Anchoa hepsetus* capturados mediante pesca ribereña en marzo de 2020 en el municipio de Alvarado, Veracruz; las muestras fueron examinadas en laboratorio para determinar peso, talla y contenido estomacal, encontrándose microplásticos en el 18 % de los organismos. Todas las partículas identificadas correspondieron a fibras con una

longitud promedio de 1.17 ± 1.06 mm, predominando el color azul en el 47 % de los casos, los resultados evidencian la vulnerabilidad de las especies costeras a la ingestión de microplásticos derivados de actividades humanas y subrayan la necesidad de implementar estrategias de monitoreo y mitigación en los ecosistemas marinos de la región.

Estos hallazgos ponen de manifiesto que la contaminación por MPs no solo afecta a los ecosistemas naturales, sino que también alcanza a productos de consumo masivo, lo que plantea un riesgo potencial para la salud humana y refuerza la necesidad de políticas orientadas a la reducción de plásticos y a una gestión adecuada de residuos.

3. OBJETIVOS

3.1. General

- Evaluar el impacto antropogénico en la contaminación por MPs presentes en la zona costera/marina de la ciudad de San Francisco de Campeche (SFC) por efecto de las vacaciones de semana santa 2025

3.2. Específicos

- 1) Clasificar y cuantificar la abundancia de los MPs presentes en la zona costera/marina, antes y después de la Semana Santa de 2025, de la ciudad de San Francisco de Campeche, Campeche.
- 2) Medir los diferentes factores ambientales (pH, temperatura, oleaje) con equipo especializado.
- 3) Analizar la distribución de los MPs en relación con factores ambientales como el oleaje y el grado de insolación, para comprender su influencia en su dinámica de acumulación.

4. JUSTIFICACION

Los MPs representan una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y el ser humano, siendo registrada su fabricación desde hace más de 100 años y con el tiempo ha aumentado su producción, lo que ha provocado un gran impacto ambiental al ser terminados desechados en el medio ambiente (Segarra, 2023).

Con el tiempo, los plásticos se degradan en partículas pequeñas que son llamadas microplásticos, las cuales pueden ingresar a los ecosistemas acuáticos donde se acumulan y son ingeridas por peces, moluscos y aves, lo que puede llevar a problemas de salud en estas especies; por exposición a químicos tóxicos, causando alteraciones en su crecimiento y reproducción (Cuadra, 2023).

Por lo anterior, la realización de este estudio es de gran relevancia, debido al incremento significativo de las actividades turísticas y recreativas durante las vacaciones de Semana Santa, periodo en el cual miles de visitantes acuden a las playas o sitios cerca de la zona costera, generando un aumento en la cantidad de residuos plásticos, si estos desechos no son gestionados de manera adecuada, pueden terminar en el entorno marino, donde, al estar expuestos a factores ambientales como alta irradiación solar y oleaje intenso, sufrirán procesos de fragmentación, dando lugar a la formación de MPs, contaminando los ecosistemas marinos y afectando a los organismos marinos.

Estudiar la contaminación por microplásticos en el mar de San Francisco de Campeche es importante porque permite conocer cuánto plástico microscópico está entrando al ecosistema y cómo se distribuye en esta zona costera afectada por actividades humanas, estos pueden transportar sustancias tóxicas y ser ingeridos por peces, moluscos y otros organismos, alterando su salud y aumentando el riesgo de que estas partículas entren a la cadena alimentaria.

Obtener estos datos ayuda a evaluar los posibles impactos ecológicos y a generar información científica que sirva para proteger el ecosistema y mejorar su manejo así como generar información que sirva como base para el diseño e implementación de políticas públicas orientadas a la reducción de la contaminación por plásticos o un mejor manejo de estos; contribuyendo a la promoción de prácticas de turismo sostenible y a la protección de la biodiversidad marina en la costa de San Francisco de Campeche.

5. MARCO TEORICO

Para comprender de manera integral el impacto de los microplásticos (MPs) en la zona costera, resulta fundamental establecer primero una definición precisa tanto de este entorno como de las características propias de los MPs, así como la relación que existe entre ambos.

La zona costera se concibe como un sistema dinámico donde interactúan procesos físicos, químicos y biológicos influenciados por variables ambientales como el pH, la temperatura del agua y de la atmósfera, así como la intensidad del oleaje, factores que determinan en gran medida el comportamiento, transporte y degradación de los MPs, por su parte, estos corresponden a partículas sólidas de material polimérico menores a 5 mm, cuya persistencia y elevada estabilidad química facilitan su dispersión y acumulación en estos ambientes; la interacción entre los MPs y las condiciones ambientales costeras no solo modula su distribución espacial y temporal, sino que también influye en sus efectos potenciales sobre los ecosistemas marinos, lo cual justifica la necesidad de definir estos conceptos para el adecuado análisis de su impacto.

5.1. Zona costera

De acuerdo a Yañez-Arancibia (1986), para definir la zona costera se deben considerar cinco aspectos clave que aseguren que los programas de gestión y ordenamiento respondan adecuadamente a la prevención de impactos negativos sobre sus características particulares; incluir las aguas costeras directamente influenciadas por las mareas, como sondas, bahías, lagunas, pantanos, marismas salobres y estuarios; incorporar las tierras adyacentes a la costa, las zonas transicionales e intermareales, así como marismas salobres, pantanos y playas; contemplar la extensión de la zona hacia el océano dentro de los límites de jurisdicción nacional establecidos según la plataforma continental de cada estado costero; delimitar adecuadamente la zona marina sujeta a regulación y manejo conforme al alcance legal correspondiente; y considerar los límites de las tierras continentales cuyo uso del suelo y procesos naturales ejercen una influencia directa sobre la calidad y dinámica de las aguas costeras.

5.2. Factores ambientales

5.2.1. pH

Se define como el logaritmo de la concentración de iones de hidrógeno. La escala de pH va de 0, que indica una acidez elevada, hasta 14, que representa una alta alcalinidad, considerando el valor 7 como neutro a una temperatura de 25 °C (Rodríguez Zamora, 2009).

El agua oceánica no es completamente pura; aproximadamente el 96.5% corresponde a agua en sí, mientras que el 3.5% restante está compuesto por diversas sustancias incorporadas a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Una solución de agua de mar contiene tanto iones de hidrógeno (H^+) como iones de hidróxido (OH^-). La predominancia de uno sobre el otro determina si la solución es ácida o alcalina. Cuando hay más iones de hidrógeno que de hidroxilo, la solución es ácida y su pH es menor a 7, el agua pura posee un pH

exacto de 7, lo que la hace neutra, mientras que el agua de mar presenta un pH que oscila entre 7.5 y 8.4, lo que la clasifica como ligeramente alcalina (Weihaupt, 1984).

Los océanos pasan por un proceso llamado acidificación, en el cual el pH desciende como consecuencia de la absorción de dióxido de carbono desde la atmósfera, esto provoca una disminución en la concentración de iones carbonato en el agua, los cuales son esenciales para numerosos organismos marinos al ser usados para formar carbonato cálcico, un componente fundamental en la construcción de sus conchas y esqueletos; la falta de carbonato puede afectar su crecimiento y capacidad reproductiva, poniendo en riesgo la estabilidad de sus poblaciones, entre las especies más vulnerables a este fenómeno se encuentran: los corales, cangrejos, langostas, almejas y ostras (Sauza, Tocamo, González & Gómez; 2021).

5.2.2. Temperatura del mar

Las temperaturas del agua pueden variar dependiendo de la estación del año y la ubicación geográfica; el Golfo de México es conocido por sus aguas cálidas, que en verano pueden llegar a los 30 °C. Estas condiciones favorecen el desarrollo de corales y una amplia diversidad de especies marinas (Hernández; Reyes-Bonilla & Balart, 2010).

5.2.3. Temperatura de la atmósfera

La época de calor se extiende durante aproximadamente 4.3 meses, desde el 10 de abril hasta el 20 de agosto, periodo en el que la temperatura máxima diaria supera los 33 °C, mayo es el mes más caluroso en Campeche, con temperaturas máximas promedio de 34 °C y mínimas de 24 °C. Por otro lado, la temporada fresca tiene una duración de 2.6 meses, entre el 23 de noviembre y el 11 de febrero, cuando las temperaturas máximas diarias se mantienen por debajo de los 29 °C, enero es el mes más frío del año en Campeche, con temperaturas mínimas promedio de 18 °C y máximas de 28 °C (Weather Spark, 2025).

5.3. Dinámica costera (olas)

Las olas oceánicas generadas por el viento suelen comenzar como pequeñas ondulaciones capilares provocadas por suaves brisas marinas que soplan sobre la superficie del agua, estos primeros rizos se forman debido a la fricción entre el viento y la superficie tranquila del mar; si el viento se intensifica y se mantiene constante, se produce una vibración forzada, similar a las oleadas que, aunque ya han dejado su zona de origen, siguen oscilando hasta disiparse por fricción interna o al impactar contra costas lejanas. Una vez que estas ondas capilares se forman por el arrastre del viento, la propagación de las olas se intensifica por la acción directa del viento sobre las pendientes de las mismas (Weihaupt, 1984).

Cuando las olas se acercan a una línea de costa recta, las partes de la ola que entran primero en aguas menos profundas comienzan a reducir su velocidad; a medida que esto ocurre, la línea de crestas de la ola se ajusta gradualmente hasta alinearse de forma casi paralela a la costa. Este proceso, conocido como refracción de las olas, se debe a la disminución progresiva de la profundidad del agua al acercarse a la orilla, aunque la dinámica de las olas al romper en la playa es compleja, se comprende mejor en comparación con muchas de las olas que se presentan mar adentro; para poder medir la condición o estado del mar se basa en

observar y describir las olas en el mar, así como de los efectos observados tanto en tierra como en el mar. En la siguiente tabla se muestra las descripciones y datos basados principalmente en el sistema de Bowditch (1958) (Weihaupt, 1984).

Tabla 1. Escala del estado del viento y del mar (Weihaupt, 1984)

Mar Descripción	Viento				
	Fuerza	Descripción	Velocidad (m/seg)	Número de Beaufort	Estado de la superficie para un mar completamente desarrollado
Liso	0	Tranquilo	0- 0.2	0	Como un espejo
Rizado	1	Céfiro	0.3- 1.5	1	Rizos pequeños sin crestas espumosas
Suave	2	Brisa leve	1.6- 3.3	2	Ondas pequeñas, cortas y más pronunciadas; crestas con apariencia vítrea y que no se rompen
Suave	2	Brisa suave	3.4- 5.4	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con apariencia vítrea; crestas ocasionales de espuma blanca
Leve	3	Brisa moderada	5.5- 7.9	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Moderado	4	Brisa fresca	8.0- 10.7	5	Olas moderadas que toman formas más pronunciadamente largas; muchas crestas de espuma blanca; algo de roció
Fuerte	5	Brisa fuerte	10.8- 13.8	6	Olas grandes empiezan a formarse; las crestas rompen formando grandes áreas de espuma blanca; algo de roció
Muy fuerte	6	Casi ventarrón	13.9- 17.1	7	El mar se amontona, la espuma blanca de las olas rompientes empieza a soplar en ráfagas en la dirección del viento
-----	---	Ventarrón	17.2- 20.7	8	Olas moderadamente altas con crestas de considerable longitud; los extremos de las crestas rompen en remolinos; la espuma es arrojada en

					ráfagas bien marcadas en la dirección del viento
Borrascoso	7	Ventarrón fuerte	20.8-24.4	9	Olas altas; ráfagas densas de espuma en la dirección del viento; las crestas de las olas empiezan a voltearse; el rocío puede reducir la visibilidad
Muy borrasco	8	Tormenta	24.5-28.4	10	Olas muy altas con grandes crestas colgantes; la espuma hace que la superficie del mar parezca blanca; el desorden del mar se vuelve violento y golpeante; la visibilidad se reduce
Mar excepcionalmente borrasco	9	Tormenta violenta	28.5-32.6	11	Olas excepcionalmente altas; los extremos de las crestas son arrojados como espuma; el rocío reduce la visibilidad
Mar excepcionalmente borrasco	9	Huracán	32.7-36.9	12	El aire se llena con espuma y rocío; mar completamente blanco; visibilidad muy reducida

5.4. Plásticos

5.4.1. Macroplásticos

Los plásticos están compuestos por polímeros, que son largas cadenas de moléculas hechas a base de carbono e hidrógeno, que pueden provenir de derivados del petróleo.

El término "plástico" proviene del griego "plastikos", que significa algo que puede ser moldeado, el concepto hace referencia a la plasticidad o maleabilidad del material durante su fabricación, lo que permite transformarlo mediante procesos como fundición, prensado o extrusión en diversas formas, como láminas, fibras, placas, tubos, botellas y cajas (Plastics Europe, 2018). Además, el plástico es un material altamente versátil, adecuado para numerosas aplicaciones industriales y de consumo, destacándose por su baja densidad, lo que lo hace ligero y facilita la reducción de su peso (Sánchez, 2020).

El tiempo que tarda en degradarse y las propiedades físicas del plástico varían principalmente según el tipo de material utilizado y los aditivos incorporados durante su fabricación (tabla 2). Existen diferentes tipos de plásticos y el tiempo que tardan en fragmentarse depende al tamaño y tipo de plástico, así como los factores ambientales a los que se expone (Ocampo, 2019).

Tabla 2. Clasificación de plásticos (Ocampo, 2019)

Clasificación de plásticos				
Tipo de Plástico		Símbolo	Producto	Tiempo de degradación (años)
Polietileno Tereftalato (PET)		1	Botellas de agua y refresco	500+
Polietileno de alta densidad (HDPE)		2	Botellas de champú, botellas de leche y contenedores de helado	300+
Cloruro de polivinilo (PVC)		3	Tuberías y aislante en cables	300+
Polietileno de baja densidad (LDPE)		4	Bolsas de supermercado y película para empacar alimentos	55+
Polipropileno (PP)		5	Bolsas de frituras y tapas de botellas	200+
Poliestireno (PS)		6	Cubiertos, tazas, empaque de comida para llevar	400+
Otros (Acrílico, Policarbonatos, etc.)		7	Envases alimentarios, DVD's, gafas de sol	100+

El resultado de más de siete décadas de vertidos en los océanos, provenientes principalmente de actividades terrestres y del tráfico marítimo, son las llamadas "islas de plástico" o *garbage patches*, estas son grandes acumulaciones de desechos no biodegradables que, impulsadas por las corrientes oceánicas, se agrupan formando enormes concentraciones de basura, reportándose cinco islas: en el Pacífico Norte, el Pacífico Sur, el Atlántico Norte, el Atlántico Sur y el Océano Índico (Pachés-Giner, 2022).

Se calcula que el polipropileno, un plástico comúnmente utilizado en productos como tapas de botellas y envases de yogur, puede tardar entre 100 y 300 años en descomponerse de forma natural; otros tipos de plásticos, como el PET (tereftalato de polietileno), presente en botellas, y el PVC (policloruro de vinilo), empleado en tubos y cañerías, pueden requerir hasta 1.000 años para degradarse, por su parte, las bolsas de plástico que usamos a diario necesitan alrededor de 150 años para descomponerse, mientras que las botellas de plástico tardan al menos 450 años (Sánchez-Ramírez, 2018).

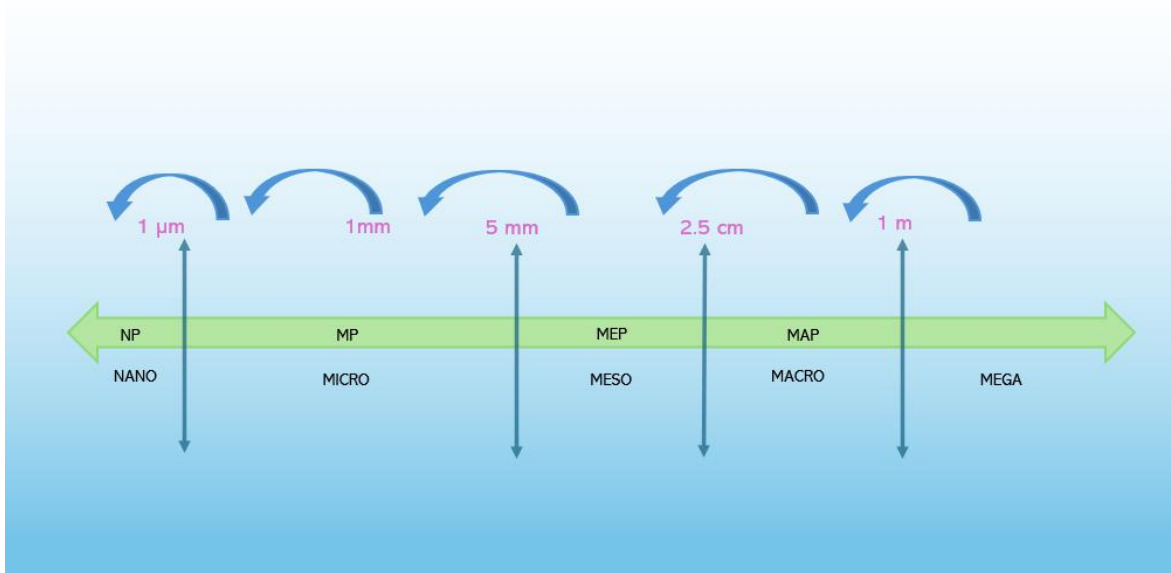


Figura 1.- Escala de tamaños aceptada en la degradación de los plásticos (Castañeda, 2020)

5.4.2. Microplásticos

Los MPs son pequeñas partículas de 5 a 10 μm , provienen de la degradación de los plásticos que terminan desechados en los ríos, mares o cualquier cuerpo de agua; estas partículas son invisibles para el ojo humano y al ser ingeridos por organismos marinos, como aves, peces, estos generan efectos tanto tóxicos como físicos, causando problemas como la disminución de la ingesta de alimentos, asfixia, cambios en el comportamiento y alteraciones genéticas, y eventualmente llegando a los seres humanos a través de la cadena alimenticia (Bollaín-Pastor, 2020; Sánchez-Ramírez, 2018).

En 2017, la ONU estimó que los océanos contienen hasta 51.000 millones de partículas de MPs, una cantidad 500 veces superior al número de estrellas en nuestra galaxia (UNEP, 2024).

Estas micropartículas plásticas están presentes en el medio ambiente en diversas formas, como esferas, cuentas, pellets, espuma, fibras, fragmentos y escamas, dependiendo de la forma original de los plásticos primarios, su proceso de degradación y las condiciones de erosión a las que estuvieron expuestos; la mayoría de los estudios reportan MPs con tamaños o diámetros inferiores a 5 mm, un rango comparable al de las microperlas utilizadas en productos domésticos, sin embargo, algunos trabajos han analizado partículas más pequeñas, con tamaños inferiores a 1 mm (Castañeda, 2020).

Se acepta que el rango de tamaño de los MPs oscila entre 5 mm y 1 μm , y las partículas menores a 1 μm se clasifican como nanoplásticos (NPs):

1. Microplásticos primarios son los que se producen con un tamaño microscópico como las microesferas ($<500 \mu\text{m}$) las cuales se presentan en ciertos productos cosméticos, materiales utilizados para arenado o

granallado, y también están los MPs los que son empleados como vectores en tratamientos médicos y más recientemente, aquellos utilizados en la impresión 3D (Rojo-Nieto, 2017).

2. Microplásticos secundarios provienen de la fragmentación de productos plásticos más grandes que tras su fabricación quedan expuestos a condiciones externas como la radiación ultravioleta (UV), entre otros factores, ya sea en la superficie del mar, en playas o en otros entornos; estas condiciones provocan su degradación que puede variar según la causa que la origine, su proceso suele ir acompañado de decoloración, formación de erosiones en la superficie del plástico y un incremento en su fragilidad (Ríos-Márquez, 2020) (Mazariegos-Ortiz, 2021).

Estos generan un grave impacto ambiental, ya que tras su uso suelen incorporarse a las redes de alcantarillado, logrando evadir los sistemas de tratamiento de aguas, terminando en mares y océanos; por otra parte, los pellets, partículas plásticas de entre 2 y 5 mm que se utilizan como materia prima para fabricar plásticos de mayor tamaño, también representan una fuente significativa de contaminación marina debido a derrames accidentales durante su transporte o manipulación. Generalmente están compuestos por polímeros como el polietileno y el polipropileno, y aunque su concentración es más alta en áreas urbanas e industriales, también se han encontrado acumulaciones considerables en playas del Pacífico o las costas de Nueva Zelanda (Rojo-Nieto, 2017).

5.5. Efecto de los microplásticos en las zonas costeras, océanos, organismos y en la salud humana

En la actualidad, una de las principales inquietudes es el excesivo aumento en la producción de residuos sólidos, especialmente de plásticos, debido a su persistencia en el medio ambiente, como son los contenedores y empaques de alimentos duraderos y no duraderos, como platos y vasos desechables, así como también bolsas y botellas de plástico (Cedeño et al., 2022).

Los residuos plásticos ingresan al océano a través de vertederos mal gestionados o por la disposición irresponsable de productos plásticos, en donde la fauna marina ingiere estos residuos y se acumulan en su tracto digestivo, generando pérdida de apetito o alteraciones en sus funciones digestivas, lo que eventualmente conduce a la muerte, además, los animales pueden quedar atrapados en plásticos, lo que les provoca deformidades, asfixia o inmovilización (GESAMP, 2015; Rojo-Nieto, 2017; Ocampo, 2019).

De igual forma, la presencia de MPs en los sedimentos marinos podría tener efectos significativos sobre los ecosistemas debido a que incrementan la permeabilidad del sustrato y reducen su capacidad para conducir el calor; modificando los flujos de agua y la distribución de nutrientes, alterando de forma negativa las características biológicas, físicas y químicas tanto de las zonas costeras como del fondo marino, estos cambios pueden impactar procesos que dependen de la temperatura (Rojo-Nieto y Montoto-Martínez, 2017; Carson, 2011).

Según Lusher (2015), incluso bajas concentraciones de MPs (alrededor del 1.5%) pueden reducir la temperatura máxima del sedimento en hasta 0.75 °C, con

consecuencias en la incubación de huevos, como en el caso de las tortugas marinas, donde la temperatura determina el sexo de las crías: a 30 °C se desarrollan tanto machos como hembras por igual, pero a temperaturas por debajo de 28 °C predominan los machos. También señala que, con MPs presentes, los sedimentos tardan más en calentarse debido a su mayor permeabilidad, lo que prolonga el tiempo de incubación y puede provocar un sesgo hacia el nacimiento de más crías macho, por el efecto aislante.

Diversos estudios coinciden en que los MPs representan una amenaza significativa para los corales, aunque sus efectos varían según la especie. Por un lado, Reichert (2019) demuestra que los impactos sobre el crecimiento y la salud de corales hermatípicos son específicos de cada especie, afectando especialmente a géneros como *Acropora* y *Pocillopora*, estas especies mostraron disminución en el crecimiento, necrosis y mayor demanda energética al interactuar con partículas plásticas.

Por otro lado, García Galindo (2024) evidencia que los MPs secundarios, en especial los fragmentos, afectan etapas críticas del desarrollo temprano en corales como *Orbicella faveolata*, *Acropora palmata* y *Favia fragum*, comprometiendo desde la fertilización hasta la supervivencia temprana, según el tipo de partícula, su tamaño y la presencia de biopelículas.

Los MPs representan una creciente preocupación debido a su amplia dispersión en diversas matrices ambientales, como aguas superficiales, océanos, sedimentos y en diversos organismos (Sarria- Villa, 2016).

Debido a la propagación de los MPs se discuten los posibles impactos en la salud humana, sus procesos de degradación liberan metabolitos que podrían alterar procesos metabólicos en diferentes organismos; se ha detectado la presencia de MPs en heces humanas, líquido amniótico y el torrente sanguíneo siendo los polímeros más comunes el tereftalato de polietileno (PET), el polietileno (PE) y los polímeros de estireno y polipropileno (PP) (Leslie et al., 2022; Ivleva, 2021).

6. HIPOTESIS

El incremento de las actividades turísticas durante el periodo vacacional de semana santa en la ciudad de Campeche provoca un aumento significativo en la generación de residuos plásticos de un solo uso que no son gestionados de manera adecuada, provocando su ingreso al entorno marino que, al ser expuestos a distintos factores ambientales, se fragmentan y contribuyen a la presencia de MPs en los ecosistemas costeros.

7. METODOLOGÍA Y ÁREA DE ESTUDIO

7.1. Etapa 1: Preparación y planificación

Se realizó una revisión de literatura sobre estudios previos de MPs en ecosistemas acuáticos, en artículos científicos, revistas científicas, informes oficiales, etc. De igual forma, se hizo un diseño detallado del método de muestreo y análisis, para lo cual se seleccionaron cinco puntos en toda la zona costera de la ciudad de San Francisco de Campeche con una extensión lineal de 14.36 kilómetros aproximados, empezando por la zona de restaurantes (cocteleros) y finalizando en la zona de playa bonita (figura 2 y tabla 3).

El área cuenta con varios elementos de infraestructura turística complementaria tales como paradores gastronómicos, miradores costeros, clubes deportivos náuticos, además de pequeños accesos al mar o escolleras utilizadas por pescadores. A nivel ambiental, este tramo presenta una interacción crítica entre infraestructura urbana y ecosistemas costeros vulnerables, incluidos tramos con erosión marina y pérdida de vegetación de litoral.



Figura 2. Zona Costera dentro de la ciudad de San Francisco de Campeche (Tomada de Google Earth)

Tabla 3. Sitios de muestreo y sus características principales

Sitio	Nombre	Características	Imagen
1	Cockteleros y muelle de 7 de agosto	Es una zona que se caracteriza por ser el límite con el sistema de manglar de Los Petenes, se presentan actividades de comercio gastronómico y su uso por parte de los pescadores.	
2	Administración Portuaria Integral de Campeche Galerías	El muelle se encuentra en un tramo urbano – litoral frente a la plaza Galerías formando parte de la infraestructura portuaria dentro del área de influencia del Malecón de la ciudad. Este puerto está ubicado en una plataforma kárstica, típica de la península de Yucatán, es una empresa estatal que opera bajo concesión federal para administrar puertos, zonas portuarias y refugios pesqueros en Campeche.	
3	Muelle del parque acuático	El muelle ubicado en el nuevo Parque Acuático del Malecón de San Francisco de Campeche forma parte de una ampliación reciente de la infraestructura costera de la ciudad. Esta estructura cuenta con dos terrazas-mirador que permiten apreciar vistas panorámicas. El espacio cumple funciones recreativas y turísticas sirviendo como punto de embarque, observación y convivencia en un entorno urbano integrado al paisaje marítimo del litoral campechano.	

4	Muelle Capitán Calypso	El muelle se ubica en avenida resurgimiento, es un muelle de conservación, utilizado tanto para actividades de observación como apoyo a programas ambientales. El sitio se caracteriza por su infraestructura de bajo impacto, diseñada para favorecer la interacción entre visitantes y naturaleza de forma controlada.	
5	Playa Bonita	Esta playa está ubicada en la comunidad de Lerma, a unos 15 kilómetros al suroeste del centro histórico de Campeche. Se distingue por ser un balneario accesible e incluyente, ideal para que los visitantes disfruten de diversas actividades recreativas.	

7.1.1. Diseño de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y transversal, con el objetivo de caracterizar parámetros físico-químicos del agua en cinco sitios costeros representativos del litoral turístico. La investigación contempló dos momentos de muestreo: el primero se realizó previo al periodo vacacional de Semana Santa 2025 (marzo), y el segundo posterior a dicho periodo (abril), con el fin de identificar posibles variaciones asociadas al incremento de actividades humanas.

7.1.2. Sitios de muestreo

Los sitios seleccionados fueron: Cocteleros, API Galerías, Parque Acuático, Muelle Capitán Calypso y Playa Bonita. La elección respondió a criterios de accesibilidad, intensidad de uso recreativo y relevancia ecológica. Cada sitio fue georreferenciado y visitado en ambas campañas bajo condiciones climáticas similares para asegurar la comparabilidad de los datos.

7.2. Etapa 2: Trabajo de campo y recolección de muestras

En la primera etapa del proyecto, realizada antes del periodo vacacional de Semana Santa, se llevaron a cabo las visitas iniciales a las cinco zonas previamente seleccionadas. El muestreo se organizó en función del tiempo disponible, abarcando dos zonas por día en las primeras jornadas y una zona por día posteriormente, hasta cubrir la totalidad de las áreas planificadas.

En cada zona se identificaron tres puntos de muestreo seleccionados aleatoriamente, en los cuales se recolectaron muestras de agua superficial. Para ello, se utilizaron bidones de polietileno de 10 litros, previamente esterilizados, asignando un bidón por cada punto (figura A). De esta manera, se obtuvo un total de 30 litros de agua por zona muestreada. En cada sitio y momento de muestreo se registraron los siguientes parámetros: pH del agua superficial, temperatura del agua superficial ($T^{\circ}\text{C}$), temperatura ambiental ($T^{\circ}\text{C}$), y velocidad del viento como se muestra en las figuras B y C

Las mediciones se realizaron in situ utilizando un medidor multiparámetro portátil previamente calibrado para pH y temperatura, y un anemómetro digital para la velocidad del viento, posteriormente, se registraron los datos en una libreta de campo (figura D):



Figura 3. A) Recolección de agua superficial en un bidón de 10L. B) Medición del pH y temperatura del agua con un medidor multiparamétrico. C) Medición de la velocidad del viento y temperatura atmosférica con un anemómetro digital. D) Registro de parámetros ambientales durante el muestreo en playa bonita. Se observa la toma de datos en campo correspondientes a variables físico-químicas y condiciones meteorológicas, realizadas como parte del monitoreo costero para la recolección de muestras destinadas al análisis de microplásticos

Posteriormente se etiquetó y registró cada muestra tomada y se transportaron inmediatamente al Laboratorio de Biotecnología Vegetal del Instituto Tecnológico de Chiná (ITChiná), bajo la supervisión de la Dra. Norma Laura Rodríguez Ávila. Una vez en el laboratorio, se almacenaron en refrigeración a 4°C hasta su procesamiento.

La segunda etapa se llevó a cabo después del periodo vacacional de Semana Santa, replicando el mismo procedimiento de muestreo descrito en la primera etapa.

7.3. Etapa 3: Análisis de laboratorio e Interpretación

Cada muestra de agua superficial fue sometida a un proceso de filtrado mediante papel filtro circular de 6 cm de diámetro y porosidad de 25 micras, utilizando una bomba de vacío modelo (D GP- 144) conectada a un matraz Kitasato, con el objetivo de agilizar el proceso y asegurar una separación eficiente de las partículas sólidas presentes en el agua (figura 4):



Figura 4. Sistema de filtración por vacío empleado en el laboratorio para la separación de microplásticos presentes en muestras de agua. El equipo consta de una bomba de vacío conectada a un matraz Kitasato con embudo de filtración y mangueras de conexión, permitiendo el paso del líquido a través de un filtro para la retención de partículas sólidas.

Una vez completado el filtrado, los papeles filtro fueron colocados cuidadosamente en bandejas y se dejaron secar a temperatura ambiente durante un periodo de 24 horas. Posteriormente, cada pieza de papel fue envuelta, etiquetada adecuadamente y almacenada en refrigeración, con el fin de evitar cualquier posible contaminación antes de su análisis bajo el estereoscopio electrónico (figura 5):



Figura 5. Muestras etiquetadas y listas para ser analizadas bajo el estereoscopio electrónico

Para la observación y el análisis de las muestras, se utilizó un estereoscopio electrónico de alta resolución, el cual fue conectado a una computadora portátil para la visualización de las imágenes. Mediante este equipo, se identificaron y caracterizaron los MPs presentes en cada muestra, considerando variables como la forma, el color y el tamaño (figura 6):

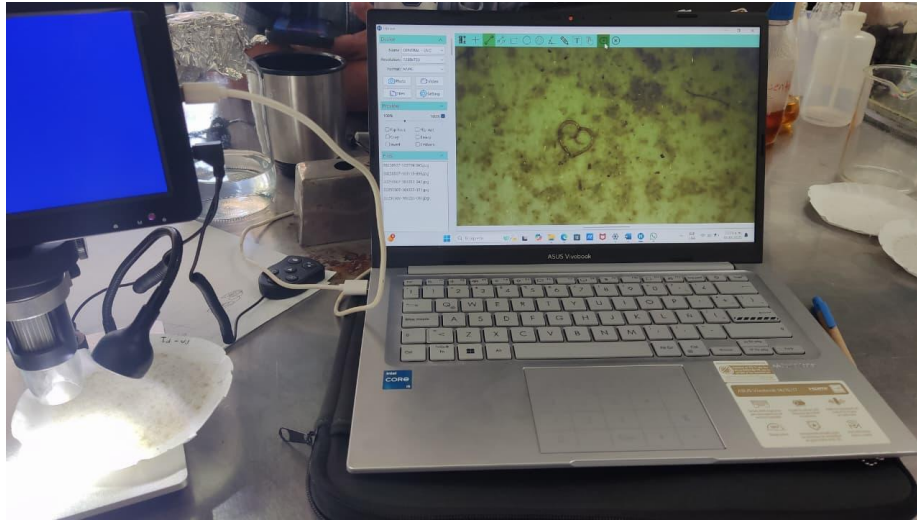


Figura 6. Observación e identificación de microplásticos mediante microscopía digital

7.4. Etapa 4 Gabinete

El conteo individual de los MPs fue registrado en bases de datos en Excel por zona y por puntos de muestreo; considerando su abundancia, densidad, forma y color.

Los datos de los parámetros ambientales registrados por cada zona de muestreo se integraron en una base de datos en Excel, y la velocidad del viento fue comparada con la escala de Beaufort, para determinar el tipo de oleaje y obtener la relación entre las condiciones del viento y el estado del mar, de acuerdo con los criterios establecidos en el sistema de Bowditch (1958).

Para observar la existencia de diferencias significativas entre los datos colectados (abundancia y parámetros ambientales) antes y después de las vacaciones de Semana Santa, se realizó un análisis de varianza mediante el programa estadístico MiniTab 18.

8. RESULTADOS

En total, se filtraron 150 litros de agua durante la primera etapa de muestreo y otros 150 litros durante la segunda etapa, correspondientes a las cinco zonas evaluadas en cada periodo, sumando un total de 300 litros procesados en todo el estudio.

Tras el análisis de las muestras recolectadas antes del período vacacional, se obtuvieron los siguientes resultados:

Se observó la presencia de MPs con una variedad de formas, tamaños y colores. Las fibras de color azul fueron los tipos más abundantes encontrados. A continuación, en la tabla 4 se presenta la distribución de los diferentes colores y formas identificados en las muestras:

Tabla 4. Clasificación de MPs por forma y color de las primeras muestras entre los 5 sitios seleccionados

Clasificación de MPs por forma y color				
Forma/Color	Azul	Rojo	Verde	Otros
Fibras	78	27	5	30
Pellets	1	0	0	0
Fragmento	0	1	0	0

En la tabla 5 se muestra que después del periodo vacacional, las fibras azules presentan un valor más alto en comparación con otras combinaciones de forma y color.

Tabla 5. Clasificación de las segundas muestras entre los 5 sitios seleccionados

Clasificación de MPs por forma y color				
Forma/Color	Azul	Rojo	Verde	Otros
Fibras	110	17	31	11
Pellets	0	0	0	0
Fragmento	0	0	0	0

Zona A (Restaurantes Cocteleros)

En la zona 1 (cocteleros), los resultados obtenidos antes del periodo vacacional de Semana Santa registraron un total de 25 unidades de MPs por 30 litros de agua entre los tres puntos muestreados. Todas las partículas correspondieron a la morfología de fibras, con un rango de tamaño entre 2.5 y 10 μm , y colores predominantes azul y rojo. Posterior al periodo vacacional, el número de MPs aumentó a 39 partículas en total (figura 7).

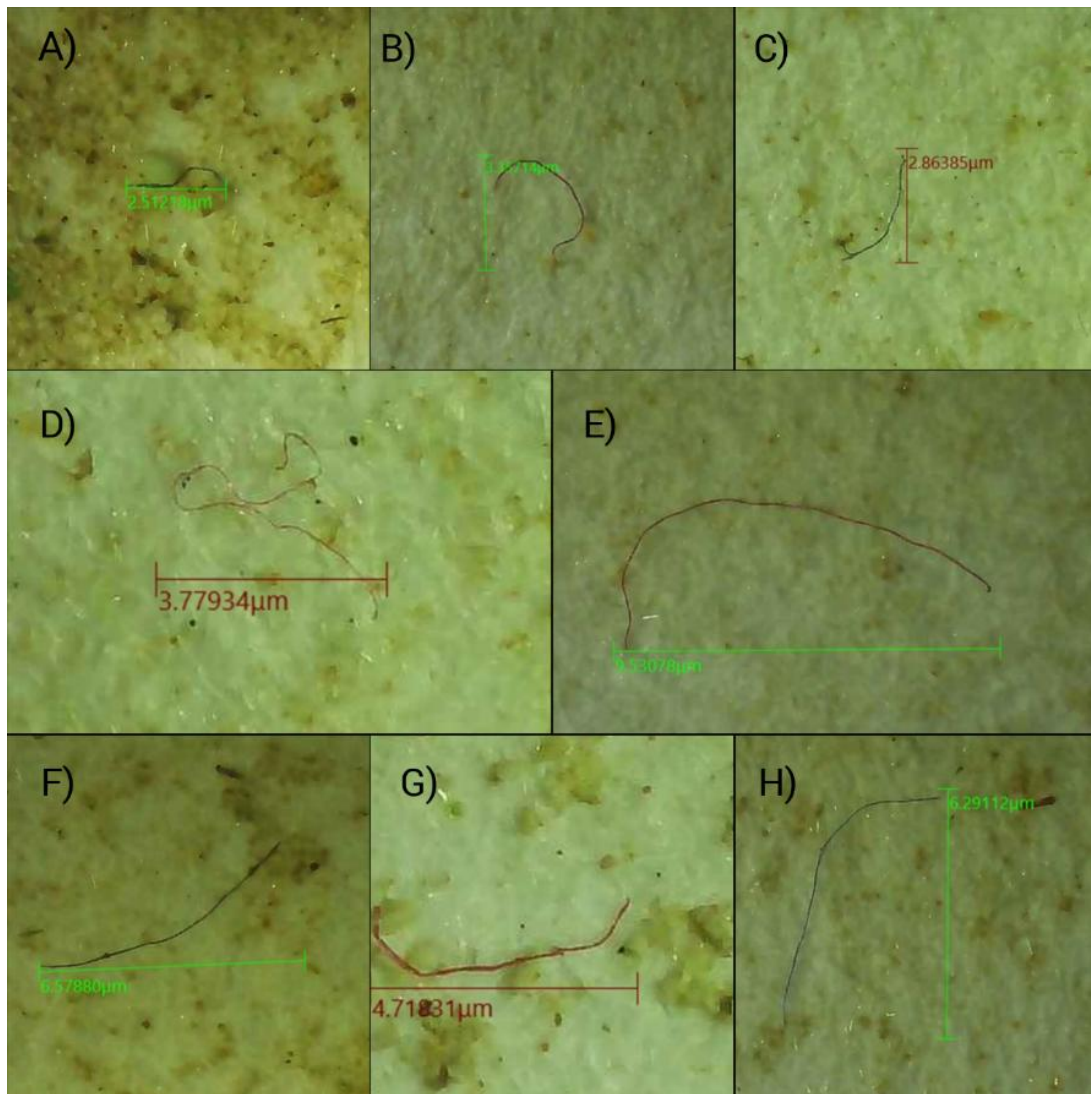


Figura 7. Fibras plásticas identificadas como MPs en agua costera, con longitudes de 2.35 μm a 10.5 μm . Se evidencian fibras rectas y curvadas, en colores rojo y azul, características de la fragmentación de plásticos mayores.

Zona B (Administración Portuaria Integral de Campeche)

En la zona 2 (Api), se pudo observar que antes del periodo vacacional de Semana Santa hubo un total de 34 MPs en los tres puntos muestreados. De igual manera, las partículas correspondieron a la morfología de fibras, con un rango de tamaño entre 2 y 14 μm , con colores predominantes como el azul y el rojo. Posterior al periodo vacacional, el número de MPs aumentó a 41 partículas en total (figura 8).

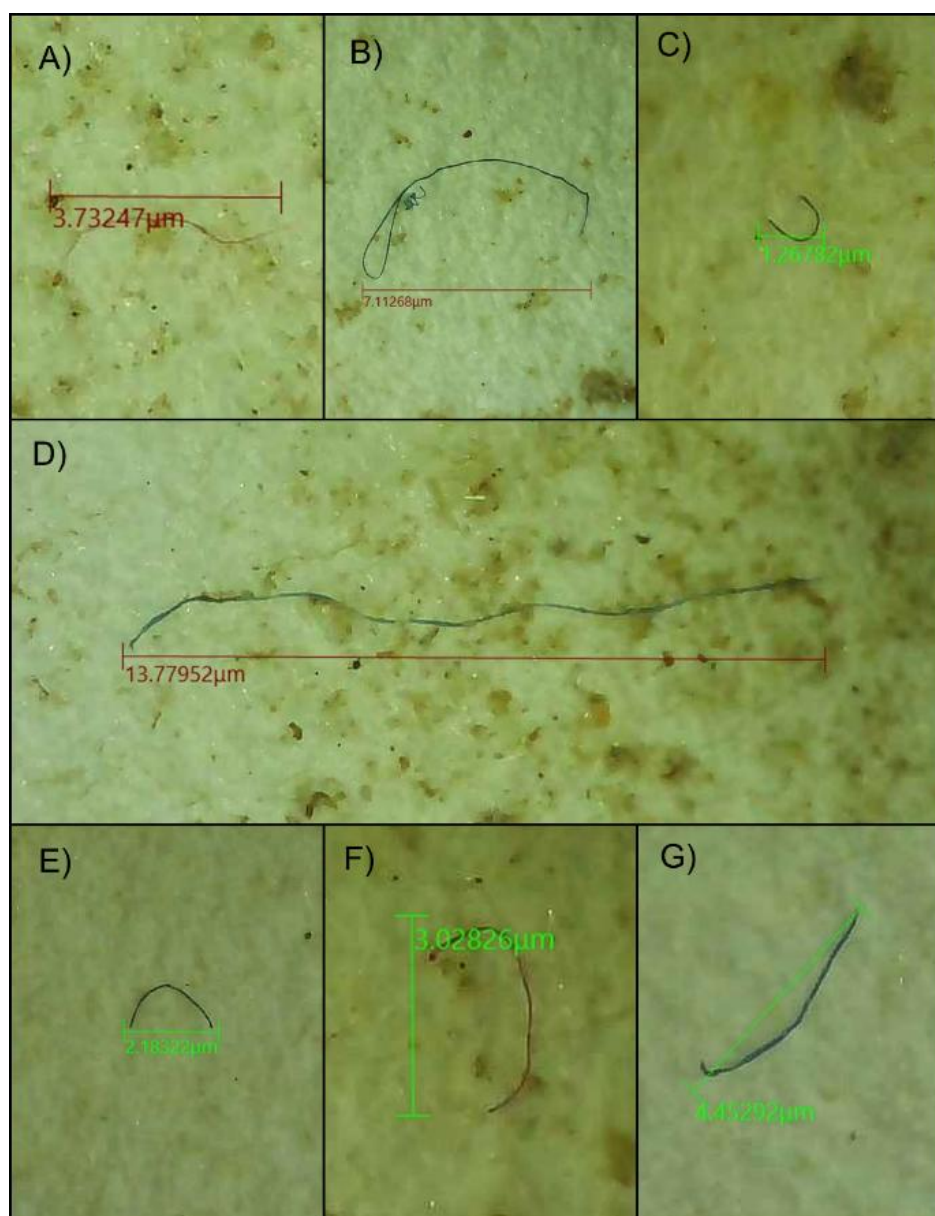


Figura 8. MPs tipo fibra observados mediante microscopía estereoscópica en muestras de agua costera. Las partículas presentan tamaños entre 1.26 μm y 13.77 μm , en colores rojo y azul, con morfología predominantemente filamentosa y curvada.

Zona C (Parque Acuático)

En la zona 3, las muestras recolectadas antes del periodo vacacional registraron un total de 29 MPs, todos con morfología de fibras y en colores azul y rojo. En contraste, las muestras obtenidas después del periodo vacacional mostraron 30 MPs, lo que representa únicamente un incremento de una partícula respecto al muestreo inicial (figura 9).

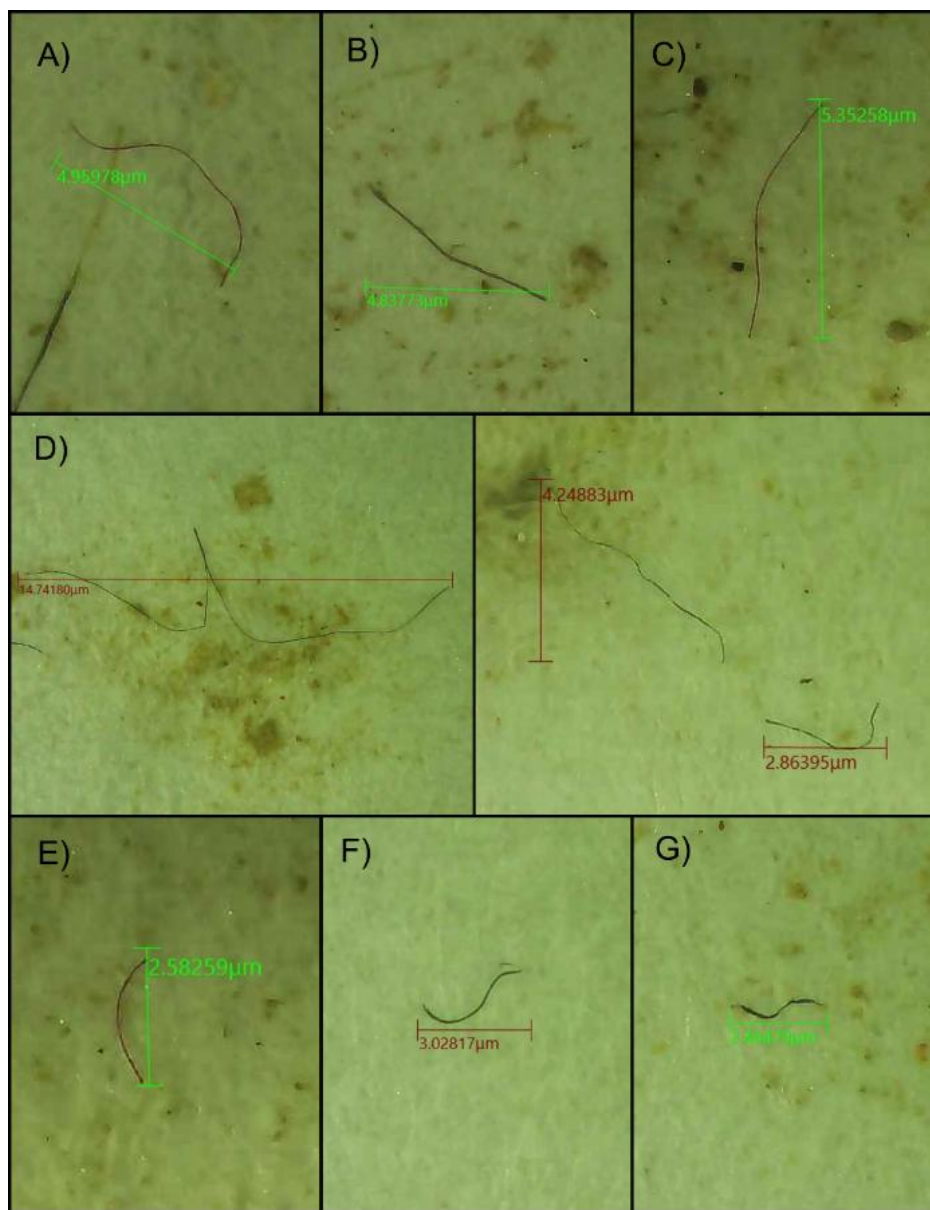


Figura 9. Fibras sintéticas clasificadas como MPs, con longitudes de 2.58 µm a 14.74 µm. Se observan variaciones en grosor, color y disposición (filamentos aislados y agrupados), lo que refleja su origen múltiple y procesos de degradación ambiental.

Zona D (Muelle Capitán Calypso)

En la zona 4, las muestras iniciales registraron un total de 30 MPs, todos con morfología de fibras y en colores azul y rojo. En el segundo muestreo, realizado después del periodo vacacional, se contabilizaron 31 MPs, lo que representa un aumento mínimo de una partícula respecto al registro previo (figura 10).

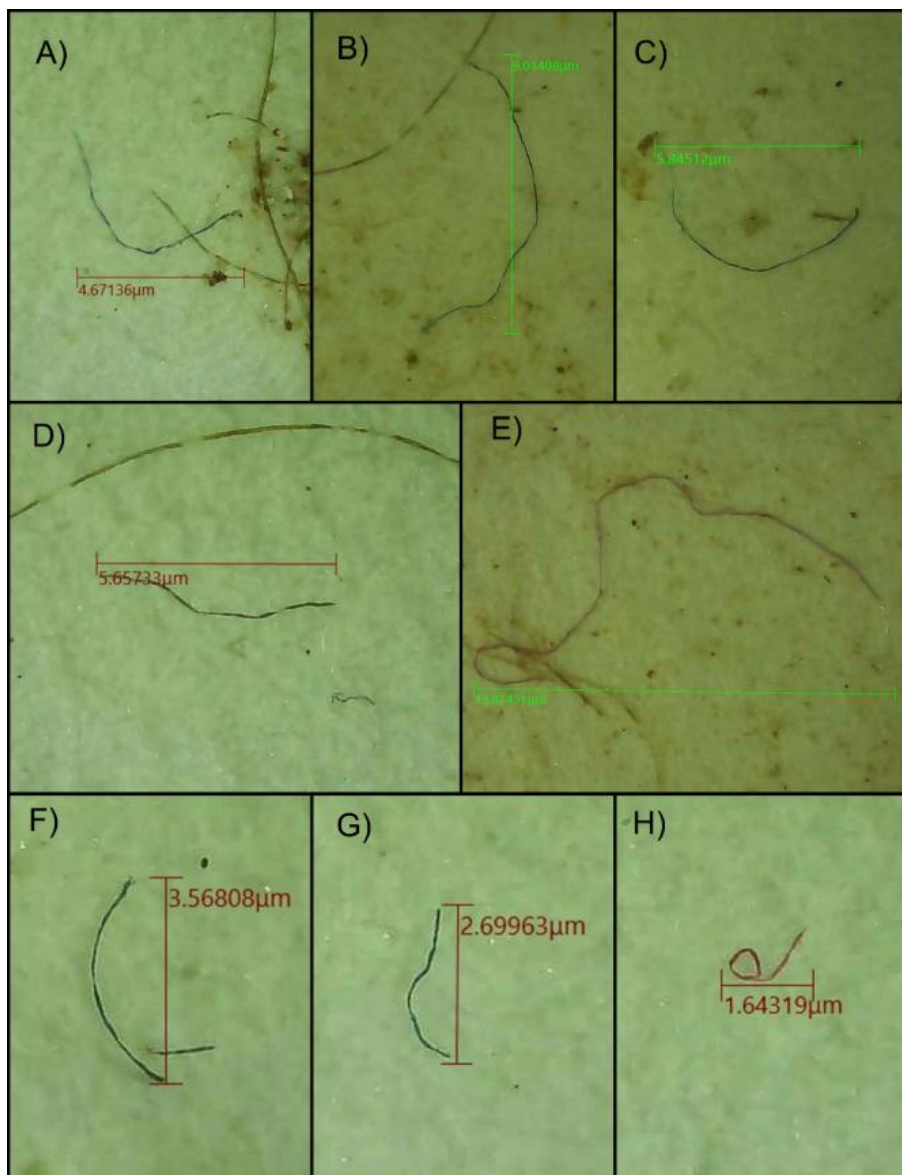


Figura 10. MPs tipo fibra visualizados mediante microscopía estereoscópica. Las partículas presentan un rango de 1.64 μm a 13.44 μm , con predominio de fibras delgadas en colores azul y rojo, en formas rectas, curvadas y enrolladas, evidenciando heterogeneidad morfológica.

Zona E (Playa Bonita)

En la zona 5, se identificaron 16 MPs en las muestras previas al periodo vacacional, mientras que en las muestras posteriores el total se elevó a 27 MPs, lo que representa un aumento más notorio (figura 11).

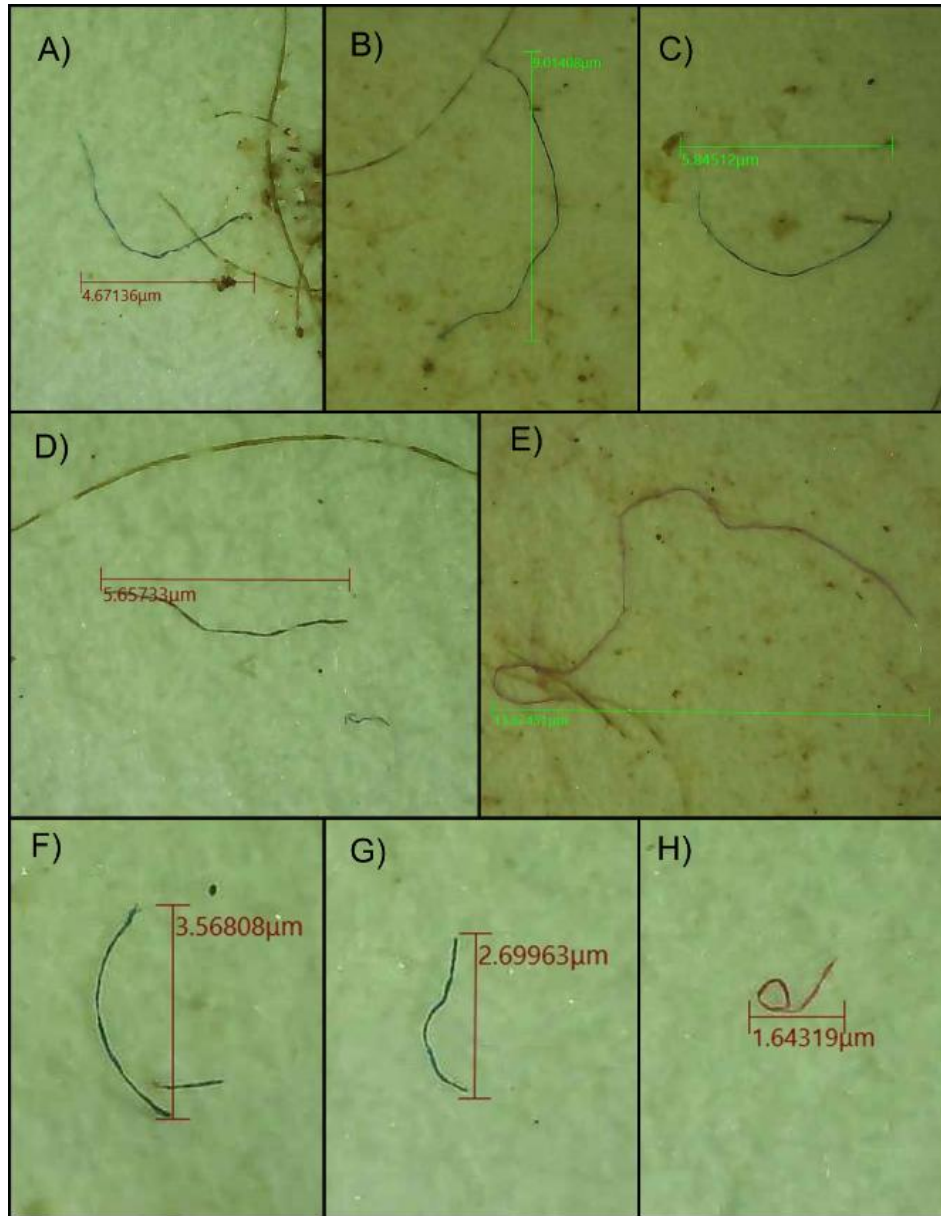


Figura 11. Fibras plásticas identificadas como MPs en muestras de agua costera, visualizadas con microscopía estereoscópica. Se observan partículas con longitudes comprendidas entre 1.64 µm y 13.44 µm, con predominio de estructuras filamentosas en tonos azul y rojo.

La tabla 6 muestra la distribución de MPs en cinco zonas de muestreo, cada una con tres puntos de recolección, durante dos periodos: antes y después del periodo vacacional de semana santa; en el primer muestreo, se identificaron 134 partículas, mientras que en el segundo muestreo se contabilizaron 168 partículas, en las primeras muestras; la zona de Api galerías presentó la mayor abundancia con 34 MPs, seguida por la zona del muelle capitán calypso con 30 MPs, y el parque acuático con 29 MPs, las zonas cocteleros y playa bonita mostraron las menores cantidades, con 25 y 16 MPs, respectivamente.

En el segundo muestreo, la mayor abundancia continuó registrándose en Api galerías (41 MPs), seguida de cocteleros (39 MPs), mientras que parque acuático (30 MPs) y el muelle capitán calypso (31 MPs) mantuvieron valores similares. Por su parte, playa Bonita (27 MPs) evidenció un incremento notable respecto al muestreo inicial.

Tabla 6.- Número de Mps por cada sitio muestreado

Cantidad de microplásticos por cada muestra				
Primeras Muestras				
Zona	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Total
A (Cocteleros)	11	7	7	25
B (Api)	9	12	13	34
C (P. Acuático)	7	15	7	29
D (C. Calypso)	9	9	12	30
E (P. Bonita)	5	6	5	16
Total				134
Segundas Muestras				
A (Cocteleros)	8	15	16	39
B (Api)	12	9	20	41
C (P. Acuático)	9	15	6	30
D (C. Calypso)	11	8	12	31
E (P. Bonita)	6	10	11	27
			Total	168

Se promediaron los valores de abundancia para calcular la densidad de partículas de MPs por litro. En la tabla 7 se presentan los valores de densidad correspondientes a cada sitio, tanto antes como después del periodo vacacional de Semana Santa (expresados en partículas/litro). Los resultados muestran un incremento generalizado en la densidad de partículas en todos los sitios tras las vacaciones, siendo *Cocteleros* y *Playa Bonita* los sitios que registraron los mayores aumentos.

Tabla 7. Promedio de valores de densidad de Mps

Sitio	Antes SS	Después SS	Incremento
A (Cocteleros)	8.333	13.000	4.667
B (Api)	11.333	13.667	2.333
C (P. Acuático)	9.667	10.000	0.333
D (C. Calypso)	10.000	10.333	0.333
E (P. Bonita)	5.333	9.000	3.667

Durante la primera fase de muestreo, se registraron cuatro variables ambientales clave en cada uno de los cinco sitios de estudio. En cada sitio se seleccionaron tres puntos de medición para evaluar las siguientes variables: pH, temperatura del agua, velocidad del viento y temperatura atmosférica.

A continuación, la tabla 8 presenta los valores obtenidos de estas mediciones en cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 8. Datos de variables ambientales de cada sitio seleccionado

Primera etapa			
26/Marzo/2025	Restaurantes “Cocteleros”		
Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	7.47	7.17	7.3
Temperatura Int	30.1 C°	30.2 C°	29.5 C°
Velocidad de Viento	2.2	2.7	3.9
Temperatura Ext	31.3 C°	32.6 C°	34.3C°
1/Abril/2025	Playa Bonita		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.92	7.34	7.17
Temperatura Int	29.6 C°	29.9 C°	29.3 C°
Velocidad de Viento	2.7	3.8	5.8
Temperatura Ext	36.6 C°	37.6 C°	37.4 C°
01/Abril/2025	Administración Portuaria Integral de Campeche		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	7.19	7.31	7.40
Temperatura Int	31 C°	32 C°	30.9 C°
Velocidad de Viento	4.2	8.6	6.3
Temperatura Ext	38.7 C°	38.8 C°	37.2 C°
07/Abril/2025	Muelle Capitán Calypso		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	7.10	7.8	7.24
Temperatura Int	27.8 C°	28.6 C°	29 C°
Velocidad de Viento	5.7	7.7	6.5
Temperatura Ext	37.4 C°	32.8 C°	32.3 C°

07/Abril/2025	Parque Acuático		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	7.14	7.17	7.17
Temperatura Int	30.2 C°	30.8 C°	30.7 C°
Velocidad de Viento	6.3	4.6	9.9
Temperatura Ext	33.8 C°	34.8 C°	34.6 C°

En la tabla 9, se presentan los valores obtenidos de las mediciones de las variables ambientales registradas durante la segunda fase de muestreo en cada uno de los puntos seleccionados.

Tabla 9. Datos de variables ambientales de cada sitio seleccionado

Segunda etapa			
14/Mayo/2025	Restaurantes “Cocteleros”		
Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.43	6.45	6.24
Temperatura Int	31.9 C°	31.6 C°	30.9 C°
Velocidad de Viento	5.3	3.4	3.1
Temperatura Ext	36 C°	38.2 C°	37.5 C°
20/Mayo/2025	Playa Bonita		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.39	6.43	6.57
Temperatura Int	33.9 C°	34.6 C°	35.9 C°
Velocidad de Viento	3.9	4.8	2.0
Temperatura Ext	40.2 C°	41 C°	41.2 C°
20/Mayo/2025	Administración Portuaria Integral de Campeche		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.60	6.63	6.58
Temperatura Int	29.4 C°	29.4 C°	29.2 C°
Velocidad de Viento	5.4	6.8	10.4
Temperatura Ext	35.8 C°	36.7 C°	37.1 C°
27/Mayo/2025	Muelle Capitán Calypso		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.54	6.28	6.39
Temperatura Int	34.2 C°	32.9 C°	32.8 C°
Velocidad de Viento	3.4	8.6	4.3
Temperatura Ext	39.1 C°	36.8 C°	38.9 C°
27/Mayo/2025	Parque Acuático		
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
Ph	6.48	6.62	6.54
Temperatura Int	31.9 C°	32 C°	31.9 C°
Velocidad de Viento	5.8	6.0	7.2
Temperatura Ext	35.9 C°	34.6 C°	35.5 C°

Se promediaron los valores de velocidad del viento obtenidos en los tres puntos de muestreo de cada zona seleccionada. Con base en estos promedios, se elaboró una tabla conforme a la escala de Beaufort, con el propósito de determinar el tipo de oleaje y establecer la relación entre las condiciones del viento y el estado del mar, según los criterios definidos en el sistema de Bowditch (1958) (tabla 9).

Tabla 9. Descripción del tipo de oleaje en la zona costera de San Francisco de Campeche

Primera etapa							
Mar			Viento				
Sitio	Descripción		Fuerza	Descripción	Velocidad (m/seg)	Numero de Beaufort	Estado de la superficie para un mar completamente desarrollado
Zona cocteleros	Suave		2	Brisa leve	2.9	2	Ondas pequeñas, cortas y más pronunciadas; crestas con apariencia vítrea y que no se rompen
Zona Api	Leve		3	Brisa moderada	6.3	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Zona Acuático	P.	Leve	3	Brisa moderada	6.3	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Zona Calypso	C.	Leve	3	Brisa moderada	6.6	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Zona Bonita	P.	Suave	2	Brisa suave	4.1	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con apariencia vítrea; crestas ocasionales de espuma blanca
Segunda etapa							
Mar			Viento				
Sitio	Descripción		Fuerza	Descripción	Velocidad (m/seg)	Numero de Beaufort	Estado de la superficie para un mar completamente desarrollado
Zona cocteleros	Suave		2	Brisa suave	3.9	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con

							apariencia vítrea; crestas ocasionales de espuma blanca
Zona Api		Leve	3	Brisa moderada	7.5	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Zona acuático	P.	Leve	3	Brisa moderada	6.3	4	Olas pequeñas, volviéndose más largas; frecuentemente crestas coronadas de espuma blanca
Zona Calypso	C.	Suave	2	Brisa suave	5.4	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con apariencia vítrea; crestas ocasionales de espuma blanca
Zona Bonita	P.	Suave	2	Brisa suave	3.5	3	Las crestas empiezan a romper; espuma con apariencia vítrea; crestas ocasionales de espuma blanca

El análisis de varianza generado determino que a nivel de abundancia, no se detectaron diferencias significativas entre los MPs entre los sitios y antes y después de Semana Santa (figura 8). El análisis estadístico mediante ANOVA de una vía ($p > 0.05$) indicó que no existen diferencias significativas entre los sitios, aunque las variaciones observadas sugieren influencia de factores locales, como la cercanía a zonas portuarias y la intensidad de actividades recreativas.

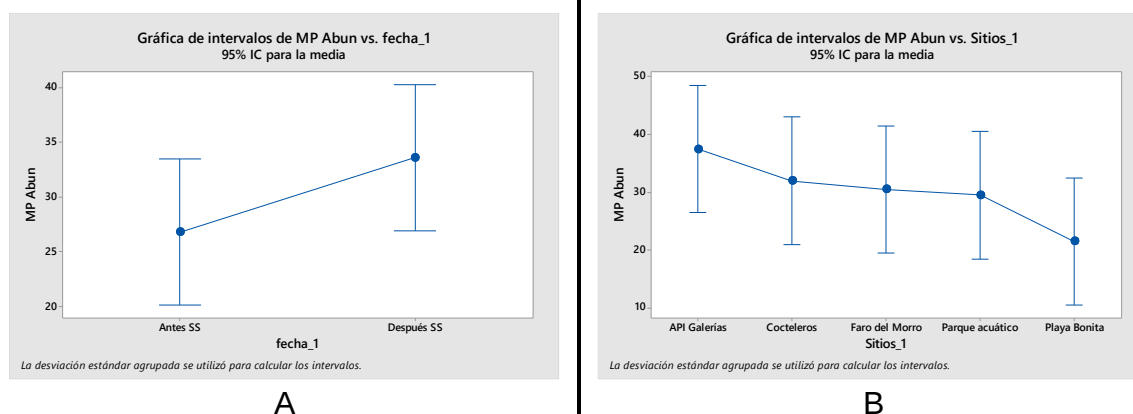


Figura 12. A) El análisis estadístico indicó que la diferencia no fue estadísticamente significativa, aunque se evidencia una tendencia al aumento posiblemente asociada a la intensificación de las actividades turísticas. B) Se observa una tendencia decreciente en la abundancia promedio de MPs desde el sitio API Galerías hacia Playa Bonita.

A nivel de parámetros ambientales, el análisis indica que se encontraron diferencias significativas entre los valores de la temperatura del agua de mar y del pH. Los valores de velocidad de viento y temperatura ambiental no presentaron diferencias significativas entre sí

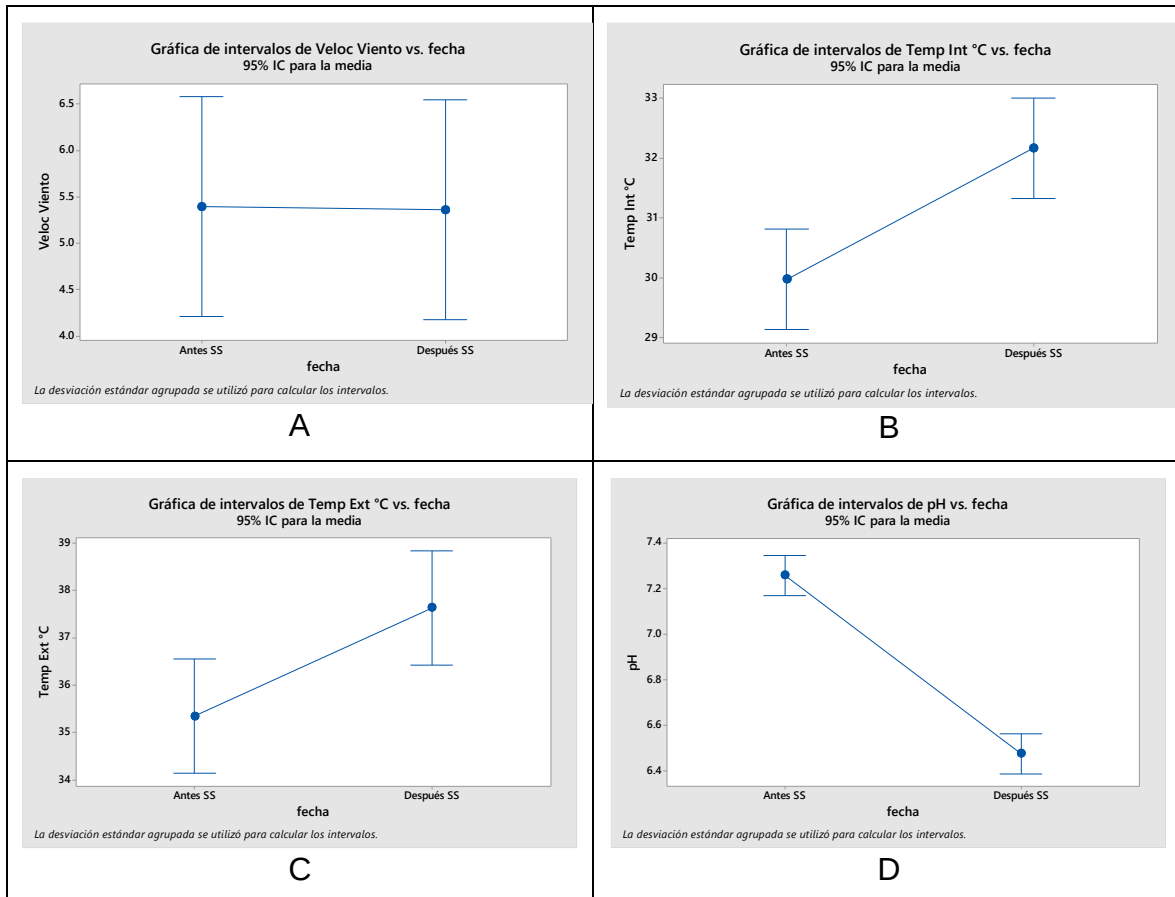


Figura 13. A) Intervalos de confianza al 95 % de la velocidad promedio del viento (m/s) antes y después del periodo vacacional de Semana Santa, no se observaron variaciones significativas entre ambos muestreos, manteniéndose valores similares en el promedio general. B) Se observa un aumento en la temperatura posterior al periodo vacacional, pasando de aproximadamente 30 °C a 32 °C, el análisis estadístico mediante prueba t para muestras relacionadas mostró una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos muestreos, lo que indica una variación térmica asociada tanto a factores estacionales como al incremento de la radiación solar y las condiciones climáticas propias del periodo. C) Hubo un incremento en la temperatura ambiental posterior al periodo vacacional, pasando de aproximadamente 35 °C a 38 °C, se evidenció una diferencia significativa entre ambos muestreos, indicando un cambio térmico estacional que podría influir en la dinámica superficial del agua y, por ende, en la distribución de MPs. D) Hubo una disminución significativa del pH posterior al periodo vacacional, pasando de valores cercanos a 7.3 a aproximadamente 6.4, lo que indica un aumento en la acidez del agua.

9. DISCUSION

Los hallazgos del estudio en la costa de San Francisco de Campeche confirman la presencia de MPs en el 100% de las muestras recolectadas, este resultado concuerda con la literatura global, la cual sostiene que los MPs son un contaminante ubicuo que se ha extendido por todo el planeta, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como terrestres (Delgado-Estrella, Martínez, & Gómez, 2025; Hernández-Crisostomo, Pérez, & López, 2022; Greenpeace México, 2019; Peralta-Peláez, Ramírez, & Torres, 2023).

La hipótesis planteada sugería que el incremento de las actividades turísticas y la gestión inadecuada de residuos plásticos contribuirían a un aumento de los MPs en los ecosistemas costeros, los resultados obtenidos antes y después del periodo vacacional confirman la persistente presencia de MPs en todos los sitios muestreados, y aunque se registró un incremento numérico en la abundancia total de MPs después de Semana Santa (de 134 a 168 partículas), el análisis estadístico de varianza (ANOVA) indicó que esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

La contaminación por MPs es un problema ambiental significativo en los ecosistemas acuáticos de México y a nivel global, nuestros hallazgos indican que la abundancia de MPs varió entre 5.333 y 11.333 partículas/litro antes de Semana Santa, incrementándose a valores de entre 9.000 y 13.667 partículas/litro después del periodo vacacional, por lo que los más notables en la densidad se observaron en Cocteleros (4.667 partículas/litro) y Playa Bonita (3.667 partículas/litro). Estos sitios, caracterizados por actividades gastronómicas, de pesca y uso recreativo, son áreas de alta afluencia durante el periodo de Semana Santa, lo cual se alinea con la justificación del estudio sobre el aumento de residuos plásticos generados por miles de visitantes.

En cuanto a la morfología, hubo una clara predominancia de fibras en ambas etapas de muestreo; las fibras de color azul fueron las más abundantes, seguidas por las rojas, esta predominancia de las fibras coincide con estudios previos realizados en la costa de Colima y Jalisco, México, donde las fibras constituyeron el 88% de los MPs encontrados (Torrez-Pérez et al., 2021), así como en el análisis de colas de camarones en México, donde los filamentos (fibras) fueron la morfología dominante (89.6–94.4 %) (Santoyo-Chapa et al., 2024). La presencia dominante de fibras y fragmentos se clasifica generalmente como MPs secundarios, que provienen de la fragmentación de plásticos más grandes expuestos a condiciones ambientales.

A diferencia de las fibras, los *pellets* y fragmentos fueron mínimamente detectados, con solo una partícula de *pellet* y un fragmento registrados antes de Semana Santa, y ninguno después; los Mps encontrados tenían tamaños de 2 a 14 μm , encontrándose dentro del rango generalmente aceptado de 5 mm a 1 μm para MPs. La fragmentación de los plásticos de mayor tamaño es promovida por factores ambientales como la radiación ultravioleta (UV), el oleaje y la exposición a condiciones externas (Castañeta et al., 2020).

En el análisis de las variables ambientales, se encontraron diferencias significativas en los valores de la temperatura del agua de mar y del pH entre los muestreos antes y después de Semana Santa, por otro lado, la velocidad del viento y la temperatura ambiental no mostraron diferencias significativas.

El pH del agua de mar en la primera etapa se mantuvo en un rango ligeramente inferior al alcalino típicamente observado en agua de mar (7.5 a 8.4), mientras que en la segunda etapa los valores de pH disminuyeron notablemente, llegando a rangos de 6.24 a 6.63, un descenso en el pH indica la acidificación del océano, un proceso que resulta de la absorción de dióxido de carbono desde la atmósfera. Esta disminución de pH es relevante ya que la acidificación afecta negativamente a organismos marinos, como corales y moluscos, al disminuir la concentración de iones carbonato necesarios para sus conchas y esqueletos, además, estudios recientes han evidenciado que la presencia de microplásticos puede intensificar los efectos de la acidificación oceánica en los corales, alterando su fisiología y su capacidad de crecimiento (Sugierski et al., 2025).

Modelos matemáticos también demuestran que la combinación de microplásticos y pH reducido puede generar efectos sinérgicos negativos sobre la salud de los arrecifes, afectando tanto el asentamiento de larvas como la estructura del ecosistema (Rahman & Mallick, 2025).

En cuanto a la dinámica costera, la velocidad promedio del viento se mantuvo mayormente en condiciones de Brisa leve a Brisa moderada (fuerza 2 o 3 en la escala de Beaufort), lo que corresponde a velocidades entre 2 y 5 m/s y genera un estado de mar entre Suave y Leve; este comportamiento atmosférico es consistente con las condiciones típicas registradas en la región costera de Campeche, donde los vientos presentan baja a moderada intensidad durante la mayor parte del año, con predominio de direcciones del noreste y este, asociadas a los patrones estacionales de la península (Windfinder, 2024).

Por otro lado, durante la temporada de lluvias (junio a octubre), la costa de Campeche experimenta un incremento en la precipitación y el escurrimiento superficial, lo que conlleva una mayor descarga de ríos, sedimentos y residuos plásticos hacia el ambiente marino (CONAGUA, 2023), favoreciendo el transporte y redistribución de MPs, ya que el aumento del flujo continental y las corrientes costeras inducidas por el viento facilitan su dispersión en la columna de agua y su acumulación en zonas de baja energía.

De acuerdo con estudios recientes sobre la circulación regional, la tensión del viento desempeña un papel determinante en la dinámica superficial y costera del sur del Golfo de México, modulando las corrientes y la dispersión de materiales suspendidos (González-Villalobos et al., 2023); estas condiciones de viento estable y moderado favorecen un ambiente de oleaje bajo a medio, lo cual coincide con la tranquilidad hidrodinámica observada durante las mediciones, característica típica de las zonas costeras someras y protegidas de Campeche.

La presencia constante de MPs en la costa de San Francisco de Campeche, junto con el aumento numérico de partículas observado tras periodos de mayor actividad humana, coincide con lo reportado en estudios regionales que atribuyen esta contaminación a fuentes antropogénicas directas; investigaciones realizadas en la Bahía de Campeche evidencian que los peces de consumo comercial presentan

altas concentraciones de MPs en su tracto gastrointestinal, con una mayor incidencia en zonas cercanas a centros urbanos y pesqueros, donde la actividad humana es más intensa (Martínez-Castañón et al., 2021).

De manera similar, estudios en la Laguna de Términos, al sur del Golfo de México, confirman que los aportes urbanos, descargas pluviales y prácticas pesqueras constituyen las principales fuentes de contaminación por microplásticos, los cuales representan un riesgo tanto para los ecosistemas costeros como para la salud humana (Castañeda-Chávez et al., 2023) respaldando que la intensificación de las actividades humanas costeras está directamente relacionada con el incremento de MPs en el ambiente marino, tal como se observa en el presente estudio.

Los MPs representan una amenaza significativa para la salud de los ecosistemas y la fauna acuática; la ingestión de estas partículas por organismos marinos puede llevar a la asfixia, disminución de la ingesta de alimentos, alteraciones en el crecimiento y la reproducción, además, la presencia de MPs en camarones de consumo común en México plantea un riesgo potencial para la salud humana (Santoyo-Chapa et al., 2024).

10. CONCLUSION

Se concluye que en cuanto a la clasificación y abundancia de MPs se confirmó su presencia en el 100 % de las muestras recolectadas en la zona costera de San Francisco de Campeche, tanto antes como después del periodo vacacional de Semana Santa de 2025, las partículas identificadas correspondieron principalmente a fibras de color azul y rojo, con tamaños entre 2 y 14 μm , clasificadas como MPs secundarios derivados de la fragmentación de plásticos mayores; la abundancia total aumentó de 134 a 168 partículas, lo que representa un incremento numérico, aunque no estadísticamente significativo ($p > 0.05$). *Cocteleros* y *Playa Bonita* mostraron los mayores aumentos en densidad de MPs, coincidiendo con las zonas de mayor actividad turística y recreativa, lo que evidencia la influencia antropogénica en la generación y acumulación de estos contaminantes.

Los parámetros ambientales registrados evidenciaron variaciones significativas entre ambos periodos, observándose un incremento en la temperatura del agua (de aproximadamente 30 °C a 32 °C) y en la temperatura ambiental (de 35 °C a 38 °C), así como una disminución del pH (de 7.3 a 6.4), indicando un aumento de la acidez del agua, posiblemente asociado a procesos naturales de acidificación y al incremento de la temperatura superficial, en cuanto a la velocidad del viento se mantuvo dentro de las categorías de “Brisa leve” a “Brisa moderada” (2–7 m/s), sin cambios significativos entre muestreos, lo que sugiere un estado de mar estable durante el estudio.

Aunque el análisis estadístico no mostró diferencias significativas en la abundancia de MPs entre los dos periodos, se identificó una tendencia al aumento en los sitios con mayor exposición a oleaje y radiación solar, lo que sugiere que las condiciones físicas y ambientales favorecen la fragmentación y dispersión de plásticos; la disminución del pH y el incremento térmico posterior al periodo vacacional podrían influir en la dinámica de acumulación y transporte de MPs, al modificar las condiciones físico-químicas del agua, estos resultados indican que la actividad humana, combinada con los factores ambientales locales, juega un papel determinante en la distribución espacial de los microplásticos en la costa campechana.

Los resultados de este estudio demuestran que la contaminación por microplásticos es persistente y ubicua en la zona costera de San Francisco de Campeche, si bien el aumento posterior a Semana Santa no fue estadísticamente significativo, la tendencia al incremento de MPs en zonas de alta afluencia turística confirma la necesidad de fortalecer las estrategias de gestión ambiental y manejo de residuos plásticos, así mismo, se evidencia la importancia de monitorear de forma continua la calidad ambiental costera, considerando los factores climáticos y oceanográficos que modulan la distribución de los microplásticos.

Este trabajo aporta información valiosa como línea base para futuras investigaciones sobre la interacción entre la actividad humana, las condiciones ambientales y la contaminación microplástica en ecosistemas marino-costeros del Golfo de México.

11. REFERENCIAS CITADAS

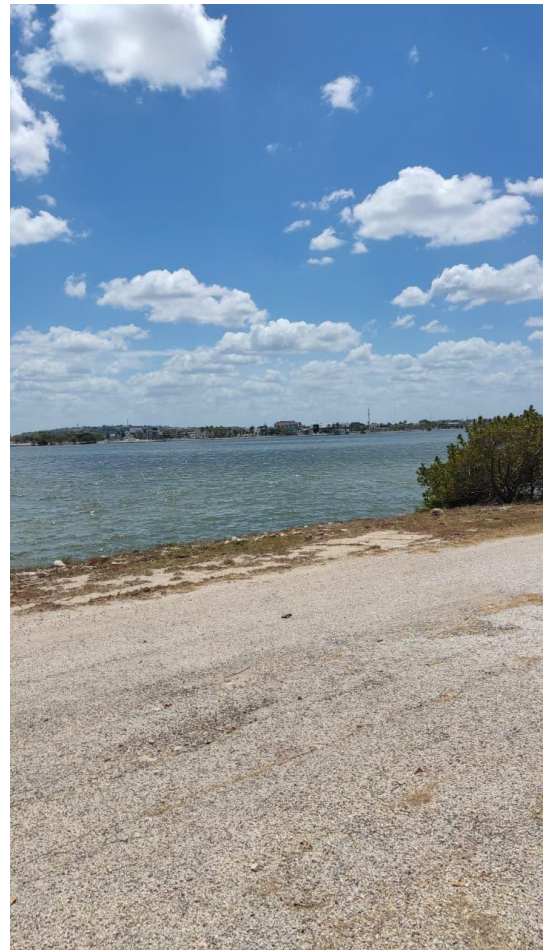
- «El clima en Campeche, el tiempo por mes, temperatura promedio (México) - Weather Spark». Accedido el 6 de agosto de 2025. <https://es.weatherspark.com/y/11740/Clima-promedio-en-Campeche-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- «MPs: consecuencias históricas de la contaminación por plásticos», 28 de abril de 2023. <https://www.unep.org/noticias-y-reportajes/reportajes/microplasticos-consecuencias-historicas-de-la-contaminacion-por>.
- Alcázar-Espinoza, J. A. (2024). Impacto de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos y su Panorama Actual. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(4), 16-28. <https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n4/2>
- Arancibia, A. Y. (2010). Impactos del cambio climático sobre la zona costera. Instituto Nacional de Ecología.
- Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2020). Presencia de Microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista española de salud pública*, 93, e201908064.
- Carson, H. S., Colbert, S. L., Kaylor, M. J. y McDermid, K. J. (2011). Los pequeños desechos plásticos cambian el movimiento del agua y la transferencia de calor a través de los sedimentos de la playa. *Boletín de contaminación marina*, 62(8), 1708-1713.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 142-157. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-54602020000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Cedeño, G., Crooks, K., Soto, M., Terán, N., & Walters, A. (2022). Conciencia ambiental frente al inadecuado manejo del plástico por el ser humano. *Las Enfermeras de hoy*, 1(2), 44-58. <https://revistas.anep.org.pa/index.php/edh/article/view/35>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2023). Reporte climático anual del estado de Campeche 2023. Servicio Meteorológico Nacional de México.
- Cuadra, V., Lezcano, R., Bayard, C., Villarreal, J., Robinson-Duggon, J., & Miranda-Montenegro, M. L. (2023). Los microplásticos en el entorno acuático: Un vistazo a la cinética, mecanismo de degradación, impacto ambiental y en la salud humana: Microplastics in the aquatic environment: An overview of kinetics, degradation mechanism, environmental and human health impact. *Revista Científica Vida Natural*, 1(1).
- Delgado-Estrella, A., Hernández-Crisóstomo, J., & Martínez-Mendoza, A. (2021). Presencia y caracterización de microplásticos en aguas costeras del Golfo de México: un enfoque regional en Campeche. *Revista de Ciencias del Mar y Costas*, 13(2), 45–59.
- Delgado-Estrella, R., Martínez, J., & Gómez, L. (2025). Presencia de microplásticos en el tracto digestivo de toninas (*Tursiops truncatus*) varadas en Isla del Carmen, Campeche, México. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/388580189_Presencia_de_micropla

- sticos_en_el_tracto_digestivo_de_toninas_Tursiops_truncatus_varadas_en_la_isla_del_Carmen_Campeche_Mexico
- García Galindo, C. E., Gómez Lemos, L. A., & Quiroga Cárdenas, S. (2024). Temprano de los corales *Orbicella faveolata*, *Acropora palmata* y *Favia fragum*.
- García-Jaramillo, L. S., Morán-Silva, Á., Chávez-López, R., & Cházaro-Olvera, S. (2023). Presencia de microplásticos en tracto digestivo de *Anchoa hepsetus* (Clupeiformes: Engraulidae) obtenidos de la pesca ribereña del municipio de Alvarado, Veracruz. *BIOCYT Biología Ciencia y Tecnología*, 16, 1155-1169.
- García-Regalado, E., Rodríguez, L., & Martínez, M. (2024). Global Plastic Production and Environmental Challenges in the Anthropocene. *Journal of Environmental Science and Sustainability*, 12(2), 45–57.
- GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: A global assessment (P. J. Kershaw, Ed.). IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP), Reports and Studies No. 90. International
- González-Villalobos, A., Ochoa, J., Zavala-Hidalgo, J., & Romero-Arredondo, A. (2023). Contribution of the wind, Loop Current eddies, and topography to the circulation in the southern Gulf of Mexico. *Ocean Dynamics*, 73(2), 241–259.
- Greenpeace México. (2019). Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México. Greenpeace. <https://www.greenpeace.org/mexico/investigacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science & Technology*, 53(3), 1039-1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Hernández, L., Reyes-Bonilla, H., & Balart, E. F. (2010). Efecto del blanqueamiento del coral por baja temperatura en los crustáceos decápodos asociados a arrecifes del suroeste del golfo de California. *Revista mexicana de biodiversidad*, 81, 113-119.
- Hernández-Crisostomo, R., Pérez, A., & López, M. (2022). Cuantificación de microplásticos en sedimentos en playas recreativas de Campeche, Golfo de México. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/378392699_CUANTIFICACION_DE_MICROPLASTICOS_EN_SEDIMENTOS_EN_PLAYAS_RECREATIVAS_DE_CAMPECHE_GOLFO_DE_MEXICO-Memorias_VII_Simposio_Recorecos
- Ivleva, N. P. (2021). Chemical analysis of microplastics and nanoplastics: challenges, advanced methods, and perspectives. *Chemical reviews*, 121(19), 11886-11936.
- Leslie, H. A., Van Velzen, M. J., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., García-Vallejo, J. J. y Lamoree, M. H. (2022). Descubrimiento y cuantificación de la

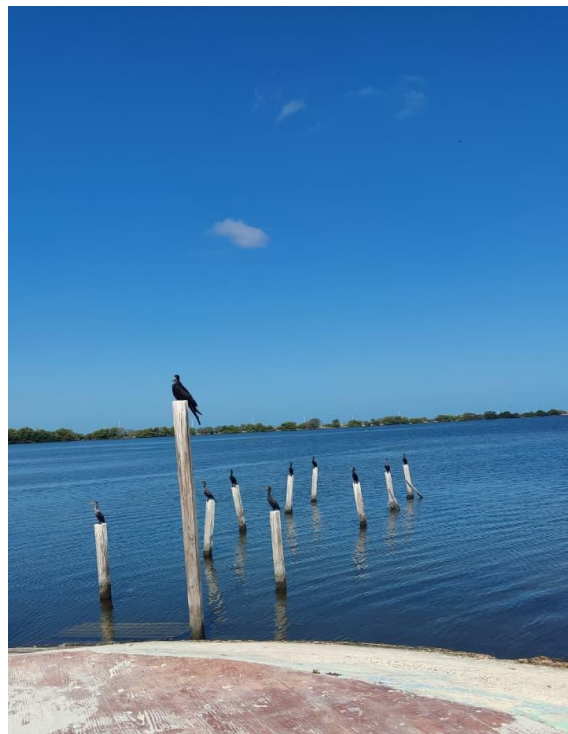
- contaminación por partículas de plástico en la sangre humana. Medio ambiente internacional, 163, 107199.
- Lusher, A. (2015). Microplásticos en el medio marino: distribución, interacciones y efectos. En Basura antropogénica marina (págs. 245-307). Cham: Springer International Publishing.
- Mazariegos-Ortíz, C., García-Arroyave, L., Marroquín-Mora, C., & Mendizábal, A. L. (2021). Contaminación por Microplásticos en playas del Pacífico de Guatemala: abundancia y características. Ciencia, Tecnología y Salud, 8(2), 260-268.
- Mejía-Estrella, L., Torres, F., & Pineda, J. (2023). Efectos tóxicos y liberación de aditivos por microplásticos en ecosistemas acuáticos. Revista Iberoamericana de Ciencias Ambientales, 14(3), 122–135.
- Mendoza-Olea, I. J., Leal-Bautista, R. M., Cejudo, E., Cervantes-Uc, J. M., Rodríguez-Fuentes, N., & Acosta-González, G. (2022). Contaminación por microplásticos en el acuífero kárstico de la península de Yucatán. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 9(3), e3360.
- Ocampo, M., & Santa Catarina, C. (2019). Plásticos en los océanos. INCyTU Of. Inf. Científica y Tecnológica para el Congr. la Unión, 34(6), 9-034.
- Pachés Giner, M. A. V. (2022). Plásticos y su problemática ambiental. Universidad Politécnica de Valencia.
- Peralta-Peláez, F., Ramírez, S., & Torres, P. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. SciELO México. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188->
- Pérez Gómez, C. A., Torres, M., Pozo, K., & Echeverry Berrío, D. (2024). Identificación de microplásticos en heces de lobos marinos (*Otaria flavescens*) en el puerto La Poza, Región del Biobío, Chile. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 35(1), e25593.
- Plastics Europe. (2019). Plásticos en situación en 2018. Análisis de los datos sobre la producción, la demanda y los residuos de plásticos en Europa. file:///C:/Users/Estudiante/Downloads/plastics_the_facts_2018
- Ramírez, J. E. S. (2018). Plásticos y microplásticos en agua, un problema mundial que afecta nuestros sistemas acuáticos. Ingeniería y Región, 19.
- Rahman, M. S., & Mallick, U. K. (2025). *Mathematical analysis on the effects of microplastic pollution and ocean acidification on coral reefs in aquatic ecosystem*. Jambura Journal of Biomathematics, 6(3), 188–199.
- Reichert, Jessica, Angelina L. Arnold, Mia O. Hoogenboom, Patrick Schubert, y Thomas Wilke. The impacts of microplastics on the growth and health of hermatypic corals are species-specific. Environmental Pollution 254 (2019): 113074. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113074>.
- Ríos, M. F., Márquez, F., Gatti, M., Galván, D. E., Bravo, G., Bigatti, G., & Brogger, M. I. (2020). Microplásticos: macroproblemas. En Residuos plásticos en Argentina: su impacto ambiental y el desafío de la economía circular (pp. 8-22). Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

- Rojó-Nieto, E., & Montoto Martínez, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en acción*.
- Sánchez Durán, J. (2020). Impacto del plástico de un solo uso y alternativas para su sustitución en el municipio de Urrao. Tecnológico de Antioquia, Institución Universitaria.
- Santoyo-Chapa, D. I., Rivera-González, K. L., Cuellar-Hidalgo, M. A., Dufaye, R., Martínez-Jiménez, D., Salinas-Urquiza, P., Pérez-Rubio, L. V., & Huchin-Mian, J. P. (2024). Contaminación por microplásticos en colas de camarones congelados importados a México. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 28. <https://doi.org/10.15174/jc.2024.4339>
- Sarria-Villa, R. A., & Gallo-Corredor, J. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 8(1).
- Sauza, B., Tocamo, Y., González, J. y Gómez, G. A. (2021). Acidificación de los océanos. *Revista Semilla Científica* (2), 167–176. Recuperado a partir de <https://revistas.umecit.edu.pa/index.php/sc/article/view/1040>
- Segarra Vera, D. I., & Palacios Moreno, M. (2023). Identificación y análisis de microplásticos en la zona costera de Playas (General Villamil), provincia del Guayas, Ecuador.
- Sugierski, S., Campbell, C., Hall, E. R., McLean, M., & Fogarty, N. D. (2025). *Microplastic exposure under future oceanic conditions further threatens an endangered coral, Acropora cervicornis*. *Frontiers in Marine Science*, 12, 1615308.
- Torrez-Pérez, K. A., Cervantes, O., Reyes-Gómez, J., & Olivos-Ortiz, A. (2021). Clasificación de Microplásticos en Playas Urbanas, Suburbanas, Rurales y Naturales de Colima y Jalisco, México. 3(207-230).
- Uddin, S., Fowler, S. W., Uddin, Mohd. F., Behbehani, M., & Naji, A. (2021). A review of microplastic distribution in sediment profiles. *Marine Pollution Bulletin*, 163(111973). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111973>
- Weihaupt, J. G. (1984). Exploración de los océanos: Introducción a la oceanografía (A. Acero Pizarro, Trad.). Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. (Obra original publicada en 1979).
- Windfinder. (2024). Estadísticas del viento y del tiempo en Campeche (Estado de Campeche, México). Windfinder.com. <https://es.windfinder.com/windstatistics/campeche>
- Yáñez-Arancibia, A. (1986). Ecología de la zona costera: Análisis de siete tópicos. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zamora, J. R. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre. *Pensamiento Actual*, 9(12), 125-134.

12. Anexos









26/Marzo/2025

9:00 am Cocletero 03

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	7.47	7.17	7.3
Tem	30.1°C	30.2°C	29.5°C
VV	2.2 m/s	2.7 m/s	3.9 m/s
Tem	31.3°C	32.6°C	34.3°C

1/Abril/2025 - 9:00 am

Playa bonita

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	6.92	7.34	7.17
Tem	29.6°C	29.9°C	29.3°C
VV	2.7 m/s	3.8 m/s	5.8 m/s
Tem	36.6°C	37.6°C	37.4°C

20/Mayo/2025 11 am

Playa bonita

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	6.39	6.43	6.57
Tem	33.9°C	34.6°C	35.9°C
V/V	3.9 m/s	4.8 m/s	2.6 m/s
Tem	40.2°C	41.0°C	

27/Mayo 2025 8:45 am

Parque Acuático

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	6.48	6.62	6.54
Tem	31.9°C	32°C	31.9°C
V/V	5.8 m/s	6.0 m/s	7.2 m/s
Tem	35.9°C	34.6°C	35.5°C

1/Abril/2025 - 11 am

API

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	7.19	7.31	7.40
Tem	31°C	32°C	30.9°C
VV	4.2 m/s	8.6 m/s	6.3 m/s
Tem	38.7°C	38.8°C	37.2°C

07/abril/2025 - 10:30 am

Faro del Morro

	Punto 1	Punto 2	Punto 3
PH	7.10	7.8	7.24
Tem	27.8°C	28.6°C	29.0°C
VV	5.7 m/s	7.7 m/s	6.5 m/s
Tem	37.4°C	32.8°C	32.3°C