



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

División Académica de Ciencias Biológicas

“Estudio en la duda, Acción en la fe”



DACBIOL

**DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN
ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

MOISÉS VALLEJO GÓMEZ

BAJO LA DIRECCION DE:

DR. JOSÉ RAMÓN LAINES CANEPA

EN CODIRECCIÓN:

DRA. MARÍA DEL CARMEN CUEVAS DÍAZ

VILLAHERMOSA, TABASCO, ENERO 2025

Declaración de Autoría y Originalidad

En la Ciudad de Villahermosa, Tabasco, el día **19 de febrero del 2026**, el que suscribe **Moises Vallejo Gómez** alumno del Programa de **Licenciatura en Ingeniería Ambiental** con número de matrícula 202G24009 adscrito a la **División Académica de Ciencias Biológicas** de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, como **autor del trabajo recepcional de tesis** presentado para la obtención del título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, titulado **DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO** dirigido por el Dr. José Ramón Laines Canepa y por la Dra. María del Carmen Cuevas Díaz

DECLARO QUE:

La Tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la LEY FEDERAL DEL DERECHO DE AUTOR (Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley Federal del Derecho de Autor del 01 de Julio de 2020 regularizando y aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita.

Del mismo modo, asumo frente a la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad o contenido del Desarrollo Tecnológico presentado de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

Villahermosa, Tabasco a **19 de febrero del 2026**.



Moises Vallejo Gómez



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2020
Margarita
Maza

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 20 de Febrero de 2026


ASUNTO: Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON
JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. MOISÉS VALLEJO GÓMEZ** egresado de la Lic. en **ING. AMBIENTAL** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis denominado: "**DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO**".

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E


DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

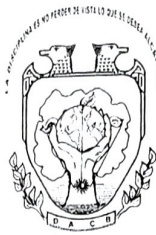
C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica
C.c.p.- Interesado





**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



2020
Margarita
Maza

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN

FEBRERO 20 DE 2026

**C. MOISÉS VALLEJO GÓMEZ
PAS. DE LA LIC. ING. AMBIENTAL
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 111 al 113 del Cap. IV del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO"**, asesorado por el Dr. José Ramón Laines Canepa y Dra. María del Carmen Cuevas Díaz, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dr. José Aurelio Sosa Olivier, Dr. José Ramón Laines Canepa, QBP. Leonardo García Hernández y Dra. María Elena Macías Valadez Treviño.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
Archivo.



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

" ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE "



2026
año de
Margarita
Maza

División Académica de Ciencias Biológicas DIRECCIÓN

19 de febrero de 2026

C. MOISÉS VALLEJO GÓMEZ

Pas. de la Lic. en Ingeniería Ambiental

Presente

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, se implementó la revisión del trabajo recepcional (**Tesis**), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad y el Código Institucional de Ética para la Investigación.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones, el índice de similitud y el reporte de originalidad obtenido a través de la revisión en la plataforma iThenticate de su trabajo recepcional **DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO**.

Se incluyó citas, se excluyó bibliografía y se estableció el umbral de exclusión de coincidencias pequeñas a 16 palabras.

RESULTADO DE SIMILITUD	0 %
	55 páginas y 14662 palabras

Finalmente, se le solicita al **C. MOISÉS VALLEJO GÓMEZ**, integrar en la versión final del trabajo recepcional, este oficio y el informe de originalidad con el porcentaje de similitud de Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p. Dr. José Ramón Laines Canepa. Director de trabajo recepcional
C.c.p. Dra. María Del Carmen Cuevas Díaz. Codirectora de trabajo recepcional
C.c.p. Archivo

KM 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
VILLAHERMOSA, CENTRO, TABASCO, MEX.
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 e-mail: direccion.dacbiol@ujat.mx

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

MOISÉS VALLEJO GÓMEZ

DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:558626235

Fecha de entrega

19 feb 2026, 11:24 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

19 feb 2026, 11:31 a.m. GMT-6

Nombre del archivo

Moisés Vallejo Gómez_TR tesis.pdf

Tamaño del archivo

2.3 MB

55 páginas

14.662 palabras

92.356 caracteres

0% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 16 palabras)
- ▶ Abstract
- ▶ Trabajos entregados

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
www.coursehero.com		<1%
2	Internet	
docplayer.es		<1%
3	Internet	
revsaludpublica.sld.cu		<1%

Carta de Cesión de Derechos

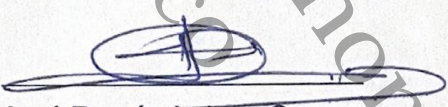
Villahermosa, Tabasco a 19 de febrero del 2026.

Por medio de la presente manifiesto haber colaborado como autor en la producción, creación y/o realización de la obra denominada **DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO** Con fundamento en el artículo 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y toda vez que, la creación y/o realización de la obra antes mencionada se realizó bajo la comisión de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; entendemos y aceptamos el alcance del artículo en mención, de que tenemos el derecho al reconocimiento como autores de la obra, y la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco mantendrá en un 100% la titularidad de los derechos patrimoniales por un periodo de 20 años sobre la obra en la que colaboramos, por lo anterior, cedemos el derecho patrimonial exclusivo en favor de la Universidad.

COLABORADORES



Moises Vallejo Gómez

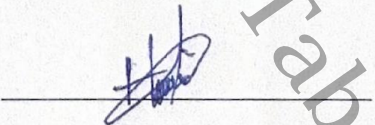


José Ramón Laines Canepa

TESTIGOS



Mairé Paulina Torres García



Héctor de Jesús de la Cruz Herrera

Dedicatoria

Para empezar, de todo corazón a mi mamá, que me apoyo de maneras incontables que, sin su apoyo, amor incondicional y crítica en todos los días, no hubiera podido, siempre creyó en mí y este es el fruto de ese amor incondicional.

A mi padre, que me heredó los estudios necesarios para estar aquí, cuya memoria, enseñanzas y ejemplo de vida continúan guiando cada uno de mis pasos y se reflejan en cada logro alcanzado.

A mis hermanos; Marisol, Mario y Miguel, por su apoyo constante, por compartir las cargas, por su comprensión y paciencia durante el desarrollo de este proyecto. A pesar de tenerme a mí como una carga más, ellos decidieron apoyarme en todo y nunca dudaron en darme para valerme por mi mismo.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por la formación brindada a lo largo de mi trayectoria académica, así como por los espacios y recursos que hicieron posible mi desarrollo profesional.

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento, en primer lugar, a mi guía académico, el Dr. José Ramón Laines Canepa, por su paciencia, su disposición constante y la orientación con la que compartió su conocimiento fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo, la cual representó un importante crecimiento académico y personal. De manera especial, extendiendo un profundo agradecimiento a la Dra. María del Carmen Cuevas, de la Universidad Veracruzana, por la valiosa oportunidad de utilizar los equipos necesarios para la realización de esta investigación en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental, así como por su apoyo. Al investigador Michele Arienzo que me apoyo compartiendo sus diversos consejos y asesoría. Agradezco a mis sinodales, el Dr. José Roberto Hernández Barajas y el Dr. José Aurelio Sosa Olivier, por el tiempo y la atención dedicados a la evaluación de este trabajo, así como por sus valiosas observaciones, que contribuyeron al fortalecimiento académico de la presente tesis.

A mi familia, mi más profundo agradecimiento por su apoyo incondicional del cual sin su ayuda no hubiera podido cursar esta carrera, fueron un pilar esencial durante todo el proceso de esta carrera y tesis.

De igual forma, agradezco sinceramente a mis amigos Gio, Alberto, Ángel, Cami, Salma, Wendy, Antonino, Keni, Pao y Héctor, quienes, con su apoyo, ánimo y su acompañamiento hicieron más amena la carga que implicó el desarrollo de esta tesis, sin su acompañamiento, este logro no habría sido posible.

Finalmente, pero no menos importante a mi novia, Mairé, quien estuvo presente en todo momento, brindándome apoyo, comprensión y motivación constante. Que en mis momentos más complicados siempre estuvo ahí para mí.

A todos ellos, expreso mi más sincero y profundo agradecimiento

Índice

1	Introducción	9
2	Marco Teórico	11
2.1	Características de los Microplásticos	11
2.1.1	Definición y clasificación	11
2.1.2	Microplásticos primarios y secundarios	11
2.1.3	Mecanismos de formación de los microplásticos	12
2.1.4	Tipos de plásticos	13
2.2	Fuentes de contaminación	14
2.2.1	Fuentes terrestres	14
2.2.2	Fuentes marinas	15
2.3	Impacto Ambiental de los Microplásticos	15
2.3.1	Impacto en ecosistemas marinos	15
2.3.2	Bioacumulación en la cadena alimenticia	16
2.3.3	Alteración de hábitats	16
2.4	Impacto en la Salud Humana	16
2.5	Calidad ambiental	18
2.6	Difusión global	18
2.7	Articulación teórica del estudio y fundamento metodológico	18
3	Justificación	20
4	Pregunta de investigación	21
5	Hipótesis	21
6	Objetivos	21
7	Metodología	22
7.1	Determinación de la generación per cápita diaria de residuos sólidos mediante el conteo de visitantes y la recolección de residuos	22
7.2	Plan de muestreo	23
7.2.1	Área de estudio	23
7.2.2	Descripción del área	23
7.2.3	Delimitación del área de muestreo	24
7.2.4	Selección de puntos de muestreo	25
7.2.5	Recolección de microplásticos	25

7.3	Evaluación de la concentración, distribución espacial e identificación de polímeros de microplásticos	26
7.3.1	Técnicas de identificación y cuantificación.....	26
7.4	Cálculo de concentraciones.....	30
7.4.1	Cálculo de volumen de cada muestra de arena.....	30
7.4.2	Concentración de Microplásticos (MP/kg).....	31
7.5	Cálculo Estadístico	31
7.6	Evaluación de la calidad ambiental de Playa Azul en función de la presencia y concentración de microplásticos en las muestras de arena	32
7.6.1	Abundancia por morfología.....	33
7.7	Desarrollo del plan de manejo	34
8	Resultados	35
8.1	Generación per cápita de residuos en la playa.....	35
8.1.1	Limpieza de playa.....	35
8.1.2	Determinación de la generación per cápita.....	35
8.2	Análisis de morfologías.....	38
8.3	Cálculo de microplásticos por kilogramo de arena.....	40
8.4	Resultados estadísticos	41
8.4.1	Prueba chi-cuadrada de independencia.....	41
8.4.2	Tamaño del efecto	41
8.4.3	Categorías con mayor contribución al cambio.....	41
8.5	Resultados de PTIR	42
8.6	Evaluación de la calidad de la playa.....	43
8.7	Plan de Manejo Integral de Residuos (PMIR).....	43
8.7.1	Objeto y alcance	44
8.7.2	Principios y marco de gestión.....	44
8.7.3	Actores y roles	44
8.7.4	Línea base resumida	45
8.7.5	Objetivos, metas e indicadores	45
8.7.6	Acciones, procedimientos y medios	45
8.7.7	Gestión por corriente	47
8.7.8	Monitoreo, indicadores y verificación.....	47
8.7.9	Cronograma	48

8.7.10	Conceptos para presupuesto y financiamiento	48
8.7.11	Gestión de riesgos.....	48
8.7.12	Transparencia y comunicación	48
8.7.13	Mejora continua y cierre de ciclo	48
9	Discusión.....	49
9.1	Generación per cápita en ambas temporadas	49
9.2	Presencia de morfologías encontradas	49
9.3	Evolución de calidad de la playa	51
10	Conclusión.....	53
11	Referencias:.....	54

Índice de figuras

Figura. 1	Fotografía tomada de Google Earth. Coordenadas:505340.53 m E, 2038274.45 m.....	23
Figura. 2	Foto con dron del área de muestreo, Coordenadas: 505340.53 m E, 2038274.45 m.....	24
Figura. 3	Foto con dron de los puntos de muestreo, Coordenadas: 505340.53 m E, 2038274.45 m.....	25
Figura. 4	Tamices de mayor apertura al de menor apertura	26
Figura. 5	Preparación de las muestras con peróxido de hidrógeno	27
Figura. 6	Fotografía del equipo Velab VE-153G, equipado con pantalla LCD, utilizado con los microplásticos	28
Figura. 7	Fotografía del equipo espectrómetro Perkin Elmer Frontier FT-IR / FIR Spectrometer. Usado para los microplásticos.....	29
Figura. 8	Clasificación de microplásticos por morfología propuesta por Purca & Henostroza (2017). Creación propia.....	29
Figura. 9	Fotografías de la limpieza del área de estudio previo al muestreo	35
Figura. 10	(a) espuma, (b) fragmento, (c) otro(aluminio), (d) fibras, (e) carbón, (f) película	38
Figura. 11	Gráficas de morfologías encontradas por transectos: (A) transecto 1, (B) transecto 2, (C) transecto 3	39
Figura. 12	Microplásticos totales encontrados en las dos temporadas de muestreo.....	40
Figura. 13	Resultados de los infrarrojos en muestras de A) Espumas, B) Fragmentos y C) Fibras.	42
Figura. 14	Porcentajes de microplásticos encontrados en las áreas de muestreo	43

Índice de tablas

Tabla 1 Principales procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en la formación de microplásticos. fuente: Laines et al (2024, p. 3).....	12
Tabla 2. Etiquetas de identificación y clasificación de tipos de productos plásticos Adaptación de: Norma Mexicana NMX-E-232N-CCP-2011	13
Tabla 3 Variables empleadas para la evaluación de residuos sólidos y microplásticos, Creación propia.....	23
Tabla 4 Clasificación del Índice de Presión por Microplásticos (MPPI) según niveles de abundancia en playas Adaptada de “Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches” por Rangel-Buitrago et al. (2021).....	33
Tabla 5 Clasificación del Índice de Contaminación por Microplásticos (CMPI) según niveles de severidad Adaptada de “Impact of microplastic pollution on coastal ecosystems using comprehensive beach quality indices” por Pervez et al. (2023)	34
Tabla 6 Comparación del peso total de los principales residuos plásticos recolectados durante ambos periodos de muestreo.....	36
Tabla 7 Resultados de la primera semana de recolección (temporada de baja afluencia)....	37
Tabla 8 Resultados de la segunda semana de recolección (temporada de alta afluencia)...	37
Tabla 9 Tabla de las gestiones de corrientes propuesta.....	47

Resumen

La contaminación por microplásticos representa una problemática ambiental emergente en ecosistemas costeros debido a su persistencia, capacidad de fragmentación y potencial impacto ecológico y sanitario. El presente estudio tuvo como objetivo diagnosticar la concentración, distribución y composición morfológica y polimérica de microplásticos en Playa Azul, Centla, Tabasco, así como evaluar su relación con la presión antrópica estacional y generar bases técnicas para un Plan de Manejo Integral de Residuos. Se realizaron dos campañas de muestreo en temporada baja y alta, incluyendo determinación de generación per cápita de residuos, recolección de arena superficial (0–1 cm), tamizado (0.84–5 mm), caracterización morfológica mediante microscopía estereoscópica e identificación polimérica por espectroscopía FTIR. Los resultados mostraron un incremento del 8.9 % en la concentración de microplásticos en temporada alta ($1.7324 \text{ MP} \cdot \text{kg}^{-1}$) respecto a temporada baja ($1.5904 \text{ MP} \cdot \text{kg}^{-1}$), con diferencias estadísticamente significativas en la composición morfológica ($\chi^2 (5) = 23.214$, $p < 0.001$), destacando el aumento de partículas de carbón y fibras durante periodos de mayor afluencia. El Índice de Presión por Microplásticos (MPPI) indicó niveles de contaminación muy baja; sin embargo, el Índice Compuesto (CMPI) evidenció variaciones estacionales en la composición. Se concluye que, aunque la magnitud de contaminación es baja, la dinámica morfológica refleja la influencia directa de actividades turísticas y deficiencias en la gestión de residuos, justificando la implementación de estrategias preventivas orientadas a la reducción en la fuente.

Palabras clave: microplásticos, calidad ambiental, presión antrópica, playas, gestión de residuos.

Abstract

Microplastic pollution represents an emerging environmental issue in coastal ecosystems due to its persistence, fragmentation capacity, and potential ecological and health impacts. This study aimed to diagnose the concentration, spatial distribution, morphological and polymeric composition of microplastics in Playa Azul, Centla, Tabasco, and to evaluate their relationship with seasonal anthropogenic pressure in order to support the design of an Integrated Waste Management Plan. Two sampling campaigns were conducted during low and high tourist seasons, including per capita solid waste generation assessment, surface sand collection (0–1 cm), sieving (0.84–5 mm), morphological characterization using stereomicroscopy, and polymer identification through FTIR spectroscopy. Results showed an 8.9% increase in microplastic concentration during the high season (1.7324 MP·kg⁻¹) compared to the low season (1.5904 MP·kg⁻¹), with statistically significant differences in morphological composition ($\chi^2(5)=23.214$, $p<0.001$), highlighting an increase in charcoal particles and fibers during periods of greater tourist influx. The Microplastic Pollution Index (MPPI) indicated very low contamination levels; however, the Composite Microplastic Pollution Index (CMPI) revealed clear seasonal variations in composition. Although overall contamination levels were low, morphological dynamics reflected the direct influence of recreational activities and waste management deficiencies, supporting the need for preventive, source-oriented management strategies.

Keywords: microplastics, environmental quality, anthropogenic pressure, beaches, waste management.

1 Introducción

En las últimas décadas, los microplásticos (MP) se han convertido en un contaminante ambiental de alta prioridad por su persistencia, movilidad y capacidad de acumularse en matrices como el agua y, especialmente, la arena de playas. Organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud han advertido sobre la presencia de estas partículas en el agua potable y su potencial riesgo para la salud humana, señalando que, aunque los efectos aún no se comprenden completamente, su exposición crónica podría representar impactos adversos a largo plazo, especialmente en poblaciones vulnerables (OMS, 2019). De manera paralela, la Organización de las Naciones Unidas ha señalado que, de mantenerse las tendencias actuales, la contaminación plástica en ambientes acuáticos podría duplicarse hacia 2030, intensificando los efectos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (ONU, 2021).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ha enfatizado que los microplásticos, derivados principalmente del manejo inadecuado de residuos sólidos, constituyen una amenaza ambiental compleja al actuar como vectores de contaminantes químicos y patógenos, lo que incrementa su riesgo ecológico y sanitario (PNUMA, 2020). A pesar del creciente cuerpo de evidencia internacional sobre su distribución, efectos y fuentes, persisten vacíos de información en regiones específicas, particularmente en zonas costeras de países en desarrollo, donde las dinámicas locales de consumo, turismo y gestión de residuos pueden modificar sustancialmente su comportamiento ambiental. Estos pronunciamientos coinciden en un punto clave: la magnitud del riesgo depende de la exposición y de las condiciones locales de manejo de residuos, por lo que la generación de evidencia a escala regional resulta indispensable para orientar medidas de gestión.

En el contexto nacional, En México, el incremento en el consumo de plásticos y la generación de residuos sólidos urbanos ha intensificado el riesgo de liberación de partículas plásticas al ambiente y un consumo per cápita de residuos plásticos que refleja patrones de uso intensivo y desechable (Vázquez-Morillas et al., 2023). Diversos estudios han documentado que una fracción significativa de estos residuos, al ser expuestos a procesos físicos, químicos y biológicos, se fragmenta progresivamente hasta convertirse en microplásticos, generando impactos adversos sobre la biodiversidad y el equilibrio ecológico en cuerpos de agua continentales y marinos (Laines et al., 2024).

Las playas representan uno de los entornos más vulnerables a esta problemática, al funcionar como zonas de acumulación de residuos y microplásticos, especialmente en áreas con alta presión turística, en estos escenarios, los residuos plásticos abandonados o mal gestionados se fragmentan progresivamente y sus partículas pueden quedar retenidas en la arena superficial, funcionando la playa como un ‘sumidero’ de microplásticos. La degradación ambiental en estos espacios no solo compromete la integridad de los ecosistemas costeros, sino que también afecta la percepción de calidad ambiental y el uso recreativo de las playas, elementos clave para la sostenibilidad del turismo y la gestión costera (Botero et al., 2013). En México, la deficiente gestión de residuos ha sido identificada como un factor determinante

en la presencia de microplásticos en playas, particularmente en regiones con limitada infraestructura ambiental (Vázquez Morillas et al., 2022).

En este contexto, el estado de Tabasco, y específicamente la zona costera de Playa Azul en el municipio de Centla, presenta una marcada carencia de estudios sistemáticos que permitan dimensionar la presencia, características y magnitud de la contaminación por microplásticos. Esta brecha de conocimiento limita la comprensión del problema a escala local y restringe el diseño de estrategias de manejo ambiental basadas en evidencia científica. La ausencia de información específica sobre estos contaminantes en playas tabasqueñas contrasta con su relevancia ecológica y socioeconómica, lo que subraya la necesidad de generar estudios que aporten bases técnicas para una gestión costera más informada y sostenible. Por ello, es necesario generar una línea base local, cuantificar su variación bajo diferentes niveles de presión turística y traducir los hallazgos en insumos técnicos para la gestión de residuos y la mejora de la calidad ambiental.

La presente investigación tuvo como objetivo diagnosticar, cuantificar y caracterizar los microplásticos en esta playa, así como posible relación con presión antrópica en el entorno costero. A partir de estos resultados, se propuso un modelo de manejo integral de residuos que contribuya a mejorar la calidad ambiental de la región. La investigación incluyó dos semanas de muestreo, en temporada baja (febrero) y en temporada alta (Semana Santa), con el fin de evaluar el efecto de la actividad turística en la generación de residuos y presencia de microplásticos.

2 Marco Teórico

En el contexto actual, la contaminación ambiental se ha convertido en uno de los principales problemas a nivel global, en gran parte debido a una deficiente gestión de residuos. Es común encontrar diversos desechos, como botellas y bolsas de plástico, dispersos en calles y espacios públicos. Estos residuos, transportados por el agua de lluvia o la acción humana, suelen acumularse en áreas con baja actividad humana. Estas zonas, al contar con menor presencia de personas, se convierten en depósitos finales de desechos, perpetuando el problema y disminuyendo la percepción inmediata de sus impactos ambientales.

En el agua, los microplásticos son ingeridos por organismos acuáticos y aves, facilitando la transferencia de contaminantes en la cadena alimenticia. En el suelo, son consumidos por lombrices, que los concentran y fragmentan aún más, afectando la fertilidad del suelo y la supervivencia de diversas especies (Lwanga, 2016).

Además, los sistemas de tratamiento de aguas residuales no están completamente preparados para filtrar estas partículas, lo que permite su entrada a ecosistemas acuáticos, afectando a organismos marinos y la cadena alimenticia humana. La creciente urbanización y las prácticas industriales intensifican la contaminación por microplásticos, evidenciando la necesidad de implementar medidas de gestión de residuos en las comunidades (Sbarbati Nudelman, 2020).

2.1 Características de los Microplásticos

2.1.1 Definición y clasificación

El concepto de microplásticos (MP) fue estandarizado durante el *First International Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris*, llevado a cabo en 2008 y organizado por la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de Estados Unidos. En este evento, se definió que los microplásticos comprenden aquellos residuos plásticos cuyas dimensiones oscilan entre 1 mm y 5 mm. Asimismo, se clasificaron en dos categorías principales: microplásticos primarios y microplásticos secundarios.

2.1.2 Microplásticos primarios y secundarios

Esta distinción es fundamental para comprender las fuentes, dinámicas ambientales y mecanismos de generación asociados a la contaminación por plásticos en ecosistemas costeros y marinos.

Los microplásticos primarios son aquellos fabricados intencionalmente en dimensiones microscópicas, sin derivar de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño. Entre ellos se incluyen los pellets industriales o nurdles, utilizados como materia prima en la producción de diversos productos plásticos, así como microesferas incorporadas en cosméticos y productos de limpieza. Su liberación al ambiente ocurre principalmente por fallas en los procesos de transporte, almacenamiento y manejo, lo que favorece su ingreso directo a cuerpos de agua. Debido a su tamaño reducido, alta persistencia y capacidad de adsorber contaminantes químicos, estos microplásticos representan una fuente relevante de deterioro ambiental y un riesgo potencial para los ecosistemas acuáticos y la salud humana (PNUMA, 2020).

Por otro lado, los microplásticos secundarios se generan a partir de la fragmentación progresiva de residuos plásticos de mayor tamaño, como los macroplásticos, mediante procesos de degradación física y química. En ambientes marinos, la exposición prolongada a la radiación ultravioleta, junto con la abrasión mecánica, el oleaje y la turbulencia, induce la oxidación de los polímeros y la ruptura de sus enlaces moleculares, dando lugar a partículas de menor tamaño (Zhu et al., 2021). Para su caracterización, se emplea comúnmente la clasificación morfológica propuesta por Purca y Henostroza (2017), que distingue fibras, fragmentos, pellets, films y esferas

2.1.3 Mecanismos de formación de los microplásticos

Los mecanismos de generación de microplásticos se dividen en diversas rutas, en las cuales los plásticos son expuestos a distintos factores físicos, químicos o biológicos que favorecen su erosión o descomposición paulatina, dando lugar a partículas de menor tamaño, en la Tabla 1 sintetiza lo anteriormente mencionado.

Tabla 1 Principales procesos físicos, químicos y biológicos involucrados en la formación de microplásticos. fuente: Laines et al (2024, p. 3)

Procesos	Descripción
Fragmentación	Los residuos plásticos de gran tamaño se fragmentan debido a factores físicos como la radiación ultravioleta (UV), las olas, el viento y la abrasión mecánica. La exposición prolongada a la luz solar y al entorno debilita los enlaces poliméricos, lo que favorece la formación de microplásticos
Degradación química	Los plásticos, compuestos por largas cadenas de polímeros, se degradan químicamente bajo ciertas condiciones ambientales. Procesos como la oxidación, hidrólisis y fotodegradación alteran su estructura molecular, haciéndolos más susceptibles a la fragmentación

Degradación biológica

Algunos microorganismos colonizan la superficie de los plásticos y los degradan parcialmente. Aunque la biodegradación de los plásticos convencionales es un proceso lento, contribuye a la reducción del tamaño de las partículas y facilita su transformación en microplásticos

Desgaste

Factores ambientales como la temperatura, la humedad y la exposición a la luz solar provocan el envejecimiento de los materiales plásticos, generando cambios físicos y químicos que deterioran su estructura y los hacen más propensos a fragmentarse

Interacciones biofísicas

La actividad biológica, como la alimentación de organismos marinos, también contribuye a la fragmentación del plástico. Los plásticos de mayor tamaño pueden ser ingeridos y excretados como partículas más pequeñas



2.1.4 Tipos de plásticos





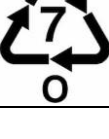
Según la Universidad Nacional Autónoma de México (2018), un plástico es un polímero, es decir, un material formado por la unión repetitiva de miles de monómeros hasta formar moléculas de gran tamaño, conocidas como macromoléculas.

Asimismo, los plásticos son polímeros que, al incorporarles aditivos, pueden modificar sus propiedades físicas y químicas, lo que permite su transformación y mejora en aspectos como la resistencia, flexibilidad y durabilidad.

La Tabla 2 presenta, con base en la Norma Mexicana NMX-E-232-CNCP-2011, los tipos de plásticos que originan los microplásticos más comúnmente encontrados en las playas.

Tabla 2. Etiquetas de identificación y clasificación de tipos de productos plásticos Adaptación de: Norma Mexicana NMX-E-232N-CCP-2011

Nombre Completo	Acrónimo	Uso en productos	Simbología
Tereftalato de polietileno	PET o PETE	Botellas de agua o refresco, envases de aceite vegetal, frascos de mantequilla de cacahuete, envases para alimentos listos para consumir	
Polietileno de alta densidad	PEAD o HDPE	Botellas de leche, envases de detergente o limpiadores, jarras de jugo, botellas de champú o acondicionador	

Policloruro de vinilo	PVC o V	Tuberías de agua o drenaje, revestimientos de cables eléctricos, cortinas de baño, tarjetas de crédito	
Polietileno de baja densidad	PEBD o LDPE	Bolsas de supermercado, envolturas plásticas (film transparente), botellas exprimibles (como miel o mayonesa), revestimiento interior de cajas de leche o jugo	
Polipropileno	PP	Tapas de botellas, envases de yogur, contenedores reutilizables para microondas, pajillas (popotes)	
Poliestireno	PS	Vasos de unicel (espuma), bandejas de carne, cajas de hamburguesas para llevar, cubiertos desechables	
OTROS		Botellas deportivas reutilizables (policarbonato), lentes de gafas, discos blu-ray o dvd, recubrimientos interiores de latas de comida	

2.2 Fuentes de contaminación

Diversos estudios han identificado que los residuos de origen turístico (botellas PET, bolsas PEBD, envases de poliestireno) son los principales precursores de microplásticos en playas (Vázquez Morillas et al., 2022). Estos productos constituyen la fracción de residuos sólidos que se cuantificará en Playa Azul.

2.2.1 Fuentes terrestres

Los residuos industriales representan una amenaza relevante para la salud pública y el medio ambiente cuando no son gestionados adecuadamente, ya que pueden generar efectos tóxicos, especialmente en niños, fetos y poblaciones en condición de vulnerabilidad. Asimismo, su disposición inadecuada contribuye a la degradación de hábitats y ecosistemas, afectando a las redes tróficas. Estos residuos comprenden una amplia variedad de materiales que, en su mayoría, se originan como subproductos secundarios de los procesos productivos (Calle et al., 2021).

Calle et al. (2021) señalan que los residuos industriales representan una amenaza significativa si no se manejan de manera adecuada. Sin embargo, en los sentidos turísticos como Playa Azul, el problema se asocia más a residuos sólidos urbanos que a descargas industriales, lo que sugiere que el factor crítico en esta playa no es la

industria, sino la falta de gestión en la disposición final de residuos generados por visitantes por falta de un modelo de manejo de residuos.

El transporte de los residuos industriales tiene su impacto cerca y lejos de las fuentes industriales ya que tienden a tener un transporte de estos residuos que embarcan por vías terrestres para llevarlas a sitios de reciclaje, tratamiento y disposición.

2.2.2 Fuentes marinas

Se ha documentado que, a bordo de las embarcaciones, la gestión de los residuos generados es deficiente. No existen áreas específicas destinadas al manejo adecuado de los desechos, lo que provoca su acumulación en bolsas y sacos de polietileno. Estos contenedores, debido al exceso de residuos o al peso, son susceptibles de romperse, generando fugas que pueden terminar en el mar. El resto de los residuos es trasladado posteriormente al puerto para su disposición final (Tume Ramírez, 2023).

2.3 Impacto Ambiental de los Microplásticos

Los microplásticos de baja densidad tienden a permanecer en la columna de agua, mientras que los de mayor densidad se acumulan en la arena superficial (Quirós-Rodríguez et al., 2021). La distribución espacial de microplásticos suele asociarse a factores como corrientes, mareas y actividades humanas (Pervez et al., 2023).

2.3.1 Impacto en ecosistemas marinos

Los residuos microplásticos se han convertido en contaminantes ubicuos que proliferan, migran y se acumulan en diversos hábitats naturales, desde las regiones polares hasta zonas tropicales. Estas partículas, debido a su tamaño reducido y persistencia, también se depositan en playas urbanas y en sedimentos marinos, contribuyendo a una contaminación marina crónica que representa una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos (Quirós-Rodríguez et al., 2021).

Quirós-Rodríguez et al. (2021) reportaron abundancias altas de microplásticos en playas del Caribe colombiano, mientras que en México los estudios recientes (Peralta-Peláez et al., 2023; Vázquez Morillas et al., 2022) muestran niveles variables dependiendo del grado de urbanización. Esta comparación evidencia que los factores locales como turismo y manejo de residuos son determinantes en la magnitud de la contaminación.

2.3.2 Bioacumulación en la cadena alimenticia

La bioacumulación es un proceso mediante el cual los organismos incorporan partículas de microplásticos en sus tejidos a lo largo del tiempo, como resultado de la exposición continua en ambientes contaminados. Esta acumulación afecta al organismo directamente expuesto y, además, incrementa la probabilidad de transferencia trófica, es decir, que los microplásticos sean ingeridos por otros organismos marinos o incluso terrestres a través de la cadena alimenticia. Una vez que los microplásticos ingresan al cuerpo, pueden alojarse en distintos tejidos, principalmente en el tracto digestivo, generando posibles efectos fisiológicos, toxicológicos y ecológicos (Perilla Portilla & Quiroz Ortega, 2023).

2.3.3 Alteración de hábitats

La alteración de hábitats representa uno de los principales impactos ambientales asociados a la acumulación de residuos plásticos en los sistemas de playa, los cuales funcionan como ecosistemas dinámicos de transición entre los ambientes marino y terrestre. La presencia de residuos plásticos, particularmente microplásticos, modifica la estructura y permeabilidad del sustrato arenoso, alterando los flujos de agua intersticial y la disponibilidad de nutrientes, lo que afecta directamente a los organismos bentónicos y a la estabilidad del sistema. Asimismo, los microplásticos suspendidos incrementan la turbidez del agua, reduciendo la penetración de la radiación solar necesaria para la fotosíntesis de los pastos marinos y otros productores primarios. Estas alteraciones generan procesos de degradación del hábitat, como pérdida de biodiversidad costera, cambios en la estructura del sustrato y mayor susceptibilidad a la erosión, comprometiendo la funcionalidad ecológica y los servicios ambientales del ecosistema playero (Alcázar-Espinoza, 2024).

2.4 Impacto en la Salud Humana

La ingesta de microplásticos a través de alimentos y agua contaminados se ha asociado con diversos efectos adversos para la salud humana, que abarcan desde impactos locales hasta posibles consecuencias sistémicas. La evidencia disponible indica que estas partículas afectan principalmente al sistema gastrointestinal, provocando irritación, inflamación, alteraciones en la barrera intestinal y desequilibrios en la microbiota, lo que puede comprometer la absorción de nutrientes. Asimismo, la exposición a microplásticos puede inducir respuestas inflamatorias y estrés oxidativo mediante la activación de rutas proinflamatorias y la liberación de citosinas, afectando la homeostasis celular. Estudios experimentales han demostrado su capacidad para infiltrarse y distribuirse en tejidos como el hígado y los riñones, así como su persistencia en el organismo, evidenciada por su detección en heces humanas. Esta permanencia plantea la posibilidad de alteraciones en el material genético y potenciales efectos mutagénicos a largo plazo, aunque persisten

vacíos de conocimiento, especialmente en estudios poblacionales en México (Gaspar et al., 2023; Betancourt et al., 2023).

El análisis de los efectos toxicológicos avanzados asociados a aditivos metálicos y orgánicos constituye un eje central para la comprensión de los riesgos químicos emergentes en los sistemas ambientales actuales. Desde una perspectiva toxicológica, el estudio de estos compuestos permite identificar no solo sus efectos individuales, sino también los mecanismos moleculares, celulares y sistémicos mediante los cuales interactúan con los organismos bajo escenarios de exposición crónica, compleja y de baja dosis. En este contexto, la peligrosidad de los aditivos no está determinada únicamente por su toxicidad intrínseca, sino por la combinación de las vías de exposición, su frecuencia y duración. Los microplásticos han adquirido relevancia como vectores de estas sustancias, al facilitar su transporte, persistencia y biodisponibilidad en distintos compartimentos ambientales.

Los aditivos químicos en los microplásticos donde los seres humanos se encuentran expuestos de manera continua a diversas sustancias tóxicas asociadas a los plásticos presentes en el entorno, los alimentos y otros medios, debido a la liberación de aditivos químicos incorporados durante su fabricación. Estos aditivos se clasifican de acuerdo con la función que cumplen en el producto final e incluyen compuestos ampliamente utilizados y de alta preocupación, como el bisfenol A (BPA), un monómero empleado en la producción de policarbonato, así como retardantes de llama polibromados, parafinas cloradas de cadena corta, ftalatos y estabilizantes como el UV-328, utilizado por su capacidad de protección frente a la radiación ultravioleta. Adicionalmente, se han identificado otros compuestos relevantes, entre ellos bisfenol-A dimetacrilato, metales pesados como plomo, estaño y cadmio, además de sustancias orgánicas potencialmente peligrosas como formaldehído, acetaldehído, 4-nonilfenol, metil terc-butil éter, benceno y diversos compuestos orgánicos volátiles, todos ellos asociados con efectos tóxicos sobre la salud humana y el ambiente. La evaluación de la exposición a estos aditivos se ha abordado principalmente mediante estrategias de biomonitorio, basadas en la detección de los compuestos originales, sus productos de degradación o respuestas bioquímicas específicas en fluidos biológicos como sangre y orina. El riesgo asociado a estos aditivos se intensifica cuando los plásticos alcanzan el final de su vida útil y son sometidos a procesos de reciclaje, incineración o, en el peor de los casos, a una disposición inadecuada que implica su liberación directa al ambiente, incrementando así las oportunidades de exposición humana (Kindsvater et al., 2020).

De acuerdo con Kindsvater et al. (2020), la preocupación asociada a los aditivos químicos presentes en los microplásticos se ve reforzada por la evidencia de que varios de estos compuestos poseen propiedades carcinogénicas o potencialmente carcinogénicas. Dichos efectos se manifiestan a través de distintos mecanismos biológicos, entre ellos la disrupción endocrina, la inducción de estrés oxidativo y la generación de efectos genotóxicos, procesos que pueden favorecer el desarrollo de diversos tipos de cáncer. Esta evidencia subraya el riesgo que representa la exposición crónica a microplásticos como vectores de sustancias químicas peligrosas, particularmente en escenarios de liberación continua al ambiente y contacto prolongado con la población humana.

2.5 Calidad ambiental

La calidad ambiental en playas se evalúa a partir de indicadores que reflejan el grado de alteración antrópica del ecosistema y su capacidad de mantener funciones ecológicas esenciales. En este marco, la abundancia de microplásticos (MP) se reconoce como un indicador cuantitativo complementario a otros parámetros físico-químicos y biológicos, al integrar de manera directa los efectos acumulativos de las actividades humanas sobre el sistema costero. La medición de MP permite no solo estimar niveles de contaminación, sino también establecer patrones comparables en el tiempo y entre distintas zonas geográficas, lo que fortalece su utilidad en evaluaciones ambientales integrales. Rangel-Buitrago et al. (2021) proponen un enfoque metodológico que vincula la densidad de microplásticos con categorías de calidad ambiental, facilitando la interpretación del estado del ecosistema costero a partir de valores cuantificables. Esta aproximación permite analizar variaciones espaciales y estacionales en la calidad ambiental, aportando una base objetiva para la comparación de escenarios y el seguimiento de procesos de deterioro ambiental en playas.

2.6 Difusión global

En síntesis, los estudios internacionales han documentado ampliamente la presencia ubicua de los microplásticos en prácticamente todos los compartimentos ambientales, desde océanos abiertos y zonas costeras hasta organismos marinos y matrices asociadas a la salud humana (Quirós et al., 2021; Gaspar et al., 2023). No obstante, esta ubicuidad no implica homogeneidad, ya que la abundancia, morfología y composición polimérica de los microplásticos muestran una marcada variabilidad espacial, condicionada por factores locales como el uso del suelo, la presión turística, las corrientes marinas y las dinámicas de manejo de residuos. En contraste, la evidencia mexicana aún es limitada y se concentra en regiones como Veracruz y Coahuila (Peralta-Peláez et al., 2023; Ríos, 2024), lo que deja sin caracterización a zonas estratégicas del sur del Golfo de México. En este contexto, Tabasco adquiere relevancia particular por su alta interacción entre sistemas fluviales, actividad costera y turismo estacional, condiciones que pueden modular patrones de dispersión distintos a los reportados en otras regiones. Así, este estudio no solo cubre un vacío de información, sino que aporta datos locales necesarios para comprender cómo un problema global se manifiesta de manera diferenciada a escala regional.

2.7 Articulación teórica del estudio y fundamento metodológico

Las playas funcionan como zonas de acumulación y fragmentación de residuos plásticos, por lo que la arena superficial constituye una matriz adecuada para diagnosticar microplásticos. Debido a la heterogeneidad espacial asociada al uso recreativo y a las condiciones dinámicas del litoral, resulta pertinente emplear unidades de muestreo (cuadrantes/transectos) que

permitan comparar zonas con distinta presión antrópica. Asimismo, el tamaño de las partículas condiciona su transporte y disponibilidad biológica, por lo que el fraccionamiento mediante tamices permite describir la distribución por rangos operacionales. La caracterización morfológica por observación microscópica (p. ej., fibras, fragmentos y películas) aporta elementos para inferir fuentes y procesos de degradación. Finalmente, la confirmación del tipo de polímero mediante FTIR incrementa la confiabilidad del diagnóstico al distinguir materiales plásticos y favorecer la comparabilidad con estudios previos. En conjunto, estos fundamentos sostienen la selección de variables y métodos aplicados en este trabajo y orientan la transición hacia el capítulo metodológico

México

3 Justificación

La creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas marino costeros constituye una amenaza significativa para la biodiversidad, la salud humana y las actividades socioeconómicas asociadas a las zonas costeras. Playa Azul, ubicada en el municipio de Centla, Tabasco, representa un ecosistema sensible con valor ecológico y turístico, donde las actividades humanas, particularmente el turismo y el manejo inadecuado de los residuos sólidos, podrían estar contribuyendo a la incorporación de plásticos al ambiente costero.

A pesar de la relevancia del problema, existe una carencia de estudios locales que permitan conocer la concentración, distribución y características de los microplásticos en Playa Azul. Esta ausencia de información científica limita la comprensión de la magnitud real del fenómeno a escala local y dificulta su comparación con otros sistemas costeros del Golfo de México.

La falta de datos específicos sobre la contaminación por microplásticos en esta zona restringe la toma de decisiones informadas y la implementación de estrategias de manejo ambiental basadas en evidencia, lo que puede favorecer la persistencia del problema y el deterioro progresivo de la calidad ambiental de la playa.

En este contexto, el presente estudio se plantea como una investigación necesaria para generar un diagnóstico inicial que permita aproximarse a la presencia y características de los microplásticos en Playa Azul, así como a su posible relación con la actividad turística y la generación de residuos sólidos.

Los resultados obtenidos podrán servir como base para el diseño de un modelo de manejo integral de residuos sólidos orientado a la prevención de la generación de microplásticos, la mejora de la calidad ambiental y el fortalecimiento de la gestión costera local, con potencial aplicación en otras playas con características similares. De esta forma, la investigación contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los relacionados con la vida submarina (ODS 14), la producción y consumo responsables (ODS 12) y la acción por el clima (ODS 13).

4 Pregunta de investigación

¿Cuál es la concentración y distribución de microplásticos en Playa Azul (Centla, Tabasco), y cómo estos resultados pueden orientar la formulación de un modelo de manejo integral de residuos?

5 Hipótesis

La concentración y distribución de microplásticos en el suelo superficial (0–1 cm) de Playa Azul, Centla, Tabasco, presentan variaciones asociadas a la presión antropogénica, evaluada a través de la afluencia de visitantes y la generación de residuos sólidos durante distintos periodos de muestreo.

6 Objetivos

6.1 Objetivo General

Evaluar la presencia y concentración de microplásticos en Playa Azul, Centla, Tabasco, con el fin de generar un diagnóstico ambiental que sustente la formulación de estrategias de manejo integral de residuos.

6.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la generación per cápita diaria de residuos sólidos en Playa Azul mediante el conteo de visitantes y la recolección de residuos.
2. Analizar la concentración, la distribución espacial, la identificación de polímeros, su caracterización morfológica y su abundancia de los microplásticos en Playa Azul mediante muestreos de la arena superficial (0–1 cm)
3. Determinar la calidad ambiental de Playa Azul en función de la presencia y concentración de microplásticos en las muestras de arena.
4. Diseñar una propuesta de manejo integral de los residuos sólidos generados en Playa Azul que contemple medidas preventivas, correctivas y de sensibilización social, fundamentada en los resultados obtenidos

7 Metodología

7.1 Determinación de la generación per cápita diaria de residuos sólidos mediante el conteo de visitantes y la recolección de residuos

La metodología propuesta consideró la realización de dos muestreos correspondientes a dos periodos de muestreo distintos.: la primera semana se realizó en una temporada de baja afluencia turística, mientras que la segunda se efectuó en una semana considerada temporada alta de visitantes. Esta estrategia permitió comparar las condiciones ambientales entre un escenario base y otro con mayor presión turística. Se llevó a cabo la recolección diaria de los residuos sólidos presentes en el área delimitada de 2000 m². Esta actividad permitió estimar la generación per cápita de residuos, considerando el total acumulado en dicho periodo. Para ello, se realizó un conteo diario de las personas que visitan la playa, con el fin de relacionar la cantidad de residuos generados con la afluencia de visitantes. De igual forma, se determinó el peso total de los residuos plásticos con el fin de identificar las diferencias asociadas al manejo y disposición de residuos en la playa.

Previo al inicio del primer día de muestreo, se estableció un "día cero", que consistió en la recolección y retiro de todos los residuos sólidos presentes en la zona de estudio antes de cualquier actividad o presencia de visitantes asociada al periodo de muestreo. Esta acción tiene como objetivo establecer una línea base limpia, desde la cual se pueda registrar con mayor precisión la cantidad de residuos generados exclusivamente durante los días que se observó.

De esta manera, fue posible comparar la generación diaria de residuos con el estado inicial del área. Para ello, se empleó la siguiente fórmula:

$$GPC = \frac{G}{nV}$$

Donde G representa la generación de residuos plásticos por día (kg), nV representa al número de visitantes máximo al día en la playa, y *gpc día* corresponde a la generación per cápita de residuos registrada en uno de los días del periodo de muestreo. Este valor permite estimar un promedio de generación por persona, lo que resulta fundamental para evaluar el impacto antropogénico durante el periodo de estudio.

La Tabla 3 resume las variables consideradas en el estudio, su tipo, unidad y método de medición. Se incluyen variables dependientes asociadas a la generación de residuos y a la concentración/distribución de microplásticos, así como la variable independiente visitantes, empleada para explorar su relación con la presión antrópica.

Tabla 3 Variables empleadas para la evaluación de residuos sólidos y microplásticos, Creación propia

Variable	Tipo	Unidad	Método de medición
Generación de residuos sólidos	Dependiente	kg/ día	Pesaje y conteo de visitantes
Visitantes	Independiente	Personas / día	Registro por hora
Concentración de Microplásticos	Dependiente	MP/kg y MP/m ²	Tamizado, microscopía y FTIR
Distribución espacial	Dependiente	abundancia relativa por transecto	Transectos definidos (1, 3 y 5)
Clima y Hora de muestreo	Control	-	Registro de campo

7.2 Plan de muestreo

7.2.1 Área de estudio

La Figura 1 muestra una vista satelital del área de estudio localizada en Playa Azul, ubicada en la cercanía Villa Cuauhtémoc, Centla en el estado de Tabasco (México). La imagen permite identificar la línea de la costa, la zona intermareal y el acceso. Las coordenadas del sitio son (UTM) WGS84, zona 15, Q: 505340.53 m, E; 2038274.45 m N.



Figura. 1 Fotografía tomada de Google Earth. Coordenadas: 505340.53 m E, 2038274.45 m N

7.2.2 Descripción del área

Playa Azul, ubicada en el municipio de Centla, Tabasco, durante las semanas de muestreo se registraron temperaturas promedio de 29 °C, con un pronóstico de

incremento hasta los 31 °C. Los vientos predominantes provienen del este, con velocidades que oscilan entre 10 y 15 km/h, alcanzando hasta 18 km/h durante las horas de mayor temperatura. La humedad relativa varía entre el 50 % y el 70 % a lo largo del día, incrementándose hasta un 85 % durante la noche (CONAGUA, 2025).

Playa Azul, localizada en las proximidades del poblado de Cuauhtémoc, en el municipio de Centla, Tabasco, es un destino costero de fácil acceso por vía terrestre desde diversas localidades cercanas. La playa se sitúa a aproximadamente 5 kilómetros de Cuauhtémoc, lo que facilita un traslado ágil tanto en vehículo particular como en transporte público. La principal vía de acceso es una carretera de pavimento y el transporte principal y accesible es el coloquialmente conocido pochimóviles (INEGI, 2024).

7.2.3 Delimitación del área de muestreo

Para la recolección de muestras en Playa Azul, Centla se siguieron los lineamientos de CEGESTI (2022). se estableció un transecto de 100 metros de longitud a lo largo de la playa, tomando como referencia el límite superior de la marea alta, tal como se observa en la Figura. 2. Este transecto de 100 metros se subdividió en cinco segmentos de igual extensión, distribuidos a intervalos de 20 metros entre cada uno, siendo seleccionando las zonas 1, 3 y 5 para la toma de muestras.



Figura. 2 Foto con dron del área de muestreo, Coordenadas: 505340.53 m E, 2038274.45 m

7.2.4 Selección de puntos de muestreo

De las cinco zonas delimitadas, se descartó las zonas 2 y 4. En las zonas 1, 3 y 5 se recolectó un total de cinco muestras como se aprecia en la Figura 3. Se seleccionaron cinco puntos de muestreo para garantizar una adecuada representatividad espacial de las zonas accesibles y con mayor influencia antrópica, manteniendo la viabilidad operativa y la consistencia metodológica del estudio.



Figura. 3 Foto con dron de los puntos de muestreo, Coordenadas: 505340.53 m E, 2038274.45 m

7.2.5 Recolección de microplásticos

La recolección de la muestra se realizó utilizando un cuadrante de madera con medidas de 0.5 m de largo x 0.5 m de ancho, de esta zona se extrajo un volumen de arena correspondiente a una profundidad de un centímetro, el cual fue colocado directamente sobre la superficie de la arena (CEGESTI, 2022). Una vez posicionado, se enterró cuidadosamente hasta una profundidad de un centímetro, procurando no mezclar el material del interior con el del exterior del cuadrante. Posteriormente, se extrajo la capa de arena interna utilizando una espátula, respetando la marca de profundidad establecida. La muestra recolectada fue colocada en una bolsa, debidamente etiquetada, para su posterior procesamiento.

Posteriormente, utilizando nuestro equipo de protección (guantes), la muestra fue pesada en una báscula, en caso de encontrarse húmeda, se procedió a su extendido y secado al sol durante aproximadamente cinco horas. Durante este periodo, cada dos horas se homogenizó con el fin de asegurar un secado uniforme. Una vez completado el secado, se realizó el tamizado de la muestra. En los casos donde la muestra se encuentra seca desde su recolección, se tamizó directamente sin requerir secado previo.

Para el tamizado se emplearon cuatro tamices (Figura 4) normalizados conforme a la escala ASTM E11 (Standard Test Sieve Series), con diámetros de aberturas de 4.76 mm (N° 4), 2.00 mm (N° 10), 1.00 mm (N° 18) y 0.84 mm (N° 20) por lo que la detección se enfocó en el intervalo aproximado de 0.84–5 mm. (Ilustración 4), respectivamente. Los microplásticos retenidos en cada tamiz fueron recolectados y almacenados en bolsas rotuladas. Durante este proceso, se descartó la materia orgánica



Figura. 4 Tamices de mayor apertura al de menor apertura

visible.

7.3 Evaluación de la concentración, distribución espacial e identificación de polímeros de microplásticos

7.3.1 Técnicas de identificación y cuantificación

7.3.1.1 Eliminación de falsos positivos

Las muestras recolectadas fueron sometidas a un proceso de digestión química mediante peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 35% (Figura 5) con el objetivo de eliminar la mayor parte de la materia orgánica. Para ello, a las muestras de microplásticos en una caja Petri, se le agregaron 50 mL de H_2O_2 al 35%.

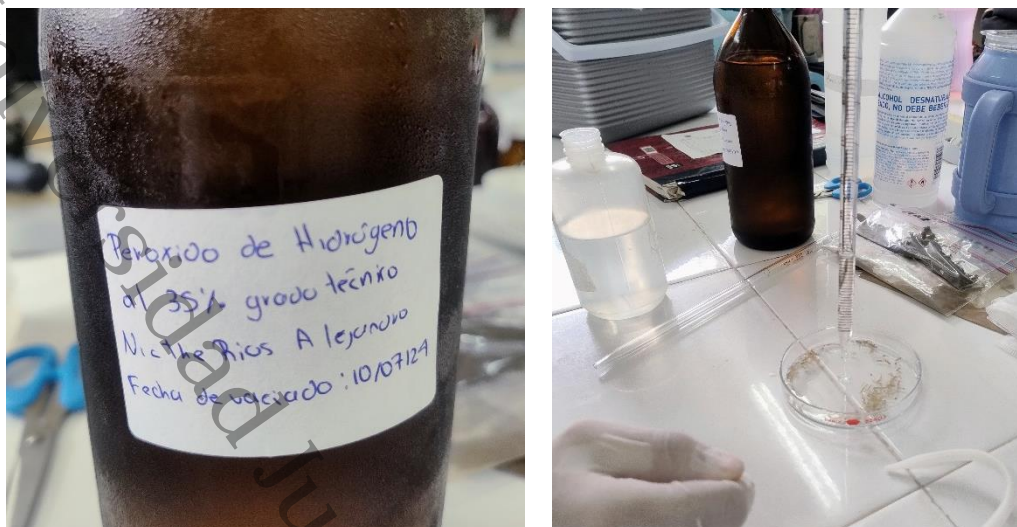


Figura. 5 Preparación de las muestras con peróxido de hidrógeno

La mezcla fue incubada en una incubadora a 40 °C durante un periodo de 24 a 48 horas. Este procedimiento facilitó la oxidación de la materia orgánica, permitiendo conservar únicamente los residuos inorgánicos, incluidos los microplásticos.

Finalizada la digestión, las muestras fueron enjuagadas abundantemente con agua destilada para eliminar los residuos del H_2O_2 . Posteriormente, se aplicó 3 gotas de ácido clorhídrico (HCl) 0.5 N con el fin de eliminar materiales calcáreos restantes, identificando visualmente la reacción burbujeante característica de estos compuestos. Una vez completado este paso, el material fue nuevamente enjuagado con agua destilada para eliminar cualquier residuo de la solución ácida.

Finalmente, las muestras fueron colocadas en una estufa a 60 °C para evaporar el exceso de agua utilizada durante los enjuagues, dejando únicamente el material sólido limpio y seco, listo para su posterior análisis.

Con el fin de evitar la contaminación cruzada entre muestras, cada una fue manipulada de manera individual durante todas las etapas del análisis. El material de laboratorio (espátulas, pinzas, cajas Petri y tamices) fue limpiado con agua destilada, antes y después de procesar cada muestra las muestras fueron almacenadas en bolsas y recipientes previamente rotulados, evitando su contacto directo.

7.3.1.2 Microscopía

Previo al análisis, el microscopio estereoscópico fue verificado mediante el ajuste de enfoque, iluminación y la comparación de la escala de medición con una regla

micrométrica de referencia. Este procedimiento permitió asegurar la correcta observación y medición de las partículas identificadas como microplásticos.

Las muestras fueron analizadas utilizando un microscopio estereoscópico industrial Velab VE-153G, equipado con pantalla LCD (figura 6). Con el uso de pinzas de punta ultrafina, los microplásticos fueron separados individualmente, lo que permitió al equipo realizar su medición y posterior identificación. Cada partícula fue registrada de forma precisa para su análisis y clasificación.

Durante el procesamiento de las muestras se implementaron medidas para minimizar la contaminación por fibras suspendidas en el aire. El análisis se realizó en un área cerrada del laboratorio, evitando corrientes de aire. Las muestras se mantuvieron cubiertas con tapas de las cajas Petri cuando no estaban siendo manipuladas, y el personal utilizó bata de algodón y guantes de nitrilo para reducir la liberación de fibras sintéticas durante el procedimiento.



Figura. 6 Fotografía del equipo Velab VE-153G, equipado con pantalla LCD, utilizado con los microplásticos

7.3.1.3 Infrarrojo

Para la identificación química y garantizar la calidad de los datos, se duplicó el 10 % de las muestras analizadas y se incluyeron blancos de los microplásticos, se utilizó espectroscopía infrarroja (FTIR), empleando un espectrómetro Perkin Elmer Frontier FT-IR / FIR Spectrometer | UATR con software especializado para el análisis de espectros (Figura 7), donde los espectros infrarrojos se adquirieron en un rango espectral de 4000 a 650 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} y un promedio de 3 escaneos por muestra y aplicando presión controlada para asegurar un adecuado contacto óptico.. Esta técnica permitió comparar los resultados obtenidos con una biblioteca de estructuras poliméricas y determinar con precisión los polímeros presentes. Las muestras fueron manipuladas sobre papel con fibra de seguridad para evitar contaminación externa y posteriormente se limpió con acetona, con el fin de

eliminar posibles residuos. El análisis se aplicó a grupos de seis microplásticos, lo que permitió obtener resultados consistentes y representativos. A partir de los espectros generados en el software PerkinElmer Spectrum, se identificaron los principales materiales poliméricos que conforman los microplásticos presentes en Playa Azul.



Figura. 7 Fotografía del equipo espectrómetro Perkin Elmer Frontier FT-IR / FIR Spectrometer. Usado para los microplásticos

7.3.1.4 Clasificación y cuantificación de microplásticos

Para clasificar los microplásticos obtenidos, se tomó como referencia la nomenclatura propuesta por Purca & Henostroza (2017), con el fin de identificar y categorizar de manera clara los tipos de microplásticos encontrados, tal como se muestra en la Figura. 8 a continuación:



Figura. 8 Clasificación de microplásticos por morfología propuesta por Purca & Henostroza (2017). Creación propia

7.3.1.5 Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron registrados y organizados en Microsoft Excel, con el propósito de cuantificar la abundancia de microplásticos en cada sitio de muestreo. Posteriormente, se generaron gráficos que muestran la relación entre el promedio de visitantes y la cantidad de residuos sólidos recolectados. Esta información se integró en SigmaPlot, donde se aplicaron análisis estadísticos y se elaboraron representaciones gráficas para visualizar las tendencias en el incremento o disminución de los residuos y microplásticos. De esta manera, se obtuvo el porcentaje de cada morfología identificada, así como su correspondiente estadística descriptiva.

Además, se elaboraron gráficas de abundancia de microplásticos por transecto, con el propósito de identificar patrones de distribución espacial y determinar las zonas críticas de acumulación.

7.4 Cálculo de concentraciones

7.4.1 Cálculo de volumen de cada muestra de arena

Se midió la masa (en kilogramos) de arena recolectada en un área correspondiente a un cuadrante de $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$, lo que representa una superficie de 0.25 m^2 . La profundidad de muestreo fue de 0.01 m . Con estos datos fue posible estimar el volumen aproximado de cada muestra, lo que permitió relacionar la cantidad de microplásticos encontrados con el volumen de arena analizado.

$$0.0025 \text{ m}^3 = 0.25 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Considerando una densidad promedio de $2,650 \text{ kg/m}^3$ para la arena sílica, fue posible estimar la masa aproximada (en kilogramos) de arena contenida en un volumen de 0.0025 m^3 , correspondiente al área y profundidad del cuadrante de muestreo.

$$0.0025 \text{ m}^3 * 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6.625 \text{ kg por cada sitio de la toma de muestra}$$

Aunque de manera teórica se recomienda recolectar muestras de hasta 6.625 kg para garantizar la representatividad de los análisis, en este estudio se emplearon bolsas con una capacidad de 2 kg , con el fin de facilitar el traslado y el manejo en laboratorio. De esta forma, las muestras fueron recolectadas en proporciones de entre 1 y 2 kg , cantidad

que permite estimar la cantidad de microplásticos por kilogramo (MP/kg) sin comprometer la validez de los resultados, ya que los procesos de homogenización y análisis aseguraron su confiabilidad científica.

7.4.2 Concentración de Microplásticos (MP/kg)

Con base en los 1.5 kilogramos promedio de arena recolectados por muestra, y considerando la cantidad de microplásticos identificados en cada una, se calculó la concentración de microplásticos por kilogramo de arena (MP/kg). Este valor permitió estandarizar los resultados y facilitar su comparación entre muestras y sectores analizados.

$$\frac{\text{Microplásticos}}{1.5\text{kg de arena}} = \frac{\text{número de microplásticos por muestra}}{\text{peso de muestra}}$$

7.5 Cálculo Estadístico

Para evaluar si la composición de los microplásticos (MP) recuperados en arena varió entre dos periodos de muestreo (Semana 1 y Semana 2), se realizó un análisis comparativo por tipo morfológico de MP. Debido a que los datos consisten en frecuencias absolutas agrupadas por categorías, se utilizó una prueba Chi-cuadrada (χ^2) de independencia, apropiada para contrastar asociaciones entre dos variables categóricas.

Los microplásticos se clasificaron en seis categorías: espuma, fragmento, películas, fibras, otros y carbón. Posteriormente, se construyó una tabla de contingencia de dimensión 6x2, donde las filas representaron el tipo de MP y las columnas la semana de muestreo

Se contrastaron las siguientes hipótesis:

- H_0: el tipo de MP es independiente de la semana de muestreo (misma distribución relativa).
- H_1: el tipo de MP depende de la semana de muestreo (distribución diferente).

Las frecuencias esperadas se calcularon mediante:

$$E_{ij} = \frac{(\text{Total fila}_i)(\text{Total columna}_j)}{N}$$

La estadística de prueba se obtuvo como:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

donde O_{ij} corresponde a las frecuencias observadas y E_{ij} a las esperadas bajo independencia. El número de grados de libertad se calculó como:

$$df = (r - 1)(c - 1)$$

siendo $r = 6$ y $c = 2$, por lo que:

$$df = (6 - 1)(2 - 1) = 5$$

Además, para estimar la magnitud del efecto, se calculó Cramér's V:

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(k - 1)}}$$

donde $k = \min(r, c) = 2$. Finalmente, se analizaron los residuos estandarizados ajustados, con el fin de identificar las categorías con mayor contribución al patrón observado entre semanas.

7.6 Evaluación de la calidad ambiental de Playa Azul en función de la presencia y concentración de microplásticos en las muestras de arena

El MPPI corresponde al Índice de Presión por Microplásticos (Microplastic Pollution Index). Este índice permite evaluar el nivel de contaminación a partir de la relación de microplásticos presentes en el área de estudio. Para ello, se calcularon las concentraciones de microplásticos por unidad de superficie mediante la siguiente fórmula:

$$MPPI = \frac{\sum_{i=1}^n MP_i}{A_T}$$

MPs corresponde al número de microplásticos por kilogramo de arena y por metro cuadrado (MP/kg·m²), determinado a partir de la relación entre la cantidad total de microplásticos identificados y el área total muestreada en los cuadrantes, donde n representa el número de cuadrantes muestreados y A_T el área total muestreada.

Haciendo uso de la Tabla 4, se interpretó el nivel de contaminación por microplásticos en la playa, tomando como referencia la calidad ambiental en función de la abundancia registrada propuesta por Rangel-Buitrago et al. (2021). Esta herramienta permitió clasificar el área de estudio según el grado de presencia de microplásticos y determinar si existe un nivel bajo, moderado o alto de contaminación.

Tabla 4 Clasificación del Índice de Presión por Microplásticos (MPPI) según niveles de abundancia en playas
Adaptada de "Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches" por Rangel-Buitrago et al. (2021).

MPPI	TIPO	Descripción
0 a 2	Abundancia muy baja	No se observan microplásticos
2 a 5	Abundancia baja	Existen algunos microplásticos
5 a 15	Abundancia moderada	Se aprecian un número considerable de microplásticos
15 a 25	Abundancia alta	Existen muchos microplásticos
>25	Abundancia muy alta	Es extrema la cantidad de microplásticos

7.6.1 Abundancia por morfología

El CMPI corresponde al Índice de Contaminación por Microplásticos (Composite Microplastic Pollution Index), el cual se emplea para evaluar de manera integral el nivel de contaminación por microplásticos en un área de estudio. Por ello, se utilizó para determinar qué tipos de microplásticos presentan mayor abundancia de acuerdo con su morfología, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$CMPI = \frac{\text{número de una morfología}}{\text{total de MP}}$$

Respecto al resultado se interpretó con los resultados con la Tabla. 5, y darle su respectivo tipo.

Tabla 5 Clasificación del Índice de Contaminación por Microplásticos (CMPI) según niveles de severidad
Adaptada de "Impact of microplastic pollution on coastal ecosystems using comprehensive beach quality indices"
por Pervez et al. (2023)

CMPI	TIPO
0.0001 – 0.1	Mínimo
0.11 – 0.5	Promedio
0.51 – 0.8	Máximo
0.81 - 1	Extremo

7.7 Desarrollo del plan de manejo

Con base en los datos obtenidos y sobre la cantidad de microplásticos presentes en cada muestra, se determinó la magnitud de la contaminación por este tipo de residuos. A partir de este análisis, se propuso un plan de manejo integral orientado a prevenir la acumulación de macroresiduos, con el objetivo de evitar la generación de microplásticos secundarios. De este modo, se contribuye a la reducción tanto de microplásticos como de residuos sólidos en general en el área de estudio se fundamenta en los principios establecidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003, reformada 2021), que promueve la prevención, valorización y disposición adecuada de los residuos.

8 Resultados

8.1 Generación per cápita de residuos en la playa

8.1.1 Limpieza de playa

Antes de determinar la generación per cápita de residuos durante las dos semanas de muestreo (temporada baja y temporada alta), se efectuó una limpieza previa de la playa un día antes de iniciar cada periodo de monitoreo (Figura 9). Como resultado de estas jornadas de saneamiento inicial, se recolectaron 68.78 kg de residuos en la semana correspondiente a la temporada baja y 76.46 kg en la semana de temporada alta.



Figura. 9 Fotografías de la limpieza del área de estudio previo al muestreo

8.1.2 Determinación de la generación per cápita

Durante la primera semana de muestreo, realizada en temporada baja, se cuantificó la generación diaria de residuos sólidos en Playa Azul. El cálculo se efectuó a partir del número de visitantes registrados y del peso total de los residuos recolectados en cada jornada.

Para ambos muestreos, la recolección se realizó a las 18:00 horas, momento en el que la mayoría de los visitantes se retiran de la playa. Esta decisión permitió obtener una estimación más precisa de los residuos generados a lo largo de todo el día.

La Tabla 6 presenta la comparación de los pesos semanales de los principales tipos de residuos plásticos registrados durante dos periodos de muestreo caracterizados por distinta afluencia de visitantes. En el primer muestreo, correspondiente a un periodo de baja afluencia, los valores de peso fueron relativamente homogéneos entre los distintos tipos de plástico, con registros que oscilaron entre 0.12 y 0.16 kg/semana, lo que sugiere una generación moderada y distribuida de residuos.

En contraste, durante el segundo muestreo, asociado a una alta afluencia, se observó un incremento significativo en el peso de todos los tipos de residuos plásticos. Destacó particularmente el PET (botellas y envases), con 18.12 kg/semana, seguido del poliestireno/espuma (8.97 kg/semana) y el polipropileno (7.83 kg/semana). Este patrón refleja un mayor consumo de bebidas y alimentos, así como el uso de envases desechables durante periodos de mayor actividad turística. Las diferencias observadas entre ambos muestreos evidencian la influencia directa de la afluencia de visitantes en la generación y acumulación de residuos plásticos, subrayando la necesidad de fortalecer las estrategias de manejo y prevención durante temporadas de alta demanda recreativa.

Tabla 6 Comparación del peso total de los principales residuos plásticos recolectados durante ambos periodos de muestreo

Tipo de residuos plástico	Primera muestreo - baja afluencia (kg/semana)	segundo muestreo - alta afluencia (kg/semana)
PET (botellas y envases)	0.16	18.12
Polietileno (bolsas, films)	0.14	3.12
Polipropileno (envases, tapas)	0.16	7.83
Poliestireno / Espuma	0.12	8.97
Plástico rígido	0.14	3.3
Total	0.72	41.34

Los resultados obtenidos (Tabla 7) muestran que la generación diaria de plásticos presentó una variación considerable entre los días evaluados, con valores que oscilaron entre 0.04 y 0.820 kg/día. El promedio general fue de 0.413 kg/día, lo que refleja un acumulado semanal de 2.89 kg. El número de personas registradas por día fluctuó entre 3 y 200, con un promedio de 44 personas/día y un total semanal de 309 personas. La generación per cápita osciló entre 0.0010 y 0.2733 kg/persona/día, con un promedio de 0.0848 kg/persona/día y un máximo de 0.5934 kg/persona/día.

Tabla 7 Resultados de la primera semana de recolección (temporada de baja afluencia)

Días	Generación de plástico (kg/día)	Visitantes (Persona/día)	Generación per cápita de plástico (kg/visitante/día)
Día 1	0.490	200	0.0025
Día 2	0.540	9	0.0600
Día 3	0.170	25	0.0068
Día 4	0.090	29	0.0031
Día 5	0.740	3	0.2467
Día 6	0.820	3	0.2733
Día 7	0.040	40	0.0010
Promedio	0.413 ± 0.315	44.14 ± 70.14	0.0848 ± 0.1217
Totales	2.89	309	

En la segunda semana de muestreo (Tabla 7), correspondiente a temporada alta, la generación diaria de plástico fluctuó entre 2.12 y 20.64 kg/día, con un promedio de 9.77 kg/día y un acumulado semanal de 68.40 kg. La afluencia de visitantes sumó 1035 personas en la semana, con un mínimo diario de 21 y un máximo de 330 personas/día. En términos de generación per cápita, los valores oscilaron entre 0.048 y 0.132 kg/visitante/día, con un promedio de 0.083 kg/visitante/día. Estos resultados evidencian que el incremento de la afluencia turística en temporada alta se asocia con mayores cargas de residuos en Playa Azul, intensificando la presión ambiental durante los periodos de alta actividad.

Tabla 8 Resultados de la segunda semana de recolección (temporada de alta afluencia)

Días	Generación de plástico (kg/día)	Visitantes (Persona/día)	Generación per cápita de plástico (kg/visitante/día)
Día 1	2.12	21	0.101
Día 2	3.16	24	0.132
Día 3	2.9	30	0.097
Día 4	4.22	88	0.048
Día 5	20.64	218	0.095
Día 6	18.38	324	0.057
Día 7	16.98	330	0.051
Promedio	9.77 ± 8.41	147.8 ± 140.3	0.083 ± 0.031
Totales	68.40	1035	

Cabe señalar que en la playa se instalan puestos de venta de bebidas alcohólicas, los cuales generan una proporción significativa de los residuos sólidos observados. Estos comerciantes contrataron a personas de la comunidad local para realizar labores de limpieza matutina, principalmente en las áreas adyacentes a la zona de muestreo. Sin embargo, dichas actividades resultaron insuficientes, ya que consistían únicamente en recolectar los residuos y depositarlos en bolsas de plástico al inicio de la carretera, donde posteriormente pasaba un vehículo a recogerlos. Durante el periodo de muestreo se documentaron al menos dos ocasiones en las que el transporte recolector no pasó en el horario previsto, lo que permitió que perros callejeros rompieran las bolsas y dispersaran nuevamente los residuos cerca de la playa. Esta situación evidenció que las acciones implementadas no garantizaban un manejo adecuado de los residuos, ya que únicamente se retiraba la fracción contenida en las bolsas, permaneciendo otros desechos en el entorno costero.

8.2 Análisis de morfologías

En la caracterización morfológica de las partículas recolectadas (Figura 10), se identificaron principalmente seis tipos: espuma (a), fragmentos (b), fibras (d) y películas (f), así como partículas de carbón (e) y una categoría denominada “otros” (c), que incluye materiales cuyo deterioro impidió su reconocimiento, así como posibles fragmentos metálicos (por ejemplo, aluminio) o restos de cartón.

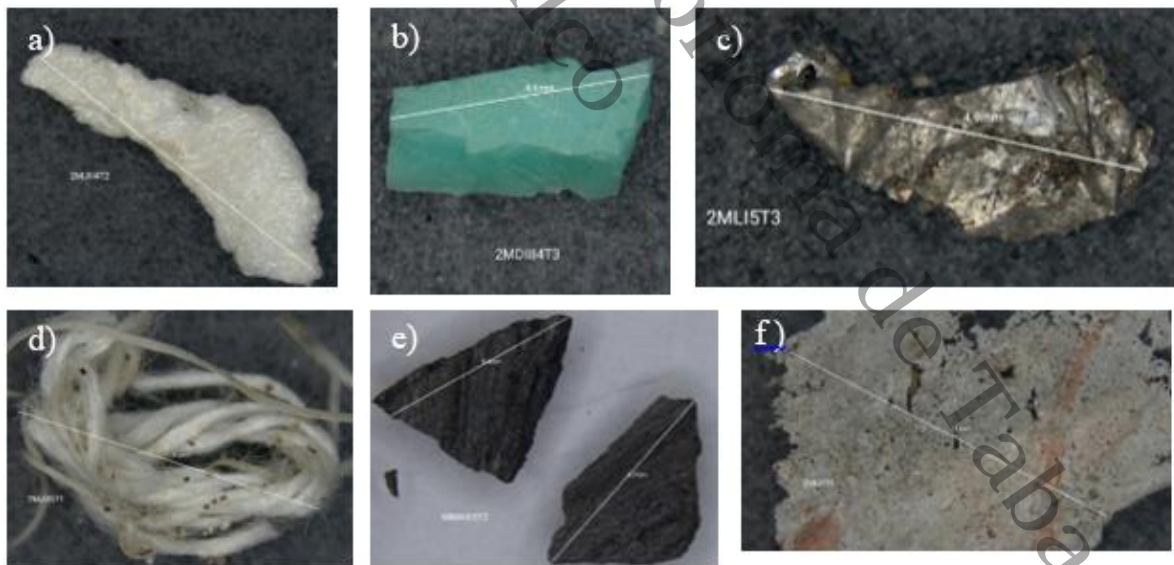


Figura. 10 (a) espuma, (b) fragmento, (c) otro (aluminio), (d) fibras, (e) carbón, (f) película

El análisis comparativo de las morfologías entre transectos y semanas de muestreo (Figura 11) mostró patrones diferenciados. El transecto 1 (A) presentó la menor abundancia de microplásticos en ambas temporadas, lo cual puede atribuirse a su ubicación contigua a

cabañas en renta, donde se observa un mayor control y limpieza del área. En el transecto 3 (B) se registró la mayor concentración de microplásticos para ambas semanas. Durante la segunda semana (temporada alta), predominaron las fibras, seguidas del carbón; mientras que en la primera semana (temporada baja), destacaron principalmente las partículas de espuma, seguidas de los fragmentos. En el transecto 5 (C), la segunda semana mostró un predominio de partículas de carbón, así como de espuma y fragmentos. En contraste, durante la primera semana, los fragmentos fueron la morfología más abundante, seguidos por la espuma.

Estos patrones sugieren una influencia combinada de la actividad turística, la intensidad del uso recreativo de cada zona y las prácticas particulares de limpieza. En áreas con cabañas o palapas se prioriza generalmente el mantenimiento de la infraestructura; sin embargo, ello no garantiza una limpieza sistemática de la playa, lo que podría explicar las variaciones observadas en la distribución y tipo de microplásticos entre transectos y temporadas.

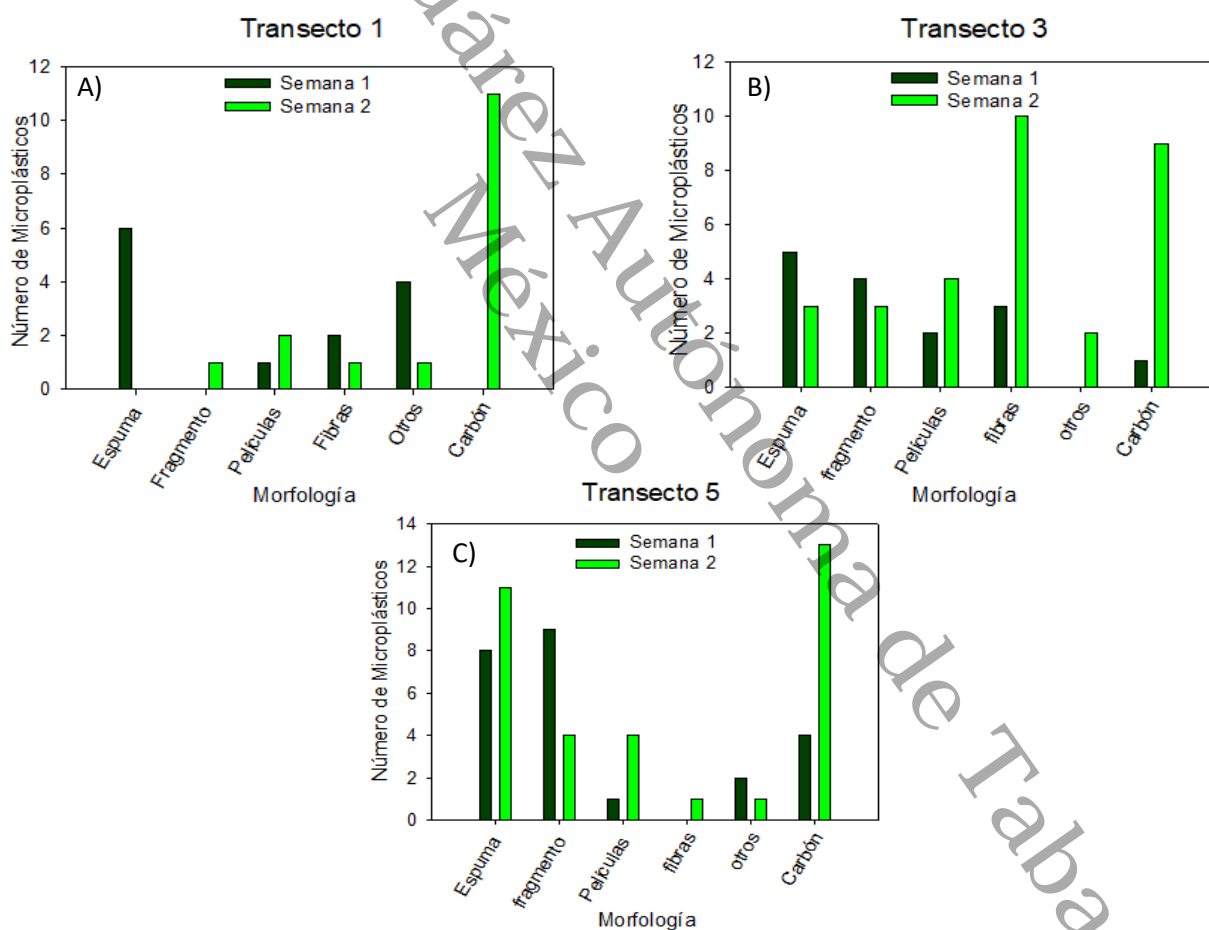


Figura. 11 Gráficas de morfologías encontradas por transectos: (A) transecto 1, (B) transecto 2, (C) transecto 3

La Figura 12 presenta los resultados integrados de ambas semanas, agrupados por morfología. En la temporada alta se observa un incremento notable en las partículas de carbón y en las fibras, así como un aumento moderado en la categoría de películas. En

contraste, durante la temporada baja predominaron las partículas de espuma y los fragmentos, mientras que la categoría “otros” mostró una disminución en la semana de mayor afluencia.

Este comportamiento sugiere, de manera preliminar, una mayor presencia de actividades asociadas a procesos de combustión como fogatas, parrillas o el tránsito de vehículos durante la temporada alta, lo que podría explicar el incremento observado en partículas de carbón y fibras. Sin embargo, esta interpretación debe tomarse con cautela y contrastarse con información complementaria, como los registros de uso recreativo del sitio, la intensidad de las actividades turísticas y las condiciones meteorológicas prevalecientes.

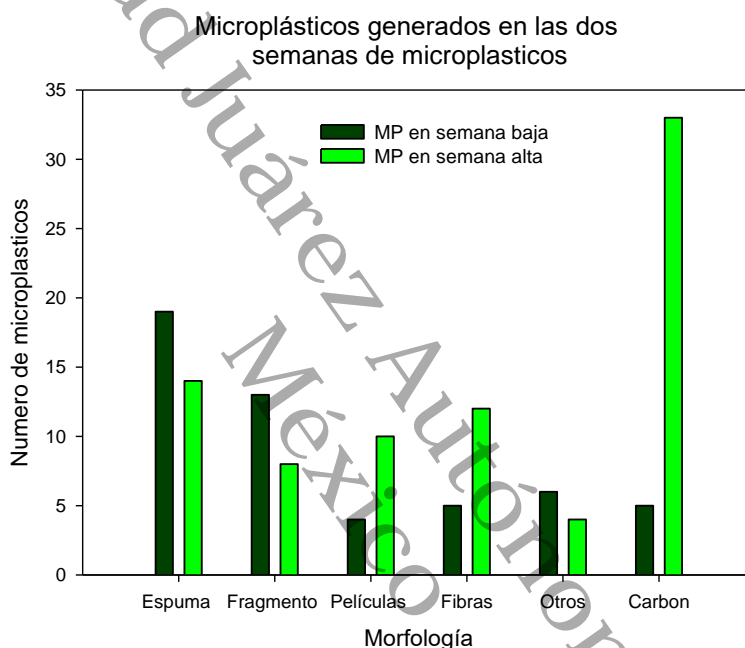


Figura. 12 Microplásticos totales encontrados en las dos temporadas de muestreo

8.3 Cálculo de microplásticos por kilogramo de arena

Durante la semana de baja afluencia se estimó un promedio de 1.5904 microplásticos por kilogramo de arena ($\text{MP}\cdot\text{kg}^{-1}$), mientras que en la semana de alta afluencia este valor aumentó a 1.7324 $\text{MP}\cdot\text{kg}^{-1}$. La diferencia absoluta entre ambos periodos ($0.1420 \text{ MP}\cdot\text{kg}^{-1}$), equivalente a un incremento aproximado del 8.9 %, sugiere que la mayor presencia diaria de visitantes podría estar asociada a un ligero aumento en la deposición o en la remoción superficial de partículas sobre la playa.

Este comportamiento es congruente con una mayor presión turística, en la cual las actividades recreativas y el incremento del tránsito favorecen la movilización de residuos y su fragmentación. Sin embargo, esta interpretación debe considerarse con cautela, ya

que factores como las jornadas de limpieza, el régimen de vientos o el oleaje pueden modificar la concentración registrada en la superficie.

8.4 Resultados estadísticos

Se observó un incremento en el total de microplásticos entre semanas, pasando de 52 MP en Semana 1 a 81 MP en Semana 2. La distribución por tipo fue la siguiente:

- Semana 1: predominó espuma (19) y fragmento (13)
- Semana 2: predominó carbón (33), seguido de fibras (12) y películas (10)

De manera porcentual, el tipo carbón aumentó de 9.62% (Semana 1) a 40.74% (Semana 2), representando el cambio más notable en la composición.

8.4.1 Prueba chi-cuadrada de independencia.

La prueba χ^2 mostró diferencias estadísticamente significativas en la composición por tipo de MP entre semanas:

$$\chi^2(5) = 23.214, p = 0.000307$$

Por lo tanto, se rechazó la hipótesis nula de independencia, confirmando que la distribución del tipo de MP varió significativamente entre ambas semanas

8.4.2 Tamaño del efecto

El tamaño del efecto, estimado mediante Cramér's V, indicó una asociación de magnitud moderada:

$$V = 0.418$$

8.4.3 Categorías con mayor contribución al cambio

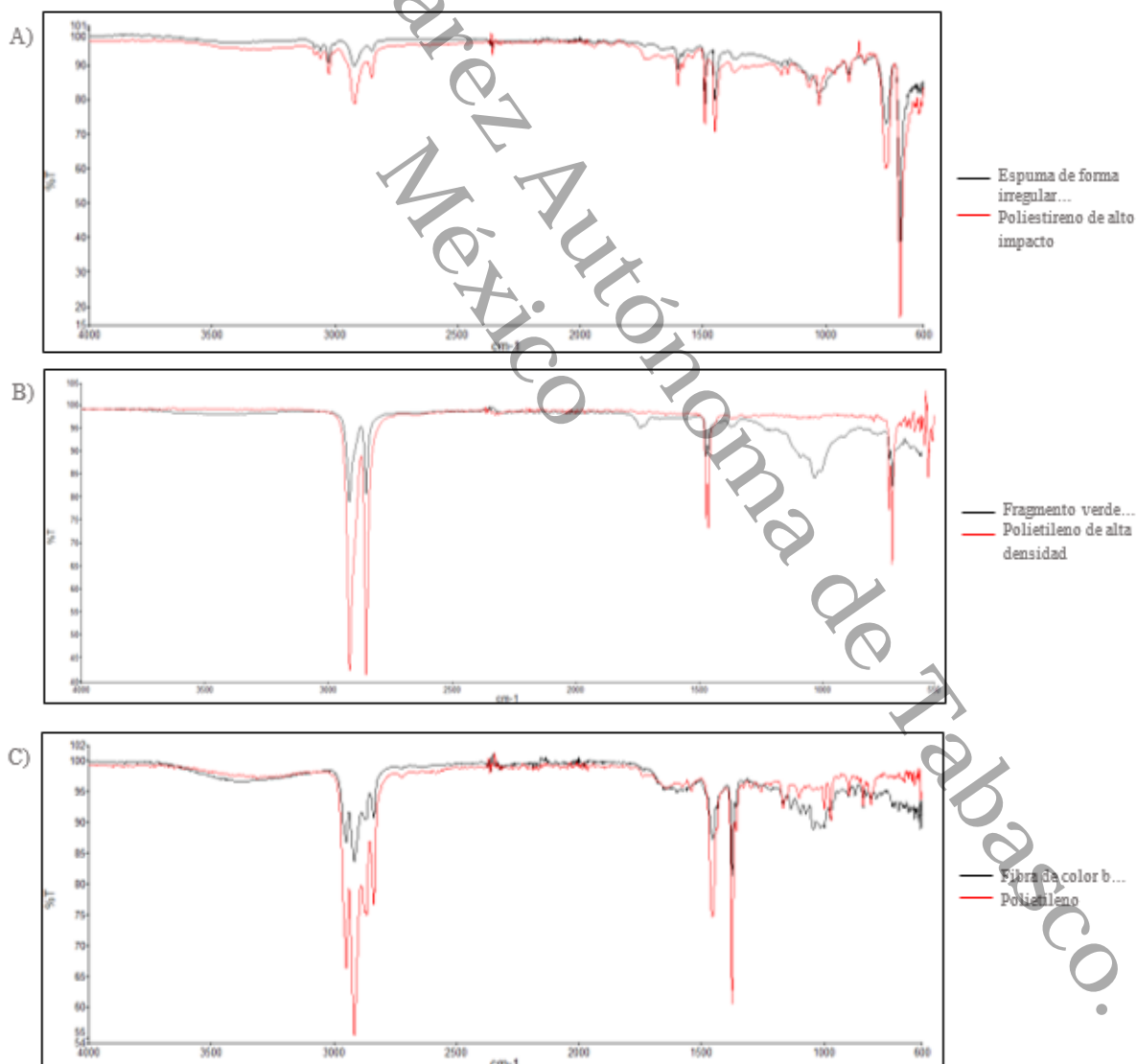
El análisis de contribuciones al estadístico χ^2 indicó que el cambio estuvo dominado principalmente por la categoría carbón, la cual aportó aproximadamente 46.3% del χ^2 total, seguida por espuma (20.4%) y fragmento (19.8%).

Los residuos estandarizados ajustados mostraron valores elevados para carbón (± 3.877), lo que sugiere que esta categoría se encontró subrepresentada en Semana 1 y sobrerrepresentada en Semana 2, confirmando que fue el principal componente responsable de la diferencia entre semanas.

8.5 Resultados de PTIR

Los resultados obtenidos mediante el análisis por espectroscopía infrarroja (Figura 13) indican que la mayor parte de las muestras correspondió a espumas constituidas por poliestireno de alto impacto (PS-HI), con niveles de similitud del 95 % al 98 % respecto a los espectros de referencia de la biblioteca del equipo. Asimismo, se identificaron fragmentos con coincidencias del 90 % al 95 % con polietileno de alta densidad (PEAD), lo que evidencia una alta correspondencia con materiales utilizados habitualmente en envases y productos plásticos rígidos.

En el caso de las fibras, el análisis mostró porcentajes de similitud del 90 % al 92 % con polietileno (PE), lo cual sugiere una posible procedencia de textiles sintéticos, cordeles o componentes plásticos asociados a actividades recreativas. El resto de las partículas analizadas presentó valores de coincidencia inferiores, atribuibles al avanzado grado de deterioro, a la oxidación inducida por intemperismo o al reducido tamaño de los microplásticos, factores que dificultan la identificación precisa del polímero base.



8.6 Evaluación de la calidad de la playa

El Índice de Contaminación por Microplásticos (MPPI) se mantuvo entre 0 y 2 en ambas semanas, lo que corresponde a un nivel de contaminación muy baja, prácticamente imperceptible de forma visual. En cuanto a la composición por tipo (CMPI; Figura 14), durante la semana de baja afluencia predominaron la espuma (36 %), los fragmentos (25 %) y la categoría “otros” (11 %), todos clasificados en estado promedio, mientras que las películas, fibras y partículas de carbón permanecieron en estado mínimo.

Durante la semana de alta afluencia se observó un incremento en la espuma (41 %), así como un aumento significativo de carbón (17 %), fibras (15 %) y películas (12 %), todas en estado promedio. En contraste, los fragmentos y la categoría “otros” disminuyeron a estado mínimo.

En conjunto, los resultados confirman que la contaminación por microplásticos en la zona es generalmente baja según el MPPI; sin embargo, la composición (CMPI) muestra variaciones estacionales claras, evidenciando una mayor presencia de espuma y carbón durante los periodos de mayor afluencia turística. Este patrón sugiere que la intensificación de actividades recreativas y el incremento de visitantes pueden influir en la distribución y tipo de microplásticos presentes en la playa.

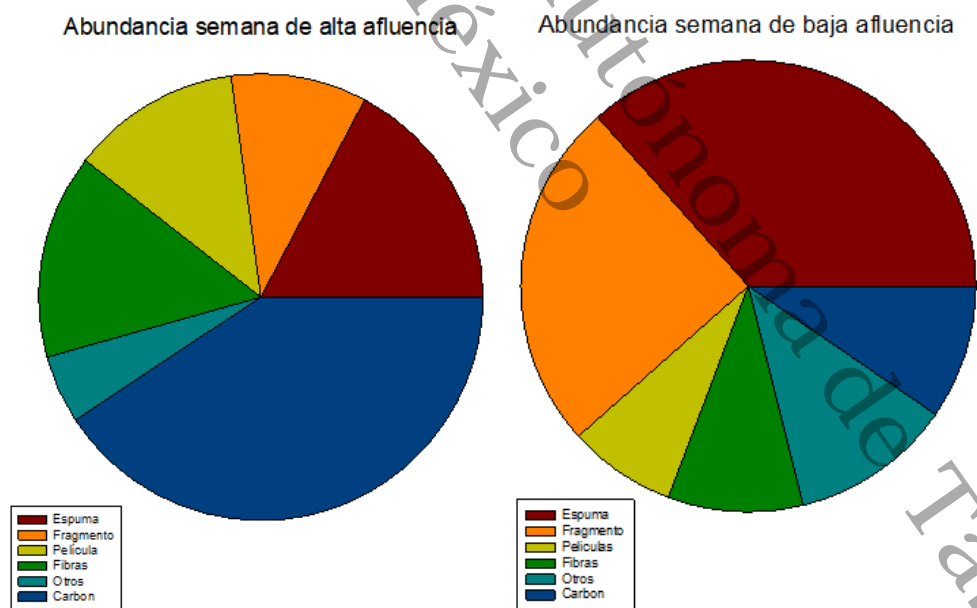


Figura. 14 Porcentajes de microplásticos encontrados en las áreas de muestreo

8.7 Plan de Manejo Integral de Residuos (PMIR)

Sitio: Playa Azul, Centla, Tabasco
Horizonte: 12 meses (con revisión semestral)

Fundamento: LGPGIR, DBGIR, reglamentos municipales; principios de responsabilidad compartida y manejo integral.

8.7.1 Objeto y alcance

Objeto: Minimizar la generación y maximizar la valorización de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) vinculados a la actividad turística, comercios y pesquería local, aplicando criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social.

Alcance: franja de playa (trayecto operativo de 100 m ampliable por módulos (CEGESTI, 2022)), accesos, zona de palapas/cabañas, desembocaduras y área de servicios.

8.7.2 Principios y marco de gestión

Prevención y no generación > Reducción > Reutilización > Reciclaje/Valorización > Tratamiento > Disposición final controlada.

Responsabilidad compartida:
Fabricantes/importadores/distribuidores/comerciantes/consumidores/grandes generadores más los tres niveles de gobierno.

Eficiencia integral: metas cuantificables, costo-efectividad, tecnologías apropiadas, inclusión social y transparencia.

8.7.3 Actores y roles

- Productores/Importadores/Distribuidores: sustitución de unícel y plásticos problemáticos, ecoetiquetado, logística inversa de envases/embalajes.
- Comerciantes/Servicios turísticos: separación en origen, retornables, puntos de acopio, bitácoras de residuos.
- Cooperativas pesqueras: acopio de redes/cabos, programa de canje de residuos por insumos.
- Consumidores/visitantes: cumplimiento de reglamento "Playa sin unícel", retorno de envases, uso de contenedores.
- Grandes generadores (restaurantes, eventos): planes específicos, metas trimestrales y auditorías.

- Gobierno municipal: contenedores, rutas y frecuencia; contratos y sanciones; compra pública verde.
- Gobierno estatal/federal: vigilancia (PROFEPA/SEMARNAT), apoyo a valorización y datos para DBGIR.
- Academia (UJAT/DACBIOL): monitoreo, reportes y educación ambiental.
- ONG/Comunidad: jornadas, adopción de tramos, vigilancia vecinal.

8.7.4 Línea base resumida

RSU dominantes: envases PET/PEAD, films, unigel; orgánicos de alimentos; vidrio en menor proporción.

RME: voluminosos eventuales (lonas, hieleras), redes/cabos, madera de palapas.

Puntos críticos: accesos, zona de venta de bebidas/comida, desembocaduras.

8.7.5 Objetivos, metas e indicadores

1. Minimización: -30% de generación total de RSU (kg/semana). Indicador: kg/semana; kg/visitante.
2. Valorización: $\geq 60\%$ de materiales reciclables recuperados (PET/PEAD/vidrio/latas). Indicador: % desviado del total.
3. Sustitución de unigel: 100% de comercios con retornables o compostables certificados. Indicador: % comercios conformes.
4. Residuos de origen marino macro: -40% de piezas por semana en barridos estandarizados. Indicador: # ítems/100 m.
5. Microplásticos (vinculación preventiva): mantener MPPI en rango bajo y reducir fracciones asociadas a combustión y fibras en temporada alta. Indicador: MPPI y % por morfología (campañas semestrales).
6. Cumplimiento de segregación en comercios: $\geq 90\%$ con 0 no conformidades mayores. Indicador: % cumplimiento por checklists.

8.7.6 Acciones, procedimientos y medios

8.7.6.1 *Prevención en la fuente*

Prohibición de unigel en playa; convenio sustitución con retornables y/o compostables certificados.

Envases retornables: vasos y termos con depósito reembolsable en eventos/negocios.

Compras verdes municipales: bolsas reutilizables, señalética duradera, contenedores reparables.

Pesca responsable: punto de acopio de redes/cabos y programa “Canje por insumos”.

Colillas: instaladores de colilleros en accesos y palapas; canalización a coprocesamiento.

8.7.6.2 *Separación, acopio y logística*

Islas de separación cada 80–100 m:

Orgánico | *Reciclables secos* (PET/PEAD/latas/vidrio) | *No reciclables* | *Unicel*

Puntos especiales:

RP: pilas (contenedor dieléctrico), lámparas/Tl fluorescente (contenedor cerrado), aceites (bidones con llave), aerosoles/solventes (armario ventilado).

RME: voluminosos y redes/cabos (jaula metálica).

Trazabilidad:

Pesaje por fracción, etiquetas, manifiestos (gestores) y tablero público mensual.

8.7.6.3 *Limpieza operativa (macro y meso basuras)*

Barridos: diario en temporada alta; 3 veces/semana en baja; posterior a eventos/tormentas.

Protocolos: priorizar retiro macro para evitar micro (no “peinar” arena fina fuera de parches).

8.7.6.4 *Educación y corresponsabilidad*

Reglamento del visitante (QR): “Playa sin unicel”, retornables, separación, colillas.

Capacitación 15 min por turno a personal de comercios y cooperativas (semanal en alta).

Adopta un tramo (escuelas/ONGs/negocios): metas con reconocimiento público.

Señalética conductual y contadores “antes/después” en redes municipales.

8.7.6.5 *Cumplimiento y control*

Cláusulas ambientales en permisos/comercio ambulante; sanciones e incentivos (Sello “Playa Circular”).

Auditorías bimestrales a comercios: separación, RP, aceite usado, unicel cero.

8.7.7 Gestión por corriente

Tabla 9 Tabla de las gestiones de corrientes propuesta

Corriente	Punto de generación	de	Contenedor / medio	Frecuencia	Destino / valorización
Orgánicos	Cocinas/puestos		Tapa hermética	Diario	Compostaje municipal o biodigestor local (si aplica)
PET / PEAD / Latas	Visitantes/comercios		Bolsa/jaula limpia	Diario	Centro de acopio municipal / reciclador
Vidrio	Bares/restaurantes		Caja amortiguada	2×/semana	Reciclador
Films/mixtos	Varios		Saco resistente	Diario	Selección + relleno sanitario controlado
Unicel (si aparece)	Varios		Saco dedicado	Diario	Compactación/reciclaje especializado o confinamiento
Redes/cabos (RME)	Cooperativas		Jaula metálica	Mensual	Reciclaje/artefactos locales (valorización)
Voluminosos (RME)	Eventos		Aviso previo	Eventual	Reúso/reciclaje/RS municipal
Pilas (RP)	Visitantes/negocios		Contenedor dieléctrico	Mensual	Gestor autorizado (manifiesto)
Aceites usados (RP)	Cocinas		Bidón con llave	Mensual	Biodiésel/gestor autorizado
Lámparas/AE (RP-e)	Negocios		Cont. cerrado	Trimestral	Gestor autorizado
Colillas (RP)	Visitantes		Colillero	Semanal	Coprocesamiento/reciclaje especializado

8.7.8 Monitoreo, indicadores y verificación

Operativos (mensual): kg por fracción; % valorización; ítems/100 m; comercios conformes; RP entregados (unid/L).

Ambientales (semestral): MPPI y CMPI por morfología; líneas de tendencia (alta vs. baja).

Sociales: voluntarios, tramos adoptados, satisfacción de usuarios.

Calidad de datos: bitácoras, pesajes certificados, fotos georreferenciadas.

8.7.9 Cronograma

Mes 0–1: socialización, convenios, capacitación, señalética, compra de contenedores.
Mes 2–3: instalación de islas, puntos RP-e, jaulas y cestos; arranque de rutas y bitácoras.
Mes 4–12: operación, auditorías, reportes, campañas; mejoras trimestrales.
Mes 6 y 12: evaluaciones (ambiental–operativa) y actualización de metas.

8.7.10 Conceptos para presupuesto y financiamiento

- Infraestructura: islas, colilleros, jaulas, cestos, señalética.
- Operación: personal, EPP, recolección, transporte, análisis.
- Monitoreo: cribas/tamiz, lupas/microscopio, consumibles; muestreos.
- Educación/comunicación: materiales, eventos, reconocimientos.
- Fuentes: municipio, aportes de comercios (cuota de servicio), patrocinios, convocatorias, valorización de materiales.

8.7.11 Gestión de riesgos

Lluvias/arrastres: protocolo post-evento 24–48 h.
Vandalismo/robo: anclaje de contenedores y jaulas, vigilancia vecinal.
Baja adhesión comercial: incentivos públicos + sanciones graduadas.
Mercado de reciclables volátiles: contratos marco y buffer logístico.

8.7.12 Transparencia y comunicación

Tablero público mensual (kg por fracción, % valorización, RP-e) en redes y acceso a playa.

Informe semestral y anual con datos operativos y ambientales; recomendaciones.

8.7.13 Mejora continua y cierre de ciclo

Taller anual con actores; actualización de metas; revisión tecnológica (p. ej., compactación de PET, acopios inteligentes); expansión modular del plan a tramos adyacentes.

9 Discusión

9.1 Generación per cápita en ambas temporadas

La evidencia obtenida en Playa Azul muestra un incremento importante de la carga total de plásticos durante la temporada alta (68.400 kg/semana; 9.770 kg/día) respecto a la temporada baja (2.890 kg/semana; 0.410 kg/día), patrón coherente con las temporadas impulsadas por el turismo documentado en playas altamente visitadas. Estudios en islas del Mediterráneo han reportado aumentos de hasta 4.7 veces en las tasas de acumulación durante periodos de alta afluencia, atribuyendo el fenómeno a la extensión del uso recreativo y a fallas en el manejo in situ (infraestructura y logística de limpieza) (Grelaud & Ziveri. 2020).

En términos per cápita, los promedios de ambas semanas fueron similares (0.084 vs. 0.083 kg/visitante/día), aunque con alta dispersión en temporada baja por denominadores pequeños (p. ej., días con tres visitantes que distorsionan el indicador). Ello sugiere que el comportamiento de los visitantes y la composición de actividades en playa generan una “huella plástica” relativamente estable por visitante, mientras que la carga total escala principalmente con el número de personas. Esta lectura coincide con análisis regionales que vinculan la abundancia de residuos en playas con la intensidad de uso y con la capacidad (o falta de ella) de los sistemas locales de gestión para contener las temporadas (Asensio et. al. 2019).

La observación de prácticas insuficientes de limpieza y recolección de bolsas acumuladas en la vía de acceso, retrasos del camión recolector y re-dispersión por los perros, apunta a puntos de fuga del sistema que facilitan el retorno de residuos al entorno costero. Estas brechas son consistentes con el marco global que vincula la entrada de plásticos al océano con pérdidas estructurales en la gestión de residuos, especialmente en zonas costeras con alta presión turística. Por tanto, los hallazgos locales se alinean con la literatura que identifica la gestión ineficaz (más que la generación intrínseca) como el determinante crítico de la fuga hacia ambientes marinos (Jambeck et. al. 2015).

9.2 Presencia de morfologías encontradas

La distribución morfológica evidenció el predominio de espuma, fragmentos, fibras y películas, con presencia adicional de carbón y una categoría “otros” está relacionada con las vías de aporte y los procesos de intemperismo descritos para ambientes costeros. La abundancia de espuma sugiere la entrada recurrente de empaques y contenedores de poliestireno expandido (EPS) asociados a expendios de alimentos y bebidas; su baja densidad y fragilidad favorecen la fragmentación y el varado en la franja supralitoral. Los fragmentos y películas resultan típicamente de la degradación mecánica y foto-oxidativa

de objetos más grandes (bolsas, envolturas), mientras que las fibras reflejan aportes indefinidos del uso recreativo (textiles) y de materiales de pesca, en correlación con lo reportado para playas con presión antrópica estacional. Estos patrones responden a la fragmentación progresiva y a la flotabilidad diferencial de polímeros en interacción con oleaje y viento, tal como plantea la literatura de referencia (Andrady, 2011; Browne et al., 2011; Hidalgo-Ruz et al., 2012).

Las diferencias espaciales entre transectos y temporadas entre semanas apuntan a la combinación de intensidad de uso, logística de limpieza y ordenación del sitio. El transecto 1 registró menor abundancia en ambas temporadas, lo que es consistente con prácticas de mantenimiento más frecuentes alrededor de cabañas/palapas; sin embargo, la persistencia de partículas confirma que el aseo en la infraestructura no garantiza la remoción sistemática del material desechado en la playa. El transecto 2 concentró la mayor carga, con transición de espuma/fragmentos (temporada baja) hacia fibras y carbón (temporada alta), patrón compatible con picos de actividad turística (mayor desprendimiento de fibras) y con fuegos, posiblemente por la quema de residuos como limpieza. En el transecto 3 la preeminencia de carbón y espuma en temporada alta, frente a fragmentos en temporada baja, sugiere un cambio en fuentes inmediatas (puestos temporales, fogatas, mayor consumo de desechables) y en la dinámica del estancamiento de residuos. En conjunto, los hallazgos refuerzan que la estacionalidad turística amplifica las entradas y redistribuye morfologías, mientras que la eficiencia operativa de la recolección determina el grado de acumulación visible (Andrady, 2011; Browne et al., 2011).

La caracterización por FTIR mostró coincidencias altas para poliestireno de alto impacto (PS-HI) en espumas (95–98 %), polietileno de alta densidad (PEAD) en fragmentos (90–95 %) y polietileno (PE) en fibras (90–92 %). Este perfil polimérico es consistente con las fuentes dominantes en ambientes recreativos costeros: recipientes y contenedores alimentarios en PS/espuma, envases rígidos y tapas en PEAD, y cordelería/lineajes plásticos en PE. La distribución observada concuerda con la literatura que documenta la prevalencia de polímeros olefínicos y de PS en playas debido a su amplia utilización y a su persistencia bajo intemperismo superficial. Además, la señal de espuma sugiere aportes directos de desechables de comida, mientras que la de fibras es congruente con el uso recreativo y actividades marinas (Andrady, 2011).

Los espectros con coincidencias reducidas se explican por procesos de foto-oxidación y abrasión que introducen bandas (p. ej., carbonilos) y disminuyen la relación señal-ruido en partículas pequeñas u oscurecidas, desviando los espectros respecto a las bibliotecas de referencia. Este efecto, ampliamente descrito para plásticos expuestos, puede conducir a sub-asignación de polímeros o a clasificaciones genéricas cuando la masa óptica es baja o existen cargas/pigmentos (Andrady, 2011; Song et al., 2015). En ese sentido, los porcentajes de similitud aquí reportados son razonables para matrices ambientales y respaldan la interpretación de que la fracción “otros” incluye polímeros muy degradados y/o mezclas aditivas.

La confiabilidad de la asignación se refuerza por el acoplamiento entre morfología y polímero (espumas→PS-HI; fragmentos rígidos→PEAD; fibras→PE), patrón también observado en evaluaciones comparativas de métodos de identificación, donde FTIR brinda un seguimiento para >300 μm y se complementa con μ-FTIR/Raman para partículas pequeñas y oscuras (Song et al., 2015). Adicionalmente, el uso de bibliotecas curadas y armonizadas reduce los falsos positivos y optimiza la productividad entre distintos laboratorios; la literatura recomienda, incluso, bibliotecas específicas para polímeros intemperizados y protocolos de pre-tratamiento espectral (Primpke et al., 2018). En suma, los resultados confirman que, aun en contextos de baja abundancia total, la firma polimérica permite inferir fuentes dominantes y orientar la gestión.

9.3 Evolución de calidad de la playa

El MPPI se mantuvo entre 0–2 en ambas temporadas, lo que sitúa a la playa en un escenario de contaminación muy baja. Sin embargo, el CMPI reveló cambios estacionales marcados: en baja afluencia dominaron la espuma (36 %) y los fragmentos (25 %), mientras que en alta afluencia se incrementaron la espuma (41 %), el carbón (17 %), las fibras (15 %) y las películas (12 %). Esta diferencia entre magnitud y composición indica que, aun con cargas totales reducidas, la calidad del residuo responde con rapidez a la intensidad y tipo de uso recreativo del costero (consumo de desechables, uso textil, preparación de alimentos), en consonancia con la literatura sobre entradas antrópicas y redistribución costera de plásticos. Estudios multinacionales muestran que el uso turístico reconfigura las morfologías dominantes sin requerir aumentos proporcionales de la abundancia total, especialmente para espumas de PS y fibras asociadas a actividades recreativas (Browne et al., 2011; Grelaud & Ziveri, 2020).

La superioridad de espuma es coherente con aportes de poliestireno expandido procedentes de expendios de alimentos y bebidas, cuya baja densidad y fragilidad favorecen la fragmentación y el varado en la zona cercana a la playa. El aumento de fibras durante la temporada alta es compatible con el mayor uso de textiles y cordelería recreativa, mientras que la señal de carbón sugiere fogatas o cocción en playa, prácticas comunes en periodos de alta visita. Estas actividades evidencian que la presión antropogénica constituye un factor determinante en el aporte inicial de residuos al ambiente costero. Dichos residuos, una vez incorporados al sistema, quedan sujetos a procesos físicos, químicos y biológicos como el desgaste, la fragmentación y la degradación que favorecen la generación progresiva de microplásticos. Esta dinámica explica la aparición de patrones morfológicos específicos, los cuales reflejan la transformación de materiales plásticos de mayor tamaño más que un incremento directo en la carga total de residuos. En conjunto, estos patrones se explican por los procesos de meteorización foto-oxidativa y abrasiva que transforman objetos mayores en fragmentos y películas, modificando la firma morfológica sin necesariamente elevar la masa total detectada (Andrady, 2011). En conjunto, los resultados concuerdan con el modelo en el

que la estacionalidad turística actúa como modulador primario de la composición de microplásticos en playas, más que de su abundancia global.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

10 Conclusión

La presente investigación permitió caracterizar de manera sistemática la contaminación por microplásticos en Playa Azul, Centla, Tabasco, integrando indicadores ambientales con variables antrópicas asociadas a la generación de residuos y a la presión turística estacional. Los resultados obtenidos evidencian que, aun bajo condiciones de contaminación globalmente clasificadas como bajas, la composición, abundancia relativa y morfología de los microplásticos reflejan de forma consistente la influencia de las actividades humanas y las deficiencias en la gestión local de los residuos sólidos.

Uno de los principales logros del estudio fue la identificación de patrones estacionales en la distribución morfológica y polimérica de los microplásticos, lo que permitió asociar fuentes específicas principalmente desechables alimentarios, envases plásticos y textiles de uso recreativo con dinámicas locales de uso del litoral. Este enfoque integrador sustenta técnicamente la formulación de un Plan de Manejo Integral de Residuos orientado a la prevención en la fuente, la valorización de materiales y el monitoreo ambiental continuo, demostrando la aplicabilidad práctica de los resultados dentro del ámbito de la ingeniería ambiental.

No obstante, el estudio presenta limitaciones metodológicas que deben considerarse al interpretar los hallazgos. Entre ellas destacan el número limitado de semanas de muestreo, la restricción del análisis a la fracción superficial del sedimento y la caracterización polimérica aplicada a una proporción de las partículas recolectadas. Estas condiciones limitan la extrapolación espacial y temporal de los resultados, así como la identificación exhaustiva de todos los polímeros presentes.

En consecuencia, quedaron fuera del alcance de esta investigación el análisis de microplásticos en la columna de agua y en organismos marinos, así como la evaluación directa de los impactos ecotoxicológicos asociados.

Como líneas de trabajo futuro, se recomienda ampliar la cobertura temporal y espacial del muestreo, incorporar matrices ambientales adicionales como agua y biota, y fortalecer la caracterización química mediante técnicas complementarias. De igual forma, se sugiere implementar evaluaciones periódicas del plan de manejo a través de series de tiempo comparables de índices de contaminación, lo que permitirá consolidar este estudio como un referente para el diagnóstico y la gestión de la contaminación por microplásticos en el litoral de Tabasco y regiones costeras con dinámicas similares.

11 Referencias:

- 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>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., Randerson, P., & Williams, A. T. (2019). Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean coastal sites (Alicante, SE Spain). *Ocean & Coastal Management*, 181, 104914. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104914>
- Betancourt Sanchez, G., & Daza Rodriguez, E. V. (2023). Análisis de los efectos que produce en los seres humanos la presencia de micro plásticos en la cadena alimentaria. Una revisión bibliográfica [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/56251>
- Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93, 1–10. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100305&lng=es&tlng=es
- Botero, C. M., Pereira, C., & Cervantes, O. (2013). Estudios de calidad ambiental de playas en Latinoamérica: Revisión de los principales parámetros y metodologías utilizadas. Botero, C., Pereira, C., Cervantes, O., 41–51. <https://ssrn.com/abstract=2422342>
- Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>
- Calle, O. E. B., Rivera, M. A. O., & Lalvay, X. A. L. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 153–166. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>
- CEGESTI. (2022). Guía Metodológica para realizar muestreos de residuos sólidos en playas. Recuperado de: <https://cegesti.org/recursos/guia-metodologica-para-realizar-muestreos-de-residuos-solidos-en-playas/>

- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (s. f.). Pronóstico del tiempo por municipios. Servicio Meteorológico Nacional.
<https://smn.conagua.gob.mx/es/pronostico-del-tiempo-por-municipios>
- Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 18 de mayo de 2021.
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Gaspar, L., Bartman, S., Coppotelli, G., & Ross, J. M. (2023). La exposición aguda a microplásticos indujo cambios en el comportamiento y la inflamación en ratones jóvenes y viejos. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12308.
<https://doi.org/10.3390/ijms241512308>
- Grelaud, M., & Ziveri, P. (2020). The generation of marine litter in Mediterranean island beaches as an effect of tourism and its mitigation. *Scientific Reports*, 10(1), 20326. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77225-5>
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s. f.). Topografía.
<https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Kindsvater, R., Munarriz, E. R., & Sbarbati Nudelman, N. (2020). Desafíos que presentan algunos aditivos químicos para el reciclado de residuos plásticos: Industria plástica argentina y situación internacional. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*; 2020; 208–224. Recuperado de:
<https://cairplas.org.ar/2016/wp-content/uploads/2020/12/Residuos-plasticos-final-1.pdf>
- Laines Canepa, J. R., Sosa Olivier, J. A., Padilla-Rivera, A., Hernández-Barajas, J. R., Morales-Rodríguez, N. E. M., Burelo Ramos, C. M., Espinosa de los Monteros, A. E., & Núñez-Nogueira, G. (2024). Transformation of plastic debris to microplastics: An approximate analysis of mangrove environments. *Urban Resilience and Sustainability*, 2(4), 348–364.
<https://doi.org/10.3934/urs.2024018>

- Lwanga, E. H. (2016). Microplásticos, insospechado problema ambiental. *ECOfronteras*, 26–28.
<https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1665>
- OMS. (2019). La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos. Sitio web:
<https://www.who.int/es/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>
- ONU. (2021). El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente. Sitio web:
<https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752>
- Peralta-Peláez, L. A., Peña-Montes, C., Hermida-Castellanos, L., Huerta-Quero, O. D. J., Hernández-Álvarez, C., Mejía-Estrella, I. A., & Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231–242.
<https://doi.org/10.24275/khdd6042>
- Perilla Portilla, F. E., & Quiroz Ortega, J. F. (2023). Micro plastics, an invisible threat to human health and the environment. *Revista Cubana de Salud Pública*, 49(4).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086434662023000400010&lng=es&tlng=en
- Pervez, R., Lai, Y., Song, Y., Li, X., & Lai, Z. (2023). Impact of microplastic pollution on coastal ecosystems using comprehensive beach quality indices. *Marine Pollution Bulletin*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115304>
- PNUMA. (2020). Contaminación del agua por plásticos y microplásticos: una revisión de las soluciones técnicas desde la fuente hasta el mar. Sitio web:
<https://www.unep.org/es/resources/informe/contaminacion-del-agua-por-plasticos-y-microplasticos-una-revision-de-las>
- Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., & Gerdts, G. (2018). Reference database design for the automated analysis of microplastic samples based on FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(21), 5131–5141.
<https://doi.org/10.1007/s00216-018-1156-x>
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106.
<https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Quirós-Rodríguez, J. A., Nisperuza-Pérez, C., & Yepes-Escobar, J. (2021). Los microplásticos, una amenaza desconocida para los ecosistemas marinos de

- Colombia: Perspectivas y desafíos a enfrentar. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 91615. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.91615>
- Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras, J., Arana, V. A., Mantilla-Barbosa, E., Gracia, C. A., Mendoza, A. V., Neal, W. J., Williams, A. T., & Micallef, A. (2021). Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685>
- Ríos, A. N. T. (2024). Diagnóstico de microplásticos en zona costera de Coatzacoalcos [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana].
- Santillán, M. L. (2018, 27 de julio). Una vida de plástico. *Ciencia UNAM*. <https://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
- Sbarbati Nudelman, N. (Ed.). (2020). Residuos plásticos en Argentina: Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/129919>
- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Jung, S. W., & Shim, W. J. (2015). A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Marine Pollution Bulletin*, 93(1–2), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.015>
- Tume Ramírez, H. (2023). Impacto del vertimiento de los residuos sólidos generados a bordo de las embarcaciones pesqueras artesanales sobre el mar de la Bahía El Ferrol de Chimbote, en el 2022. Recuperado de: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_6f73d395dc819d879bc685e45e87e7a7
- Vázquez Morillas, A., Cruz Salas, A. A., & Álvarez Zeferino, J. C. (2022). Microplásticos en playas: Realidad y percepción. *Ciencia*, 73(2), 37–39. <https://revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-73-numero-2/321-contaminacion-por-microplasticos/940-microplasticos-en-playas-realidad-y-percepcion>
- Vázquez-Morillas, A., Salvador, C. M., Fuentes, J. T., Salas, A. A. C., Zeferino, J. C. Á., Araiza, J. P. H. L., & Pérez, M. V. (2023). Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica: El caso de México. En *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero* (p. 13). Servei de Comunicació i Publicacions.
- Zhu, L., Zhao, S., Bittar, T. B., Stubbins, A., & Li, D. (2021). Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: Rates and

microbial impacts. *Environmental Science & Technology*, 55(9), 5725–5733.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06687>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México

Alojamiento de la Tesis en el Repositorio Institucional

Título de Tesis:	DIAGNÓSTICO DE MICROPLÁSTICOS EN ZONA COSTERA DE CENTLA EN TABASCO
Autor(a) o autores(ras) de la Tesis:	Moisés Vallejo Gómez
ORCID:	https://orcid.org/0009-0009-4484-0232
Resumen de la Tesis:	<p>La contaminación por microplásticos representa una problemática ambiental emergente en ecosistemas costeros debido a su persistencia, capacidad de fragmentación y potencial impacto ecológico y sanitario. El presente estudio tuvo como objetivo diagnosticar la concentración, distribución y composición morfológica y polimérica de microplásticos en Playa Azul, Centla, Tabasco, así como evaluar su relación con la presión antrópica estacional y generar bases técnicas para un Plan de Manejo Integral de Residuos. Se realizaron dos campañas de muestreo en temporada baja y alta, incluyendo determinación de generación per cápita de residuos, recolección de arena superficial (0–1 cm), tamizado (0.84–5 mm), caracterización morfológica mediante microscopía estereoscópica e identificación polimérica por espectroscopía FTIR. Los resultados mostraron un incremento del 8.9 % en la concentración de microplásticos en temporada alta (1.7324 MP·kg⁻¹) respecto a temporada baja (1.5904 MP·kg⁻¹), con diferencias estadísticamente significativas en la composición morfológica ($\chi^2(5) = 23.214$, $p < 0.001$), destacando el aumento de partículas de carbón y fibras durante periodos de mayor afluencia. El Índice de Presión por Microplásticos (MPPI) indicó niveles de</p>

	<p>contaminación muy baja; sin embargo, el Índice Compuesto (CMPI) evidenció variaciones estacionales en la composición. Se concluye que, aunque la magnitud de contaminación es baja, la dinámica morfológica refleja la influencia directa de actividades turísticas y deficiencias en la gestión de residuos, justificando la implementación de estrategias preventivas orientadas a la reducción en la fuente.</p>
<p>Palabras claves de la Tesis:</p>	<p>microplásticos, calidad ambiental, presión antrópica, playas, gestión de residuos.</p>
<p>Referencias citadas:</p>	<p>Alcázar-Espinoza, J. A. (2024). Impacto de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos y su Panorama Actual. <i>Multidisciplinary Collaborative Journal</i>, 2(4), 16–28. https://doi.org/10.70881/mcj/v2/n4/2</p> <p>Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. <i>Marine Pollution Bulletin</i>, 62(8), 1596–1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030</p> <p>Asensio-Montesinos, F., Anfuso, G., Randerson, P., & Williams, A. T. (2019). Seasonal comparison of beach litter on Mediterranean coastal sites (Alicante, SE Spain). <i>Ocean & Coastal Management</i>, 181, 104914. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.10.4914</p> <p>Betancourt Sanchez, G., & Daza Rodriguez, E. V. (2023). Análisis de los efectos que produce en los seres humanos la presencia de microplásticos en la cadena alimentaria. Una revisión bibliográfica [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. https://hdl.handle.net/20.500.12494/56251</p> <p>Bollaín Pastor, C., & Vicente Agulló, D. (2019).</p>

Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93, 1–10. http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100305&lng=es&tlng=es

Botero, C. M., Pereira, C., & Cervantes, O. (2013). Estudios de calidad ambiental de playas en Latinoamérica: Revisión de los principales parámetros y metodologías utilizadas. Botero, C., Pereira, C., Cervantes, O., 41–51. <https://ssrn.com/abstract=2422342>

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environmental Science & Technology*, 45(21), 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>

Calle, O. E. B., Rivera, M. A. O., & Lalvay, X. A. L. (2021). La calidad del desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(9), 153–166. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8094540>

CEGESTI. (2022). Guía Metodológica para realizar muestreos de residuos sólidos en playas. Recuperado de: <https://cegesti.org/recursos/guia-metodologica-para-realizar-muestreos-de-residuos-solidos-en-playas/>

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (s. f.). Pronóstico del tiempo por municipios. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/pronostico-del-tiempo-por-municipios>

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario

Oficial de la Federación. Última reforma publicada el 18 de mayo de 2021. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>

Gaspar, L., Bartman, S., Coppotelli, G., & Ross, J. M. (2023). La exposición aguda a microplásticos indujo cambios en el comportamiento y la inflamación en ratones jóvenes y viejos. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(15), 12308. <https://doi.org/10.3390/ijms241512308>

Grelaud, M., & Ziveri, P. (2020). The generation of marine litter in Mediterranean island beaches as an effect of tourism and its mitigation. *Scientific Reports*, 10(1), 20326. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77225-5>

Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s. f.). Topografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/topografia/>

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

Kindsvater, R., Munarriz, E. R., & Sbarbati Nudelman, N. (2020). Desafíos que presentan algunos aditivos químicos para el reciclado de residuos plásticos: Industria plástica argentina y situación internacional. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*; 2020; 208–224. Recuperado de: <https://cairplas.org.ar/2016/wp->

content/uploads/2020/12/Residuos-plasticos-final-1.pdf

Laines Canepa, J. R., Sosa Olivier, J. A., Padilla-Rivera, A., Hernández-Barajas, J. R., Morales-Rodríguez, N. E. M., Burelo Ramos, C. M., Espinosa de los Monteros, A. E., & Núñez-Nogueira, G. (2024). Transformation of plastic debris to microplastics: An approximate analysis of mangrove environments. *Urban Resilience and Sustainability*, 2(4), 348–364. <https://doi.org/10.3934/urs.2024018>

Lwanga, E. H. (2016). Microplásticos, insospechado problema ambiental. *ECOfronteras*, 26–28. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1665>

OMS. (2019). La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos. Sitio web: <https://www.who.int/es/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution>

ONU. (2021). El plástico, que ya ha atragantado nuestros océanos, terminará por asfixiarnos a todos si no actuamos rápidamente. Sitio web: <https://news.un.org/es/story/2021/10/1498752>

Peralta-Peláez, L. A., Peña-Montes, C., Hermida-Castellanos, L., Huerta-Quero, O. D. J., Hernández-Álvarez, C., Mejía-Estrella, I. A., & Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231–242. <https://doi.org/10.24275/khdd6042>

Perilla Portilla, F. E., & Quiroz Ortega, J. F. (2023). Micro plastics, an invisible threat to

human health and the environment. *Revista Cubana de Salud Pública*, 49(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086434662023000400010&lng=es&tlng=en

Pervez, R., Lai, Y., Song, Y., Li, X., & Lai, Z. (2023). Impact of microplastic pollution on coastal ecosystems using comprehensive beach quality indices. *Marine Pollution Bulletin*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115304>

PNUMA. (2020). Contaminación del agua por plásticos y microplásticos: una revisión de las soluciones técnicas desde la fuente hasta el mar. Sitio web: <https://www.unep.org/es/resources/informe/contaminacion-del-agua-por-plasticos-y-microplasticos-una-revision-de-las>

Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., & Gerdts, G. (2018). Reference database design for the automated analysis of microplastic samples based on FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(21), 5131–5141. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1156-x>

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>

Quirós-Rodríguez, J. A., Nisperuza-Pérez, C., & Yepes-Escobar, J. (2021). Los microplásticos, una amenaza desconocida para los ecosistemas marinos de Colombia: Perspectivas y desafíos a enfrentar. *Gestión y Ambiente*, 24(1), 91615. <https://doi.org/10.15446/ga.v24n1.91615>

Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras,

J., Arana, V. A., Mantilla-Barbosa, E., Gracia, C. A., Mendoza, A. V., Neal, W. J., Williams, A. T., & Micallef, A. (2021). Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches. *Marine Pollution Bulletin*, 170. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685>

Ríos, A. N. T. (2024). Diagnóstico de microplásticos en zona costera de Coatzacoalcos [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana].

Santillán, M. L. (2018, 27 de julio). Una vida de plástico. *Ciencia UNAM*. <https://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>

Sbarbati Nudelman, N. (Ed.). (2020). Residuos plásticos en Argentina: Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/129919>

Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Jung, S. W., & Shim, W. J. (2015). A comparison of microscopic and spectroscopic identification methods for analysis of microplastics in environmental samples. *Marine Pollution Bulletin*, 93(1–2), 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.015>

Tume Ramírez, H. (2023). Impacto del vertimiento de los residuos sólidos generados a bordo de las embarcaciones pesqueras artesanales sobre el mar de la Bahía El Ferrol de Chimbote, en el 2022. Recuperado de: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNSR_6f73d395dc819d879bc685e45e87e7a7

Vázquez Morillas, A., Cruz Salas, A. A., & Álvarez Zeferino, J. C. (2022). Microplásticos

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

México

en playas: Realidad y percepción. *Ciencia*, 73(2), 37–39.
<https://revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-73-numero-2/321-contaminacion-por-microplasticos/940-microplasticos-en-playas-realidad-y-percepcion>

Vázquez-Morillas, A., Salvador, C. M., Fuentes, J. T., Salas, A. A. C., Zeferino, J. C. Á., Araiza, J. P. H. L., & Pérez, M. V. (2023). Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica: El caso de México. En *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero* (p. 13). Servei de Comunicació i Publicacions.

Zhu, L., Zhao, S., Bittar, T. B., Stubbins, A., & Li, D. (2021). Photochemical dissolution of buoyant microplastics to dissolved organic carbon: Rates and microbial impacts. *Environmental Science & Technology*, 55(9), 5725–5733.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06687>