



# Presencia de Microplásticos en Playas de una Región Semiárida de la Costa de México

Rosales-Grano, P.<sup>1</sup>; Ochoa-Castro, A.<sup>1</sup>; Villicaña-Aguayo, J. D.<sup>1</sup>; Castro-Hernández, F.<sup>1</sup>; Vega-Valverde, L. J.<sup>1</sup>

## Datos de Adscripción:

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Guaymas; Av. Tecnológico km 4 Sector las Playitas C. P. 85480, Guaymas, Sonora, México.

✉ pedro.rg@guaymas.tecnm.mx

**Resumen** - Se analizaron muestras de sedimentos colectadas durante el otoño de 2023 en 3 playas de la región de Guaymas-Empalme, Sonora, México, el objetivo fue determinar la presencia de microplásticos (MPs), en total fueron 32 muestras: 10 para la playa El Cochorit, 10 para la playa Miramar y 12 para la playa San Francisco. Las 32 estaciones de muestreo fueron georreferenciadas mediante equipo topográfico y posicionadores satelitales y colocadas en mapas elaborados con un sistema de información geográfica. Las muestras fueron analizadas en laboratorio, la metodología empleada fue la separación por densidad, esta consiste en un procedimiento que incluye el pesado y secado de las muestras, posteriormente se sumergen en una solución de agua destilada con cloruro de sodio, se colocan en una probeta, se dejan reposar por un periodo de 48 horas para permitir que los plásticos floten en la superficie y los sedimentos se depositen en el fondo. Pasado el periodo de asentamiento el sobrenadante se filtra y se coloca en una placa Petri para el conteo de partículas, este se realiza empleando un microscopio estereoscópico, los resultados se capturan con una cámara fotográfica de alta resolución. Se encontraron partículas de MPs y fibras en las 3 playas (Cochorit 479; Miramar 501 y San Francisco 391). Los resultados demuestran la presencia de MPs en las playas analizadas, lo que genera riesgos para la salud humana. Se sugiere realizar campañas de educación ambiental para dar a conocer este tipo de contaminación y sus consecuencias sobre el medio ambiente.

**Palabras Clave** - Empalme, Guaymas, Microplásticos, Playas, Sedimentos.

**Abstract** - Sediment samples collected during the fall of 2023 on three beaches in the Guaymas-Empalme region, Sonora, Mexico were analyzed to determine the presence of microplastics. A total of 32 samples: 10 for El Cochorit beach, 10 for the Miramar beach and 12 for San Francisco beach. The 32 sampling stations were georeferenced using topographic equipment and satellite positioning systems and plotted on maps created with a geographic information system (GIS). The samples were analyzed in the laboratory using density separation. This methodology involves weighing and drying the samples, then immersing them in a solution of distilled water and sodium chloride, which is placed in a test tube and left to rest for 48 hours. During this period, plastics float to the surface while sediments to settle

to the bottom. After settling, the supernatant is filtered and placed in a Petri dish for particle counting using a stereoscopic microscope, with results captured by a high-resolution camera. Microplastic particles and fibers were found on the three beaches (Cochorit 479; Miramar 501 and San Francisco 391). The results confirm the presence of microplastics on the analyzed beaches, posing potential risks to human health. Environmental education campaigns are recommended to raise awareness of this type of pollution and its consequences for the environment.

**Keywords** - Beaches, Empalme, Guaymas, Microplastics, Sediments.

## I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son de los materiales más utilizados en la vida diaria, la mayoría de estos tienen su origen en el petróleo, la producción a nivel mundial de plásticos se ha incrementado en los últimos 70 años, García-Regalado et al., (2024) mencionan que esta ha alcanzado las 400.3 millones de toneladas en 2022. Barceló y Picó (2019) señalan que por su abundancia y el tratamiento inapropiado de los desechos plásticos estos contaminantes están distribuidos por todo el planeta, aguas residuales, aguas superficiales, suelos, sedimentos, aire y en especial en los océanos. Los plásticos que son arrojados en la zona costera en forma de macroplásticos (botellas, bolsas, contenedores) se degradan por el efecto de la radiación solar y por acción mecánica provocada por las olas, las corrientes y el viento, al degradarse se fragmentan en pequeñas partículas denominadas MPs que miden menos de 5 mm, según Mejía-Estrella et al., (2023) estas partículas liberan sustancias nocivas relacionadas con su composición química como los plastificantes, retardadores de fuego y colorantes, estas se filtran al ambiente contaminando el suelo, el agua y el aire. Bak et al., (2021) aluden que los MPs son ingeridos y acumulados por diversas especies marinas, tales como peces, moluscos, almejas y crustáceos, lo que representa un riesgo para la salud humana a través de las interacciones físicas como la ingestión de organismos marinos principalmente. De acuerdo con Wright y Kelly, (2017) los efectos sobre la salud humana se desconocen. Torrez-Pérez et al., (2021) mencionan que los MPs son una forma de contaminación marina, por lo que se debe identificar su presencia en ecosistemas como las playas que son activos ambientales de valor económico que ofrecen diferentes servicios a la población. Bornstein y Steinhaus, (2024) señalan que estas micropartículas se encuentran en todo el medio marino, alcanzando los lugares más remotos del planeta. Los factores físicos que regulan la dinámica oceánica como las mareas, las corrientes, el oleaje y el viento distribuyen los MPs y los hacen

llegar y acumularse en la zona costera en especial en playas formadas por arena, donde se integran con los sedimentos, esto constituye un problema de contaminación importante, especialmente en áreas protegidas. A pesar de la creciente conciencia del problema de la contaminación por plástico, estos materiales continúan produciéndose, consumiéndose y desechándose a un ritmo acelerado, Rochman et al., (2013) señalan que esto provoca graves problemas para la biosfera ya que los plásticos pueden absorber y transportar contaminantes o pueden ser tóxicos por sí mismos, afectando gravemente a la naturaleza.

En México se han realizado varios estudios que documentan la presencia de MPs, en playas, entre los más recientes está el de Flores-Ocampo y Armstrong-Altrin, (2023) quienes documentan la abundancia y composición de MPs en los sedimentos de una playa de Tampico, Tamaulipas, en el Golfo de México, la determinación la realizan con el método de separación por densidad, utilizan una solución de NaCl (cloruro de sodio) y ZnCl<sub>2</sub> (cloruro de zinc) la clasificación de los MPs la hacen en base a su forma color y tamaño, encuentran en promedio una abundancia de ~13392 partículas de MPs por kg de sedimentos los tamaños de las partículas variaron de 1.76 mm a 3.92 mm, se identificaron seis tipos de polímeros y los colores de las partículas fueron variables (azul, negro, amarillo, etc.), una de sus conclusiones fue que el alto grado de degradación indica un nivel extremo de riesgo para la biota marina. Otro de los estudios recientes es el de Mejía-Estrella et al., (2023) quienes determinan las características físicas y químicas de los MPs en sedimentos costeros de tres playas de Puerto Vallarta, Jalisco, la información la consideran útil para definir políticas en el manejo de los desechos plásticos y evitar la contaminación en playas de la región por estas sustancias, la clasificación la hicieron de acuerdo al color, tamaño y forma, para determinar el tipo de polímeros utilizaron la técnica de la transformada de Fourier mediante espectroscopia infrarroja. El mayor número de partículas detectado en una de las playas fue de 97.5 partículas por metro cuadrado. Una de sus conclusiones es que la presencia de los MPs está relacionada con la alta actividad turística y con la cercanía de las playas a la desembocadura de los ríos.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### 2.1 Área de estudio

Este trabajo tiene como objetivo documentar la presencia de MPs en playas de la región Guaymas-Empalme, Sonora, México, para ello se seleccionaron 3 de las principales playas turísticas de la región (El Cochorit, Miramar y San Francisco), la localización geográfica de las playas se muestra en la Figura 1 panel a (puntos en rojo). La playa El Cochorit se localiza en el municipio de Empalme, Sonora en las coordenadas 27° 55' 4" de latitud norte y 110° 46' 20" de longitud oeste tiene una extensión aproximada de 1.3 km (Figura 1 panel b). García-Morales et al., (2017) mencionan que en la playa El Cochorit la temperatura atmosférica anual promedio es de 25°C, la precipitación es de ~300mm y la evaporación de ~2600mm, las lluvias ocurren de julio a octubre con mayor magnitud en agosto, la playa se ubica

en la porción sur de un valle tectónico aluvial, la arena de la playa se deriva de los sedimentos que rellenan el valle, la playa es somera, de poca pendiente y está limitada por dunas activas de baja altura y planicies de inundación, la energía del oleaje es baja y desarrolla bermas con elevación menor a un metro, los principales usuarios son los habitantes del municipio de Empalme, se usa principalmente con fines recreativos, aunque también sirve para el desembarco de productos de pesca ribereña. Las playas de Miramar y San Francisco se localizan en el municipio de Guaymas, el clima local es semiárido, su temperatura, precipitación, evaporación y periodo de lluvias son similares a los asociados con la playa El Cochorit, la amplitud de la marea astronómica es de 0.85 m y las alturas de las olas son menores a 1 m la mayor parte del año. La playa Miramar tiene una longitud aproximada de 1.5 km, se localiza en las coordenadas geográficas 27° 55' 20" de latitud norte y 110° 57' 5" de longitud oeste (Figura 1 panel c), está formada por la barra del estero Bacochibampo, en la boca del estero se ha construido una escollera en el límite de la playa, en el extremo opuesto el límite de la playa es una formación rocosa, es una playa somera formada principalmente de arena y con poca pendiente, cuenta con infraestructura turística como palapas, estacionamiento y baños, García-Morales et al., (2018) describe la morfología de la playa Miramar. La playa San Francisco se localiza en las coordenadas geográficas 27° 58' 00" de latitud norte y 110° 00' 0" de longitud oeste (Figura 1 panel d), tiene una longitud aproximada de 3.5 km, está formada en parte por la barra del estero El Soldado, la cual se une a la playa como parte de la línea costera, limita al este con la boca del estero El Soldado hacia el oeste la playa termina en una formación rocosa, su pendiente es intermedia, está formada por arena de cuarzo y cuenta con infraestructura turística limitada, por lo que de acuerdo con García-Morales et al., (2018) se considera una playa semiurbana

### Figura 1

Panel (a) localización geográfica de las playas seleccionadas (puntos en rojos); panel (b) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa El Cochorit; panel (c) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa Miramar; panel (d) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa San Francisco.



### 2.2 Trabajo de campo

Para la recolección de las muestras de sedimentos fue necesario localizar geográficamente las estaciones de muestreo, para ello se utilizaron posicionadores satelitales de alta precisión (GPS, Global Positioning System). De acuerdo con la ficha técnica el equipo utilizado fue un GPS diferencial RTK S82V integrado a un radio transmisor y con capacidad de intercambio de información entre el GPS base y el móvil, se requirió de entre 10 y 20 minutos para que el GPS base capture la señal de los satélites necesarios (al menos 10) para obtener una precisión de 1 cm, con la corrección diferencial. Para la extracción de los sedimentos se utilizó un nucleador para muestras de suelo (Figura 2) el cual permitió extraerlas sin alteración y hasta una profundidad de 40 cm. El método fue utilizar un marro y un objeto (madera gruesa) que amortiguara los golpes del marro con el nucleador metálico mientras este se introducía en el sedimento, se necesitaron entre 10 y 15 golpes para que el nucleador penetrara completamente en el sedimento, una vez extraído el nucleador se procedió a introducir las muestras en bolsas debidamente etiquetadas con plumones indelebles, las bolsas permiten conservar la humedad de las muestras. Las estaciones de muestreo se seleccionaron de tal forma que cubrieran la totalidad de la longitud de la playa y que la distancia entre estaciones fuera uniforme.

**Figura 2**

Nucleador metálico utilizado para la extracción de las muestras de sedimentos.



### 2.3 Localización de las estaciones de muestreo

Una vez que las estaciones de muestreo fueron georreferenciadas la información recabada por el equipo GPS fue capturada en un sistema de información geográfica para la elaboración de mapas en coordenadas de latitud y longitud y tablas de localización en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). Se colectaron 10 muestras para playa El Cochorit, 10 para playa Miramar y 12 para playa San Francisco, sumando un total de 32 muestras. La localización de las estaciones de muestreo se puede apreciar de forma gráfica en la Figura 1 paneles (b), (c) y (d) para las playas El Cochorit, Miramar y San Francisco respectivamente, mientras que las Tablas 1, 2 y 3 muestran las coordenadas de localización de las estaciones de muestreo, se considera particularmente importante esta información por si se desea en futuras investigaciones reproducir

el experimento para determinar parámetros no contemplados en el presente trabajo. Se hace notar que en playa San Francisco se tomaron dos muestras aisladas hacia el oeste de la playa (Figura 1 panel d) pues en este sitio, en años recientes hay gran afluencia de turistas durante la mayor parte del año.

Las muestras recabadas no son superficiales, pues con el uso del nucleador fue posible extraer núcleos de entre 40 y 50 cm de longitud. Los sitios de muestreo se seleccionaron en todos los casos en la pendiente de la playa, que es una zona dinámica donde la rompiente del oleaje mueve los sedimentos y por acción mecánica fragmenta los plásticos.

**Tabla 1**

Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa El Cochorit.

No. de estación	Coordenadas	
	Cochorit	
	x	y
C-1	522418.058	3088027.842
C-2	522465.849	3088022.722
C-3	522510.988	3088016.863
C-4	522559.169	3088010.661
C-5	522607.472	3088002.111
C-6	522655.79	3087993.243
C-7	522702.963	3087988.81
C-8	522346.21	3088036.638
C-9	522221.373	3088055.777
C-10	522176.24	3088062.528

**Tabla 2**

Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa Miramar.

No. de estación	Coordenadas	
	Miramar	
	x	y
M-1	504818.002	3089112.189
M-2	504897.042	3089092.251
M-3	504954.872	3089041.367
M-4	505012.702	3088990.482
M-5	505046.358	3088938.399
M-6	505085.22	3088864.861
M-7	505130.378	3088785.022
M-8	505201.919	3088640.293
M-9	505234.266	3088558.569
M-10	505266.057	3088469.305

**Tabla 3**  
*Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa San Francisco.*

No. de estación	San Francisco	
	Coordenadas	
	x	y
SF-1	501822.811	3092460.514
SF-2	501690.273	3092548.824
SF-3	501551.923	3092630.694
SF-4	501408.33	3092692.295
SF-5	501249.407	3092760.921
SF-6	501095.682	3092808.394
SF-7	500924.711	3092850.887
SF-8	500788.382	3092877.962
SF-9	500631.748	3092929.334
SF-10	500468.638	3092986.768
SF-11	498349.321	3093163.52
SF-12	498206.982	3093151.278

#### 2.4 Trabajo de laboratorio

Existen diferentes métodos de laboratorio para la determinación de los MPs en muestras de sedimentos, no se ha estandarizado una metodología que permita hacer comparaciones a nivel global. Una revisión de las técnicas y metodologías más utilizadas para la determinación de MPs la realiza Calvo-Anglada y Morales, (2020) en su trabajo las clasifica en técnicas de preconcentración, separación, identificación y caracterización entre otras. Las técnicas de preconcentración incluyen la centrifugación la cual es una técnica que emplea la fuerza gravitacional mediante la centrifugación de la muestra, una variante de esta es la ultracentrifugación que emplea fuerzas centrífugas superiores, necesarias para aislar las partículas más pequeñas, tiene el inconveniente de que procesa volúmenes pequeños de muestras de entre 10-100 ml, además de formar agregados y dañar las partículas de plástico. Dentro de las técnicas de preconcentración también está la filtración, esta se basa en el paso de las muestras a través de membranas para el aislamiento de los MPs, utiliza membranas con diferentes tamaños de poros que van desde varios  $\mu\text{m}$  hasta decenas de nm, tiene la desventaja de que si se utilizan membranas compuestas por polímeros estas podrían introducir contaminación plástica. En muestras con diferentes tamaños de partículas se pueden realizar filtraciones secuenciales para separar partículas por rangos de tamaños, tiene la desventaja de que si se obstruyen los poros el proceso de filtrado se ralentiza. El procedimiento más utilizado para la separación de MPs es por diferencias de densidad, este procedimiento cae también dentro de las técnicas de preconcentración, se utiliza para muestras ambientales como los sedimentos de las playas, emplea soluciones salinas saturadas ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{ZnBr}_2$ ), la densidad de los polímeros varía entre 0.8 y 1.7  $\text{g/cm}^3$ , y la densidad de muestras como sedimentos, superan los 2.6  $\text{g/cm}^3$  lo que permite la separación de plásticos por flotación y separación del sobrenadante. El pretratamiento de muestras también es

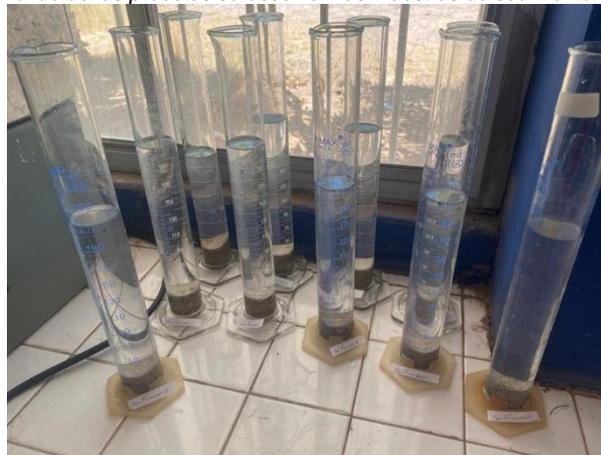
importante, Lee et al., (2023) hace una revisión de las técnicas de pretratamiento para muestras de suelo y sedimento en agua dulce (ríos, lagos, presas), menciona que el método más común es la separación por diferencias de densidad mediante una solución de  $\text{NaCl}$  o  $\text{ZnCl}_2$ .

En este trabajo se utilizó una combinación de las metodologías de separación por densidad y por filtración que pertenecen a la técnica de preconcentración de acuerdo con la clasificación hecha por Calvo-Anglada y Morales, (2020). El trabajo de laboratorio consistió en extraer 200 gramos de las muestras de sedimento recolectadas (el peso total de cada muestra fue de ~ 1 kg), la submuestra se colocó en un horno a 60 °C para su secado durante un periodo de 48 horas, en algunas muestras el tiempo de secado no fue suficiente debido al alto contenido de humedad por lo que permanecieron más tiempo en el horno, hasta que estuvieron completamente secas. Posteriormente las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

Una vez secas las muestras se procedió a preparar una solución de agua destilada con cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), la proporción utilizada fue: por cada litro de agua destilada se añadieron 60 gramos de cloruro de sodio, el método para prepararla fue el calentamiento suave y constante del agua destilada sin llegar a la ebullición, una vez caliente se le vertió el cloruro de sodio y se agitó constantemente hasta que se obtuvo una solución homogénea. Posteriormente la solución preparada se pasó por un filtro de micro celulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro de poro, con el objetivo de que el cloruro de sodio sobrante no interfiera con los resultados.

Una vez enfriadas las muestras y la solución preparada, de los 200 gramos de cada muestra seca se extrajeron 50 gramos, necesarios para la elaboración de los ensayos, de la solución se colocaron 200 ml en una probeta de 250 ml, para después verter los 50 gramos del sedimento a analizar y agitarlos durante 2 minutos, una vez transcurrido el tiempo, se dejaron reposar las muestras durante un periodo de 48 horas (Figura 3), con el fin de que las partículas plásticas queden en la parte superior de la probeta (sobrenadante) y los sedimentos libres de MPs se depositen en el fondo de la probeta.

**Figura 3**  
*Separación de los MPs por el método de diferencias de densidad. En el fondo de las probetas se observan las muestras de sedimento.*



### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Pasado el tiempo de asentamiento se procedió a retirar el sobrenadante utilizando filtros de micro celulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro, con el fin de evitar que se contaminaran las muestras con el sedimento depositado en el fondo. Este procedimiento se repitió para cada muestra (se realizaron dos ensayos por estación), con el fin de obtener la cantidad aproximada de MPs presentes en cada una de las muestras.

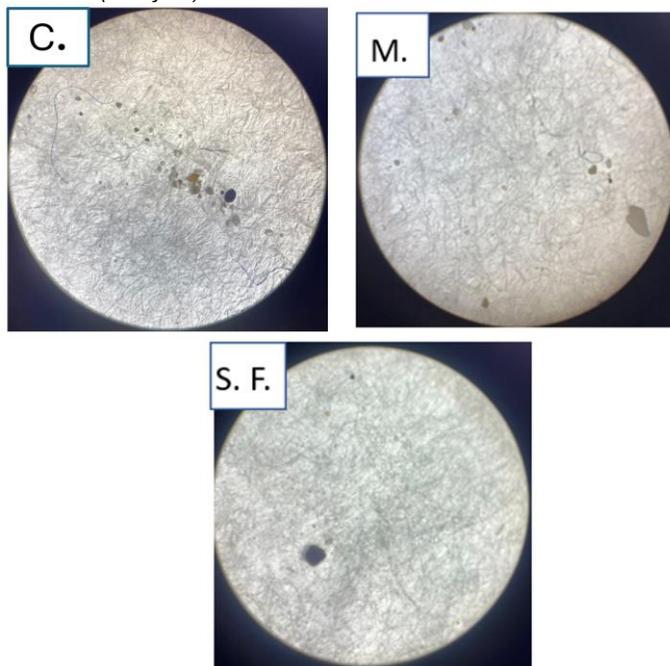
Para el conteo de los MPs se utilizó un microscopio estereoscópico X10 aumentos, y una cámara fotográfica de alta resolución para captar y apreciar de la mejor forma todas las partículas y fibras presentes en el sobrenadante, incluso lo posible apreciar el color de las partículas, así como su forma.

Para determinar el tipo de polímero presente en los análisis es necesario utilizar una metodología más avanzada como la utilizada por Mejía-Estrella et al., (2023) en las playas de Puerto Vallarta México, esta técnica es la espectroscopia infrarroja, que utiliza algoritmos de la transformada de Fourier.

En la Figura 4 se aprecia la presencia de MPs para 3 muestras colectadas en: la estación 9 para playa El Cochorit (ensayo 1), la estación 10 para playa Miramar (ensayo 2) y la estación 10 para playa San Francisco (ensayo 2). Se observa que la mayor cantidad de MPs en estas 3 muestras se encontraron en playa El Cochorit, se pueden apreciar partículas de diferentes colores y tamaños, así como algunas fibras (Figura 4.C). En playa Miramar se observa una partícula plástica de color café de tamaño considerable si se compara con las encontradas en playa El Cochorit, así como una fibra (Figura 4.M). En playa San Francisco son pocas las partículas que se observan, aunque una de ellas de tamaño considerable en color gris-azulado y dos partículas pequeñas de color café y azul (Figura 4.S.F.).

#### Figura 4

Vista de la presencia de MPs en el microscopio estereoscópico X10 aumentos. **C.** Muestra colectada en la estación 9 de la playa Cochorit (ensayo1), **M.** Muestra colectada en la estación 10 de la playa Miramar (ensayo 2), **S. F.** Muestra colectada en la estación 10 de la playa San Francisco (ensayo 2).



Una vez concluidos los ensayos de laboratorio y capturadas las imágenes, se procedió a realizar el conteo de las partículas y fibras que se presentan en los filtros donde se depositó el sobrenadante, es importante aclarar que en este trabajo no se hizo distinción entre las fibras y las partículas de MPs, todos los MPs encontrados se reportan como partículas.

En general en todos los ensayos se encontraron MPs, lo que evidencia que existe contaminación por MPs en las playas de la región Guaymas-Empalme, estos resultados plantean la pregunta ¿cuál es el origen de estos residuos plásticos?

Las playas consideradas se encuentran en una región semiárida por lo que no hay presencia de ríos, los arroyos son ocasionales y presentan escurrimientos solo en época de lluvias, por lo que es poco probable que la presencia de los MPs encontrados sea producto de drenajes terrestres como en otras regiones, por ejemplo Puerto Vallarta donde realizó su estudio Mejía-Estrella et al., (2023) en esta región los ríos acarrean gran cantidad de basura proveniente del continente, entre ella plásticos que se depositan en las playas y allí se degradan por la exposición a la radiación solar o por la acción mecánica de las olas, las corrientes, el viento y las variaciones de temperatura.

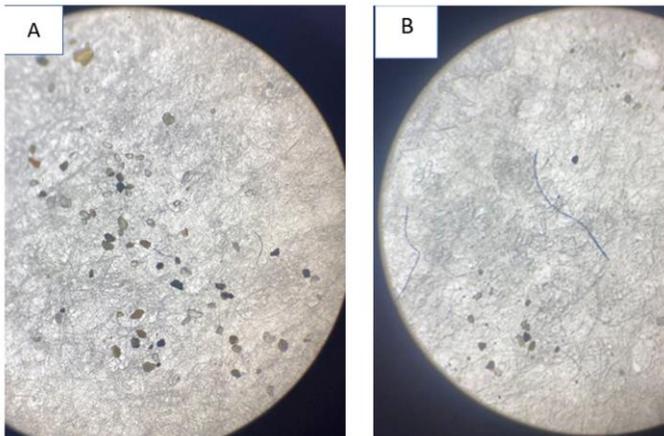
Otra fuente del origen de los MPs puede ser por la vía aérea, es decir a través de la atmósfera. Habibi et al., (2024) mencionan que los MPs se pueden transmitir por aerosolización, sin embargo, esta es un área de investigación emergente, por lo que la información espacial y temporal de la presencia de MPs en la atmósfera es inadecuada y escasa. Esta fuente de contaminación de MPs tiene su origen en los sedimentos que provienen de zonas desérticas, estos se suspenden durante tormentas de arena y polvo y se transportan hasta las playas, de tal forma que en el material transportado (arena y polvo) se incluyen partículas de MPs, el riesgo para la salud humana que genera esta fuente de contaminación es que al respirar se introduzcan MPs a las vías respiratorias. El demostrar que el origen de los MPs encontrados provienen de la aerosolización es motivo de otra investigación.

En la Figura 5 se muestran dos ejemplos de las imágenes capturadas, en total se procesaron 64 imágenes ya que se repitió el ensayo en cada estación (32 estaciones para las 3 playas), por cuestiones de espacio no es posible presentar el total de las imágenes. La Figura 5.A corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 10 de la playa El Cochorit, se aprecian MPs de diferentes colores azul, café, grises y transparentes, también se observan algunas fibras de color azul, la forma geométrica de los MPs es irregular, parecidos a rombos, rectángulos y círculos deformados; la Figura 5.B corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 1 de playa Miramar, se observan MPs similares a los mostrados en la imagen de la Figura 5.A, aunque en menor cantidad en colores azul, gris y café, también se observan dos fibras en color azul.



**Figura 5**

Tipos de MPs encontrados durante los ensayos de laboratorio. El panel **A** corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 10 de la playa El Cochorit. El panel **B** corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 1 de playa Miramar.



En el caso de las playas de la región Guaymas-Empalme es probable que origen de los MPs sea la basura plástica que dejan los turistas en su visita a las playas, ya que no existen programas municipales de limpieza periódica de las playas, ni campañas de concientización a la población, de forma esporádica sociedades civiles, estudiantes de diversas escuelas y ciudadanos realizan limpieza de las playas, lo que no es suficiente pues los plásticos quedan expuestos al medio ambiente que los degrada y desintegra hasta formar MPs que quedan atrapados en el sedimento de las playas. Las fibras por otro lado tienen su origen en la degradación de los artes de pesca que se utilizan en esta región, puesto que gran parte de la economía de la zona se basa en la industria pesquera y en la pesca artesanal, se utilizan diversos artes de pesca fabricados de polímeros, en ocasiones cuando ya no son útiles o por accidente estos artes de pesca son abandonados en el mar, tanto en la costa como en mar abierto, por lo que quedan a la deriva y expuestos a la radiación solar y a los elementos mecánicos del medio ambiente como las olas y las corrientes que los fragmentan y transportan hacia las playas.

El haber realizado los ensayos de laboratorio dos veces para cada estación de muestreo, permitió determinar con mayor certeza el número de partículas encontradas en cada una de las playas, además de conocer que estaciones de muestreo presentan mayor índice de contaminación por MPs, la Tabla 4 muestra la cantidad de MPs totales que se encontró por estación de muestreo y el total en cada playa. La playa con mayor cantidad de MPs encontrados fue playa Miramar con 501 partículas, seguida por playa El Cochorit con 479 y finalmente playa San Francisco con 391 partículas. En playa Miramar la estación de muestreo con el mayor número de partículas encontradas fue la estación 1 (159 partículas), esta se localiza cerca de la escollera que protege el canal de acceso al estero Bacochibampo (Figura 1.c), esta zona es la de mayor afluencia de turistas, aquí se realiza actividad comercial como la venta de alimentos y bebidas la mayor parte de ellos en envases plásticos. Lo mismo ocurrió para playa El Cochorit, en la estación de muestreo 10, se encontró el mayor número de partículas (144 partículas), esta estación es la más cercana al acceso de la playa (Figura 1.b) por lo que tiene la mayor afluencia de visitantes, además de

encontrar palapas y comercios que expenden alimentos en esta estación, otro factor es que en esta zona embarcaciones menores con motor fuera de borda desembarcan productos pesqueros capturados mediante pesca artesanal, esta actividad humana genera basura plástica como envases de bebidas hidratantes, envases de aceite para motores fuera de borda, bolsas de plástico, cajas de plástico donde se transporta el producto de la pesca etc.

En la playa San Francisco se encontró el menor número de partículas en total 391 para doce estaciones muestreadas, de estas, la estación 3 (Figura 1.d) presentó el mayor número de partículas (66 partículas), esta estación está justo frente a edificios habitacionales y es uno de los accesos principales a la playa, por lo que la afluencia de turistas es mayor que en el resto de las estaciones, con excepción de la 11 y la 12 que en años recientes ha recibido un mayor número de visitantes, estas estaciones tuvieron el menor número de partículas. Los resultados encontrados refuerzan la hipótesis de que es la actividad turística la que genera la contaminación por MPs, por lo que es recomendable realizar campañas que den a conocer a la población los peligros para la salud humana que representan estos contaminantes, esto con la finalidad de que las personas dejen de arrojar los plásticos directamente en la playa. Otra medida es la reactivación del comité de playas municipal, que estuvo vigente en administraciones anteriores y que se encargaba de implementar programas de limpieza de playas y concientización de la población. También se sugiere implementar el reciclaje de los plásticos y el evitar en la medida de lo posible su uso. La Figura 6 muestra en forma de histograma los resultados presentados en la Tabla 4, en el eje horizontal aparece el número de estaciones y en el vertical el número de partículas encontradas para las 3 playas.

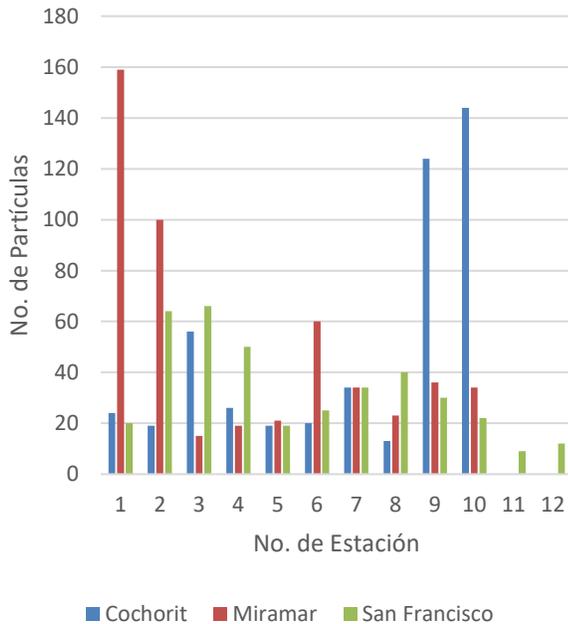
**Tabla 4**  
Cuento de microplásticos total de cada estación.

Cuento total de microplásticos			
No. de muestra	Cochorit	Miramar	San Francisco
1	24	159	20
2	19	100	64
3	56	15	66
4	26	19	50
5	19	21	19
6	20	60	25
7	34	34	34
8	13	23	40
9	124	36	30
10	144	34	22
11	N/A	N/A	9
12	N/A	N/A	12
<b>total</b>	<b>479</b>	<b>501</b>	<b>391</b>



**Figura 6**  
Cantidad de MPs encontrados en cada estación de muestreo para las 3 playas (Cochorit, Miramar y San Francisco)

### Comparación de la cantidad de microplásticos encontrados en cada playa



La comparación con los trabajos consultados se dificulta debido a la diversidad de técnicas y metodologías que se utilizan para determinar los MPs como las descritas por Calvo-Anglada y Morales, (2020), así como a la diferencia de unidades que se utilizan para reportar los resultados, algunos autores reportan sus resultados en número de partículas por metro cuadrado, mientras que otros en número de partículas por kilogramos de sedimentos. En este trabajo se reporta la presencia de microplásticos por cada 100 gramos de sedimentos en cada una de las estaciones, es decir en las playas El Cochorit y Miramar donde se muestreo en 10 estaciones se analizó 1 kg de sedimentos en total, por lo que es posible concluir que en playa El Cochorit se encontraron 479 partículas por kilogramo de sedimentos; mientras que en playa Miramar la densidad sería de 501 partículas por kilogramo de sedimentos; para playa San Francisco, excluyendo las estaciones 11 y 12 que son las más alejadas y cuyas condiciones dinámicas, tipo de sedimento y de afluencia de turistas es diferente al resto de las estaciones se tendrían 370 partículas por kilogramo de sedimento.

Es importante hacer notar que la cantidad de partículas encontradas es menor en comparación con los resultados obtenidos por Flores-Ocampo y Armstrong-Altrin, (2023) quienes reportan en una playa de Tampico, Tamaulipas un promedio de abundancia de MPs de 13,392 partículas por kilogramo de sedimentos.

En playas de Puerto Vallarta, Jalisco, México, Mejía-Estrella et al., (2023) reporta como máximo 49 partículas por kilogramo, por debajo de las encontradas en Tampico y en el presente trabajo. Es de llamar la atención que, en otro estudio realizado en las

playas de Colima y Jalisco, México por Torrez-Pérez et al., (2021), se reporten del orden de 2553 partículas por kilogramo. Considerando los resultados de otros autores en playas mexicanas, se puede decir que las playas de la Región Guaymas-Empalme tienen una contaminación relativamente baja de MPs. Este trabajo se limitó a presentar resultados cuantitativos, es decir número de partículas por muestra analizada, y comparar la densidad de partículas por kilogramo de sedimentos con otros trabajos similares, por lo que no se realizaron pruebas estadísticas.

#### IV. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las playas de la región Guaymas-Empalme presentan contaminación por MPs. El origen de la contaminación por MPs está ligada a las actividades turísticas, la hipótesis se refuerza ya que en los sitios de muestreo donde hay más afluencia de turistas se encontró el mayor número de partículas por cada 100 gramos de sedimento en todas las playas. Las fibras encontradas se presumen que provienen de artes de pesca desechadas por las actividades de pesca industrial y ribereña. La presencia de MPs genera riesgos para la salud humana y para los organismos que habitan y se reproducen en la zona costera, los efectos de la ingesta de estas partículas aún están bajo investigación. Los métodos y técnicas para la determinación de los MPs son diversas, por lo que es necesario, para propósitos de comparación, estandarizar la metodología. Otro factor importante es la técnica de recolección de las muestras, pues estas pueden colectarse en la superficie o bien usando nucleadores como en este trabajo, que permiten obtener muestras a mayor profundidad, también es necesario definir la zona de la playa donde se colectarán las muestras, en este trabajo todas las muestras se recabaron en la pendiente de la playa, pero bien pudieran extraerse en las bermas de las playas o bien considerar algún plano de marea (Pleamar máxima, Bajamar mínima etc.), la dinámica de una playa varía en función de la zona considerada (berma, pendiente de la playa, zona de rompiente etc.). La investigación acerca del origen de los MPs por aerosolización está en etapas incipientes, en este trabajo no se evaluó esta posible fuente de MPs. Las unidades de presentación de los resultados también varían entre los autores, las más utilizadas son número de partículas por metro cuadrado y número de partículas por kilogramo, en este trabajo se utilizó la segunda opción, ya que las muestras fueron colectadas mediante un nucleador metálico. En comparación con algunas playas de Jalisco, Colima y Tamaulipas, las playas de la región Guaymas-Empalme muestran una contaminación baja por MPs, por lo que se sigue a las autoridades municipales encargadas de la ecología, realizar campañas de educación ambiental entre la población para informar sobre la presencia y el riesgo para la salud humana que representa la presencia de los MPs, esto a través de conferencias y folletos, así como generar conciencia en la población para disminuir en lo posible el uso de los plásticos y fomentar el reciclaje. También es recomendable reactivar el comité de playas limpias, a fin de organizar en conjunto con la población campañas de limpieza periódicas para evitar que los



desechos plásticos se degraden y se integren a los sedimentos de las playas. Para complementar este trabajo es necesario analizar las muestras con la técnica de espectroscopia infrarroja en combinación con la transformada de Fourier para determinar a nivel químico los tipos de MPs encontrados en las playas.

## V. AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes que participaron en los trabajos de campo y de laboratorio. Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico brindado a través de la convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación y al Instituto Tecnológico de Guaymas por el apoyo administrativo brindado.

## 1. VI. REFERENCIAS

- Bak, J., Kang, H. B., y Choi, Y.-S. (2021). Microplastics in the Marine Environment and Their Impacts on Human Health. *Journal of Life Science*, 31(4), 442–451. <https://doi.org/10.5352/JLS.2021.31.4.442>
- Barceló, D., y Picó, Y. (2019). Microplastics in the global aquatic environment: Analysis, effects, remediation and policy solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103421. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2019.103421>
- Bornstein, D., y Steinhaus, J. (2024). The Côte d'Argent, France: Quantification of Plastic Pollution in Beach Sediments. *Sustainability (Switzerland)*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/su16072992>
- Calvo-Anglada, S., y Morales, E. B. (2020). *Detección y Caracterización por Tamaños De Micro y Nanoplásticos En Muestras De Interés Ambiental Trabajo Fin de Grado*.
- Flores-Ocampo, I. Z., y Armstrong-Altrin, J. S. (2023). Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891>
- García-Morales, G., Arreola-Lizárraga, J. A., Mendoza-Salgado, R. A., García-Hernández, J., Rosales-Grano, P., y Ortega-Rubio, A. (2018). Evaluation of beach quality as perceived by users. *Journal of Environmental Planning and Management*, 61(1), 161–175. <https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1295924>
- García-Morales, G., Arreola-Lizárraga, J. A., Mendoza-Salgado, R. A., Rosales-Grano, P., García-Hernández, J., Padilla-Arredondo, G., y Ortega-Rubio, A. (2017). Análisis de la aptitud recreativa orientada a la gestión ambiental de la playa El Cochórit, Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(Special Issue 1), 35–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.03>
- García-Regalado, A., Herrera, A., y Almeda, R. (2024). Microplastic and mesoplastic pollution in surface waters and beaches of the Canary Islands: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 201). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116230>
- Lee, H., Kim, S., Sin, A., Kim, G., Khan, S., Nadagouda, M. N., Sahle-Demessie, E., y Han, C. (2023). Pretreatment methods for monitoring microplastics in soil and freshwater sediment samples: A comprehensive review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 871). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161718>

Mejía-Estrella, I. A., Peña-Montes, C., Peralta-Peláez, L. A., Del Real Olvera, J., y Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplastics in Sandy Beaches of Puerto Vallarta in the Pacific Coast of Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/su152115259>

Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S., y Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, 494(7436), 169–171. <https://doi.org/10.1038/494169a>

Torrez-Pérez, K. A., Cervantes, O., Reyes-Gomez, J., y Olivos-Ortiz, A. (2021). Quantification and Classification of Microplastics (Mps) in Urban, Suburban, Rural and Natural Beaches of Colima and Jalisco, México. *Revista Costas*, 3(1), 207-230. doi: 10.25267/Costas.2021. v2.i3.0903

Wright, S. L., y Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science and Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>

## VII. AUTORES

Pedro Rosales Grano



<https://orcid.org/0009-0006-7911-0780>

Arturo Ochoa Castro



<https://orcid.org/0009-0000-6319-9721>

José Darío Villicaña Aguayo



<https://orcid.org/0009-0005-9395-8887>

Fidel Castro Hernández



<https://orcid.org/0009-0007-6824-1010>

Laura Janeth Vega Valverde



<https://orcid.org/0009-0005-0770-5710>