



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

**ABUNDANCIA DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DE
PLAYA TORTUGUERA EN GOLFO DE MÉXICO.**

P R E S E N T A:

ANDREA GONZÁLEZ CRUZ

MATRICULA:

2183070397

ASESOR INTERNO:

DR. JORDAN KYRIL GOLUBOV FIGUEROA

ASESOR EXTERNO:

DR. JOHN SELVAMONY ARMSTRONG ALTRIN SAM

J. Golubov
John Selvamony Armstrong Altrin Sam

México, CDMX.

2022

RESUMEN

Los microplásticos (MP) llegan a ser ingeridos por una amplia variedad de organismos acuáticos y adherirse a sus estructuras, afectando su biología, alteran la calidad tanto de los recursos hídricos, como de los alimentos de consumo humano que se obtienen de los cuerpos de agua dulce y marinos, por lo que los microplásticos son una amenaza global (IMTA 2020). Este estudio tuvo como objetivo evaluar la abundancia y características de los microplásticos de playa Tortuguera. Las partículas identificadas en esta investigación eran fibras, que es el tipo más común que se encuentra en otros estudios realizados en todo el mundo. Se procedió a realizar una separación de los plásticos por densidad y, tras filtrar el sobrenadante, se realizó el recuento de microplásticos con un microscopio electrónico. En estas muestras fue posible cuantificar microplásticos pequeños, grandes y mesoplásticos.

Los microplásticos que se encontraron no han tenido mucho contacto con el sedimento, lo que sugiere que el origen de los MP depositados es creciente, un indicador de contaminación constante en la zona. La importancia de identificar los MP en las zonas costeras puede ayudar a identificar de donde provienen los microplásticos, su distribución de acuerdo con las mareas y como se van degradando de acuerdo con estas.

Palabras clave: microplásticos, degradación, fibras, amenaza global, abundancia y contaminación.

ABSTRACT

Microplastics (MP) become ingested by a wide variety of aquatic organisms and adhere to their structures, affecting their biology, altering the quality of both water resources and food for human consumption that are obtained from freshwater and marine bodies, so microplastics are a global threat (IMTA 2020). This study aimed to evaluate the abundance and characteristics of microplastics in the Tortuguero beach sediments. The particles identified in this research were fibers, which is the most common type found in other studies conducted around the world. The plastics were separated by density and, after filtering the supernatant, the microplastic count was carried out with an electron microscope. In these samples it was only possible to quantify small, large and mesoplastic microplastics.

The microplastics that were found have not had much contact with the sediment, which suggests that the origin of the MP deposited is increasing, an indicator of constant and growing pollution in the area. The importance of identifying MP'S in coastal areas can help identify where the microplastics come from, their distribution according to the tides and how these are degraded.

Keywords: Microplastics, degradation, fibers, global threat, abundance and pollution.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
ANTECEDENTES	4
MARCO TEÓRICO	5
3.1 Zona de estudio.....	5
3.2 Temperatura.....	6
3.2.1 Clima	6
3.2.2 Fauna	6
3.2.3 Vegetación.....	6
3.3 La contaminación por RSU.....	7
3.3.1 Microplásticos	7
3.3.2 Degradación en los microplásticos.....	7
METODOLOGÍA.....	8
4.1 Trabajo de campo.....	8
4.1.1 Extracción	9
4.1.2 Secado.....	9
4.2 Separación de microplásticos.....	9
4.2.1 Preparación de solución de Cloruro de sodio (NaCl).9	
4.2.2 Extracción de microplásticos.....	9
4.3 Reposo de microplásticos.....	10

4.3.1 Filtrado de sobrenadante.....	10
4.3.2 Cuantificación y Clasificación de MP.	11
4.3.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	12
RESULTADOS.....	12
5.1Conteo y clasificación.....	12
5.1.1 Cantidad de microplásticos en 20g y 1 kg.....	13
5.1.2Clasificación por colores	13
5.2Clasificación por tamaño.....	14
5.2.1Nivel de degradación	15
CONCLUSIÓN.....	17
6.1Agradecimientos.....	17
6.1.1 Agradecimientos académicos.....	17
6.1.2 Agradecimientos personales.....	17
REFERENCIAS.....	18
ANEXOS.....	22

1. INTRODUCCIÓN

Los océanos se han convertido en gigantescos vertederos de todo tipo de cosas, entre los que sobresalen los plásticos, y los microplásticos (MPs), las cuales son piezas de desecho del rango de 0.3-5 mm considerados contaminantes. Estos pequeños fragmentos de plástico, fibras y gránulos proceden tanto de plásticos grandes que por consecuencia de los rayos ultravioleta, el calor y el oleaje se desintegran en las playas o el mar, como de los que desde su origen son apenas visibles: las microesferas provienen de exfoliantes cosméticos, abrasivos de las pastas dentales y de productos de limpieza, las fibras de pastos artificiales de fútbol y de prendas textiles, partículas que desprenden las llantas al rodar, y muchos más (SEMARNAT 2018). Una vez que entran en contacto con el agua se encuentran con bacterias que los colonizan y crean fibras, las cuales parecen alimento por lo que son consumidas y se acumulan a la cadena alimentaria (Shrees 2022):

2. ANTECEDENTES

La acumulación de plásticos en los diferentes entornos ambientales ocurre a una escala mundial, incluso en las playas alejadas de la urbanización. Las condiciones ambientales y dinámicas de las playas dan lugar a la degradación y fragmentación de residuos macrolásticos en tamaños cada vez más pequeños hasta convertirse en lo que se les denomina microplásticos (Torres 2020). De acuerdo con Hanvey et al., (2017), se deben observar varios aspectos para el estudio de los microplásticos, como la profundidad del sedimento, la cual influye en las concentraciones de microplásticos y la carga ambiental aparente de los plásticos y otros como el tamaño de los microplásticos. Los MP en el ambiente marino son capaces de absorber contaminantes del agua de mar, ofreciendo un medio por el cual pueden ser ingeridos por invertebrados, peces, aves y tortugas, y entrar en la cadena alimentaria. En la playa de Tuxpan, Veracruz, se obtuvieron concentraciones de MP en arena muestreada con valores máximos de 23 pzs/kg de arena seca (Mendoza, 2018).

En investigaciones de Lizano et al. (2023) los peces muestreados en México presentaron 59% de partículas microplásticas en sus estómagos. Amaya (2016) reportó que, en la especie de equinodermos conocidos como ofiuros (*Ophiocoma echinodermata*), la tasa de ingestión varía entre 0 y 248 unidades de microplásticos en un lapso de 48 horas. En animales como mamíferos marinos (cetáceos), también se ha demostrado la presencia de microplásticos; Olavarrieta (2017) reportó los valores de ftalatos (aditivos químicos de los microplásticos) encontrados en hembras de la ballena (*Balaenoptera physalus*) (Lizano et al., 2023).

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Zona de estudio

La playa Tortuguera pertenece al Golfo de México en el estado de Veracruz donde el clima es de carácter intertropical, localizada en las coordenadas 20° 8' 55.19" N y 96° 42' 0.08" O (Imagen 1). Denominado así ya que es un sitio de anidación y alimentación de tortugas (CONANP 2018).

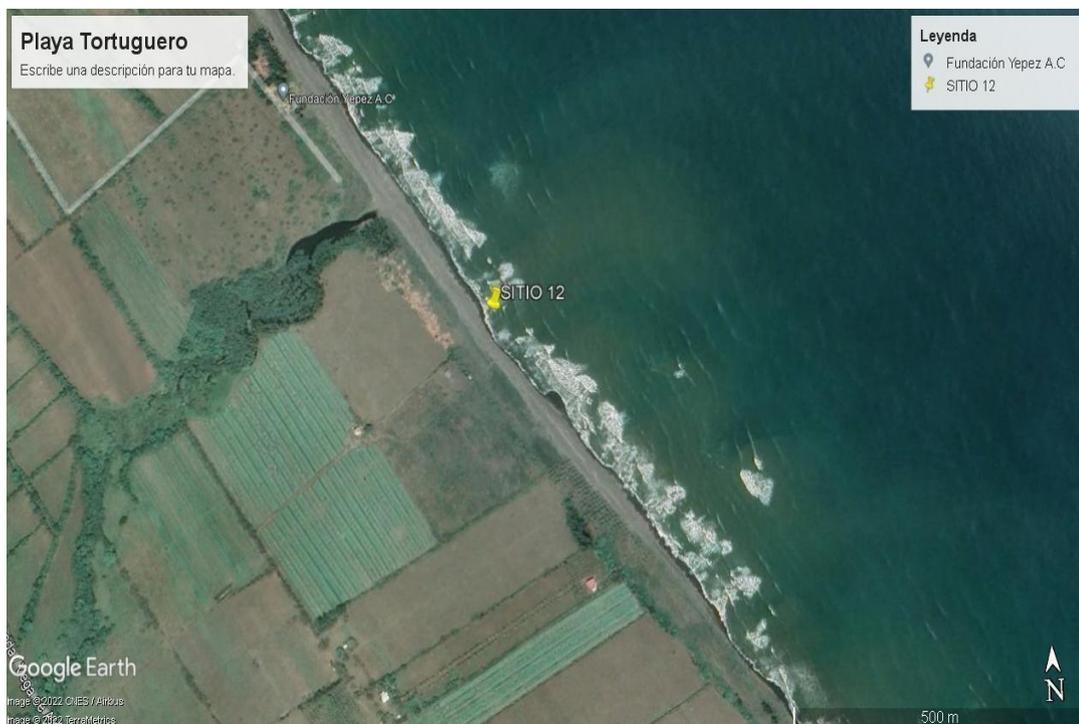


Figura 1: Fotografía satelital de la zona de estudio #12 (Satélite Simón Bolívar 2020).

3.2 Temperatura

La temperatura de la superficie del mar va desde los 18 ° C en invierno hasta los 40° C en verano en la costa de Yucatán. El rango intermareal es pequeño, con un promedio de 50-60 cm en la mayor parte de la costa. La precipitación media estatal es de 1 500 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a octubre; en la región colindante con Tabasco se presentan todo el año (CONABIO 2022).

3.2.1 Clima

En la región del golfo el clima varía de tropical a subtropical. Todos los años entre junio y noviembre se dan las condiciones meteorológicas y oceanográficas propicias para el desarrollo de huracanes en cualquier punto del Golfo, que pueden llegar a ser muy destructivos (Terrasa, 2020). El clima es templado húmedo, cálido húmedo y subhúmedo con abundantes lluvias en verano y todo el año (Arriaga, 2009).

3.3 La contaminación por Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los RSU generados en las viviendas, provienen del desecho de los materiales que utilizan en sus labores domésticas y los artículos que consumen. Los RSU se dividen en plásticos, textiles, vidrio, metales, papel, cartón y otros productos de papel, pero este estudio se concentró en residuos plásticos (Rosario, 2016).

3.3.1 Microplásticos

El uso excesivo de materiales plásticos ha conllevado a una gran cantidad de residuos que se pueden acumular tanto en medios terrestres como acuáticos si no se tratan de forma adecuada (Jambeck et al., 2015; Barnes et al., 2009). Estos residuos al estar expuestos a la acción de diversos factores naturales los llevan a tener procesos de fragmentación, generando pequeñas partículas de plásticos. Estas partículas se denominan microplásticos cuando presentan un tamaño menor a 5 mm y nanoplásticos cuando sus dimensiones están por debajo de 100 nm (Silva et al., 2018).

Los microplásticos con mayor presencia son las fibras, las cuales son consideradas microplásticos secundarios y consisten en pequeños hilos de plástico provenientes de diversos productos fabricados con poliéster, nylon, acrílico y otros textiles sintéticos, presentes en la ropa, los neumáticos, las redes de pesca, las colillas de cigarrillos y las alfombras, entre otros (Ríos, 2020).

La UNEP declaró en 2018 que hay hasta 51.000 millones de microplásticos en el mar, ingeridos por especies marinas y que terminan en el cuerpo del ser humano debido a su propagación dentro de las redes tróficas. Aunque no solo están presentes en animales marinos, terrestres y aves sino también hasta en el agua del grifo (UAEH, 2021).

3.3.2 Degradación en los microplásticos

Los microorganismos presentes en el ambiente son capaces de contribuir al intemperismo de los plásticos, a lo que se le llama degradación donde participan principalmente bacterias y hongos, que transforman o alteran, metabólicamente o enzimáticamente, la estructura de determinadas sustancias presentes en el medio ambiente.

La degradación microbiana puede resumirse en la colonización, el biodeterioro, la biofragmentación, la asimilación y la mineralización. Además, ciertos factores abióticos como la luz, la meteorización, el calor, la humedad o el pH también intervienen en el proceso, fomentando la fragmentación y degradación de los compuestos (Moreno, 2021).

4. METODOLOGÍA

4.1 Trabajo de campo

Se tomaron muestras a lo largo de la playa Tortuguera Veracruz siendo parte del proyecto de investigación “Procedencia de sedimentos terrígenos costeros y de plataforma continental del Golfo de México, México” a cargo del Dr. Armstrong Altrin Sam John Selvamony en septiembre de 2022.

4.1.1 Extracción

Se tomaron un total de 12 muestras de sedimento en la zona de mesoplaya, recolectando 1 kg de arena a una profundidad máxima de 30 cm. La muestra se recolectó en bolsas tipo ziploc etiquetándolas con el nombre del sitio y número de muestra. Se registró el número de muestra y coordenadas geográficas. Se mantuvo una distancia de 50 m entre muestras.

4.1.2 Secado

Para los análisis de MP se usó la muestra de playa #12. La muestra se colocó en una charola especial resistente a las altas temperaturas, y secada en un horno a 60°C por 24 horas.

4.2 Separación de microplásticos

Se tomaron muestras del sedimento #12 para hacer comparaciones y ver la abundancia de microplásticos en cada una de las muestras, con las cuales se extrapoló para pronosticar cuántos microplásticos hay aproximadamente en 1 kg de sedimento.

Se pesaron 20 g por muestra de arena, por triplicado en vasos de precipitado.

Muestra	Peso de la muestra (g)
A	20.03 g
B	20.03 g
C	20.49 g

Tabla 1: Peso(g) de sedimento en cada muestra obtenida.

4.2.1 Preparación de solución de Cloruro de Sodio (NaCl)

Se pesaron 120.08 g de sal y se le añadieron 250 ml de agua destilada, hasta tener una densidad de 1.2g por cm³ creando una reacción exotérmica. Se dejó agitando por 20 minutos con la ayuda de una parrilla y barras magnéticas octagonales.

4.2.2 Extracción de microplásticos

Se preparó una solución de Cloruro de sodio (NaCl) con relación de 1 a 3 peso: volumen, hasta obtener una densidad de 1.2 medida con densímetro. Los microplásticos con una densidad aproximada de 1 se separaron del sedimento por la diferencia de densidad.

A cada muestra con sedimento se le añadieron 60 ml de la solución de Cloruro de Sodio (NaCl), y se agitaron con ayuda de una parrilla y una barra magnética por 20 minutos, para poder hacer una separación por densidad (Figura 2).

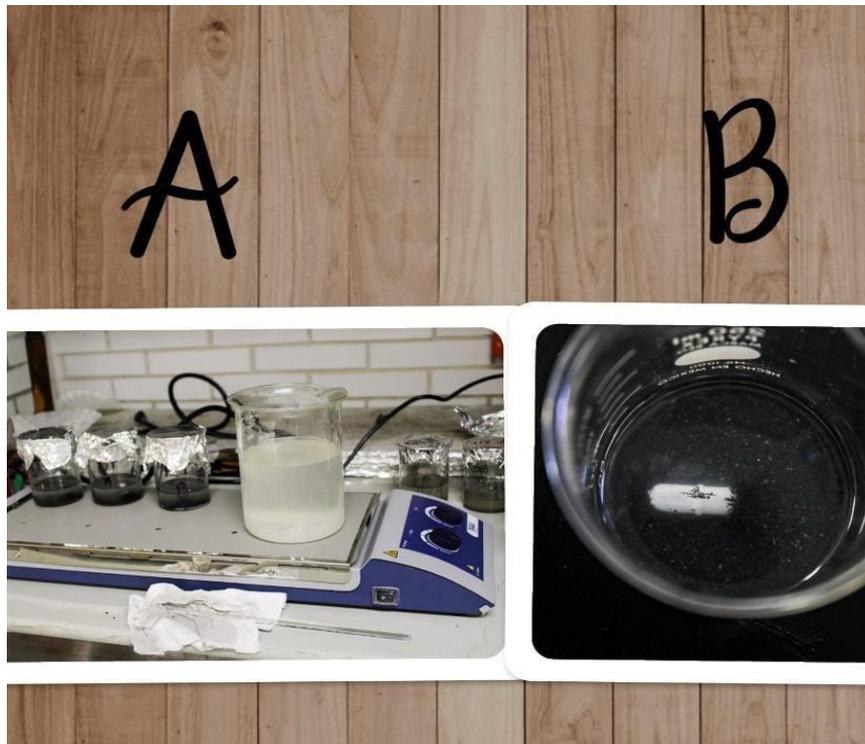


Figura 2: A. Vasos de precipitado con muestras de sedimento agitándose con solución de Cloruro de Sodio en parrilla magnética. B. Barra magnética octagonal con anillo de 8 x 25 mm.

4.3 Reposo de microplásticos

Se dejaron las muestras en reposo por 24 hrs para que los microplásticos puedan separarse del sedimento. Se dejaron cubiertas con papel aluminio para evitar la contaminación. El gradiente de densidad genera fases en donde el sedimento se quedó en la parte inferior, la sal en la parte media y los microplásticos en la parte superior.

4.3.1 Filtrado de sobrenadante

Se filtraron los microplásticos con ayuda de una jeringa, un empaque y filtros (membranas de microcelulosa) que se colocaron en un swinnex. El agua de los vasos se extrae con jeringa para que los microplásticos se adhieran a las membranas de microcelulosa y puedan ser separados, clasificados y cuantificados (Figura 3).

Para poder utilizar la jeringa con el swinnex debe tener puesto el filtro y un empaque. Con la jeringa se fue sacando el agua de los vasos de muestra sin mover el vaso para no mezclar las fases y cuidando que la jeringa no toque el sedimento. Se puso el empaque y el filtro dentro del swinnex y se conectó a la jeringa para el filtrado del agua, dejando el sobrante de agua en otro recipiente. Si se llegaba a sentir presión en el swinnex se quitaba por completo de la jeringa y luego se volvía a colocar para no romper el filtro. Se siguió extrayendo agua de la muestra hasta casi rozar el sedimento. Se quitó el swinnex de la jeringa, se puso a calentar 500 ml de agua destilada y se llenó la jeringa, se puso el swinnex y se pasó el agua por él para quitar los restos de sedimento que pudieron haberse quedado en el filtro.



Figura 3: Jeringa, swinnex, pinzas y membranas de microcelulosa en su empaque.

4.3.2 Cuantificación y Clasificación de MP.

Se realizó una cuantificación y clasificación de los microplásticos, para lo que el filtro se secó previamente a temperatura ambiente en una caja petri. El portaobjetos se llevó al microscopio para visualizar y contar los microplásticos. Debido al tamaño de las partículas, éstas se separaron con la ayuda de unas pinzas de acero inoxidable y conservadas en cajas petri para posteriores análisis.

Se efectuó la toma de fotografías para cuantificación y clasificación de microplásticos con ayuda de un microscopio Nikon SMZ745T equipado con una cámara fotográfica. Se tomaron fotos con la luz apagada para poder observar los microplásticos transparentes y con luz para los microplásticos de colores, ya que la caracterización de plásticos depende del tipo de luz. Con base en las fotos se realizó la medición de los microplásticos dividiéndolas por muestra. Con ayuda de la aplicación Image J se tomó la medida de cada uno de los microplásticos (μm), donde estos datos fueron extrapolados para calcular abundancia, promedio y densidad de MP por volumen de muestra.

4.3.3 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Con un Microscopio estéreo zoom y la asesoría de la M. e n C. Laura Gómez en la toma de fotografías, se analizó el estado de conservación o degradación de los microplásticos para clasificarlos: microplásticos conservados, poco degradados y muy degradados.

5. RESULTADOS

5.1 Conteo y clasificación

El tipo de microplásticos encontrado en las muestras fueron fibras (Figura 4). Al ser filtrados después de la solución de cloruro de sodio, se pudieron observar microplásticos que se clasifican en dos categorías; los que flotan en el agua (Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno expandido (PS)) y hundible (Poliestireno (PS), Policloruro de vinilo flexible (PVC) y Poliamida o nylon (Anexo 1).



Figura 4: Microplásticos vistos con el microscopio

5.1.1 Microplásticos en 20 g y 1 kg: microplásticos vistos desde el microscopio

Con ayuda de la tabla de clasificación de microplásticos (anexo 2). Se contabilizaron un total de 174 microplásticos dónde se encontró un promedio de 58 microplásticos por cada 20 g de sedimento (Tabla 1), y un total de 2900 microplásticos por cada kilogramo de sedimento de playa (Tabla 2). Se encontraron diferencias importantes en el número de MP entre sitios ($\chi^2 = 10.79$, g. l= 2, $p=0.00468$). Los residuales ajustados mostraron que se encontraron más MP de lo esperado en 12 TA ($t=3.245$, $p<0.05$) asumiendo una misma probabilidad de encontrar MP en las tres muestras. Tanto 12TB como 12TC no fueron diferentes a los esperado.

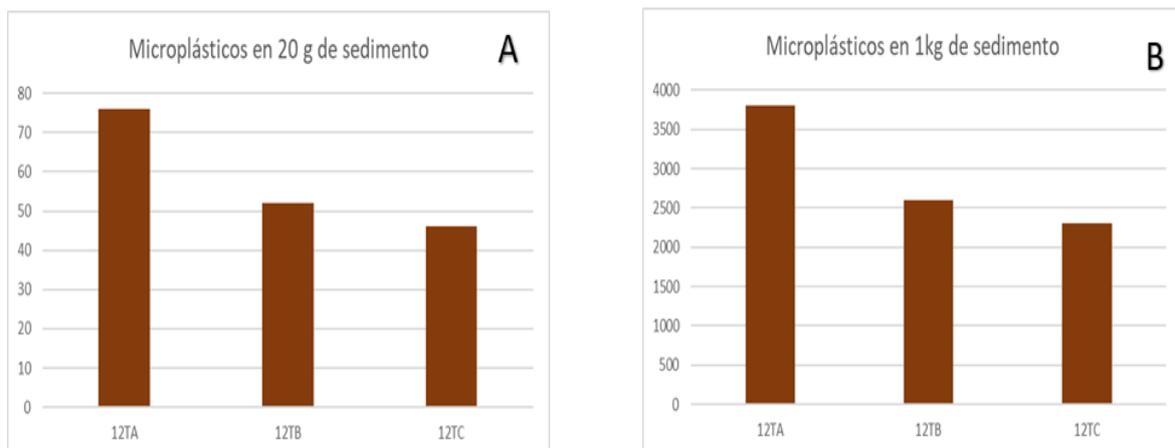


Tabla 1: Microplásticos en A) 20g y B)1 kg de sedimento por muestra tomada.

5.1.2 Clasificación por colores

Se observaron un total de 4 colores, mostrando que los microplásticos más predominantes fueron los tonos fríos (color azul, con un 92%) y las menos presentes los rojos que son tonos cálidos y multicolor, con un 2% cada uno (Tabla 2). No encontramos diferencias significativas del color entre las muestras ($\chi^2= 7.8056$, g. l= 7g y $p= 0.2528$)

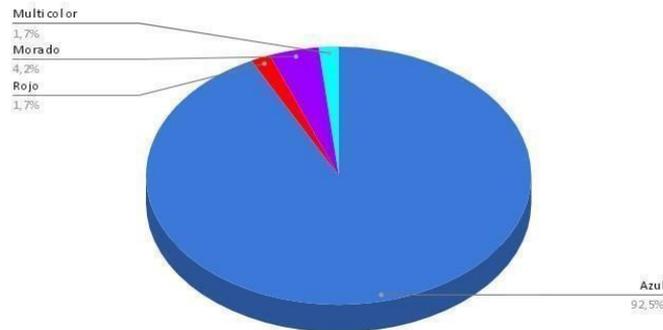


Tabla 2: Colores de microplásticos presentes en las muestras

5.2 Clasificación por tamaño

Al calcular el tamaño promedio de microplásticos se obtuvo que en la muestra TA el promedio de tamaño en micrómetros fue de 134,09, en la TB de 201,12 y en TC 157,23 (Figura 5). El tamaño de microplásticos más abundante de acuerdo con la tabla de tipo de microplásticos por tamaño en mm (anexo 3) y el (anexo 4) que son el resultado de la abundancia de microplásticos encontrados en las 3 muestras, son los microplásticos pequeños. No se encontraron diferencias en el tamaño de los MP encontrados entre las muestras tomadas ($F_{2,373}= 2.62$, $P=0.0742$) aunque hay una tendencia de tener MP más pequeños en las muestras 12 TA y 12 TC.

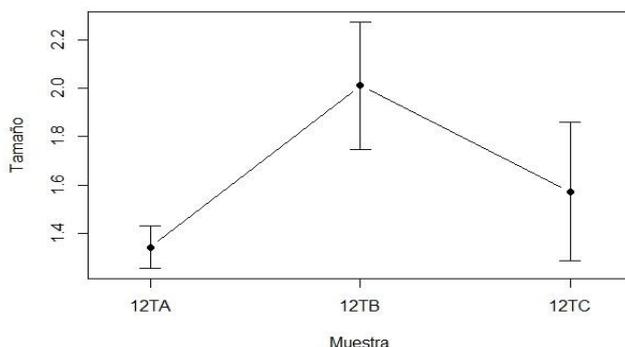


Figura 5: Tamaño promedio de microplásticos presentes en las muestras en µm.

5.2.1 Nivel de degradación

Se tomaron 4-5 submuestras de cada muestra (TA, TB y TC) para evaluar su grado de deterioro.

Con ayuda de las fotografías obtenidas en la microscopía electrónica de barrido se pudo observar el nivel de degradación de los microplásticos entre los que B, C e I fueron microplásticos conservados D, E, H, K poco degradados y A, F, G, J muy degradados en donde A, B, C y D son de la muestra TA, E, F, G y H de la muestra TB y I, J y K de la TC. (Figura 6).

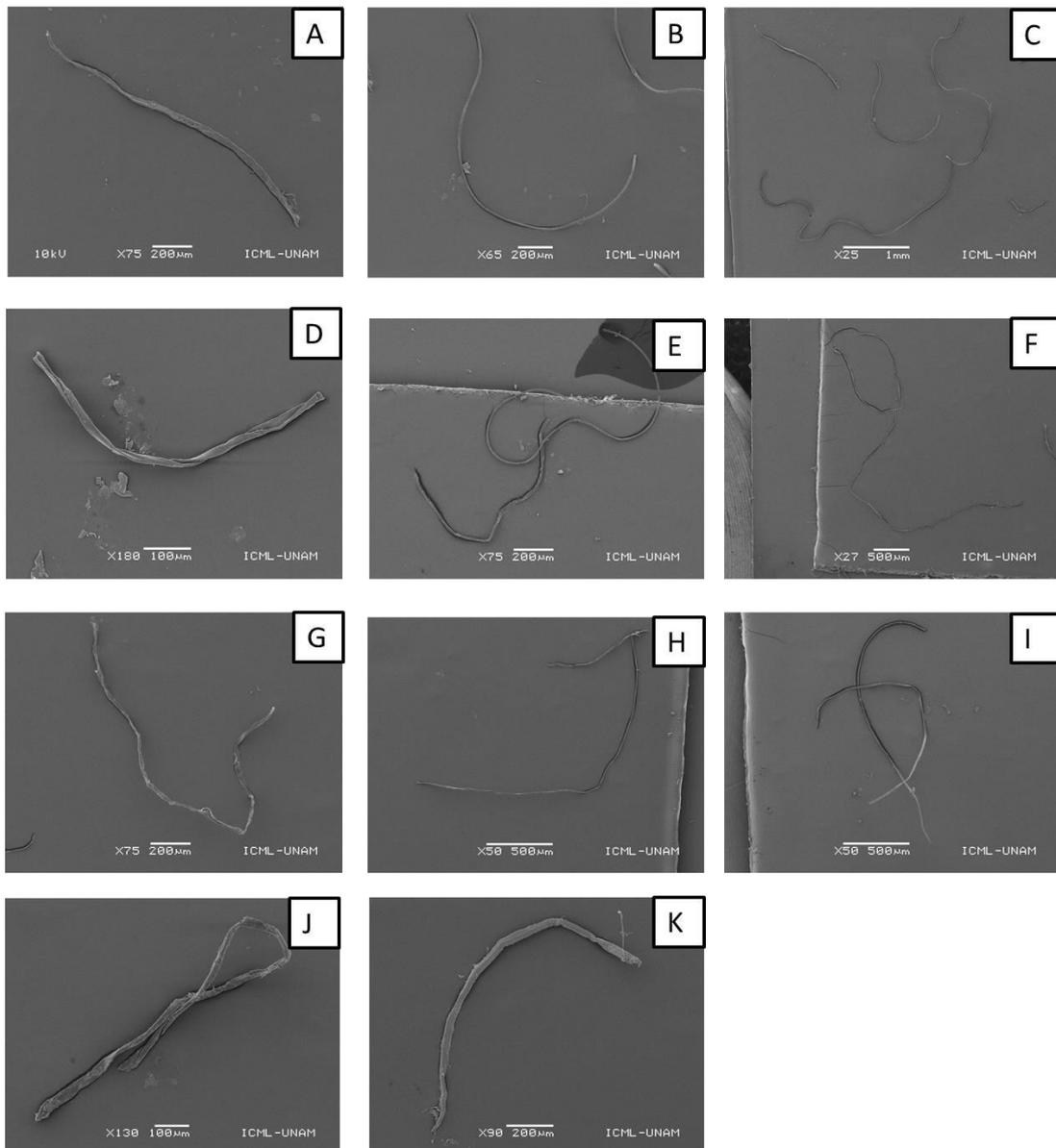


Figura 6: Imágenes SEM de las diferentes degradaciones en microplásticos completos.

Los microplásticos seleccionados para la microscopía electrónica fueron elegidos por las diferencias en color, mientras que se tomaron fotografías de los diferentes tipos de degradación observada presente en cada microplásticos (Figura 7).

Debido a la degradación presentó microagujeros dónde se observó que el microplástico estuvo muy degradado (A), en cambio otros como B, C, D, F, I y L están conservados, pero tienen diferentes formas y texturas en su superficie. Algunas están degradadas por cortes o rupturas los cuales muestran que están poco degradados (E y G) y los que están muy degradados que se ve que su estructura es rugosa con cambios en su estructura (H, J y K).

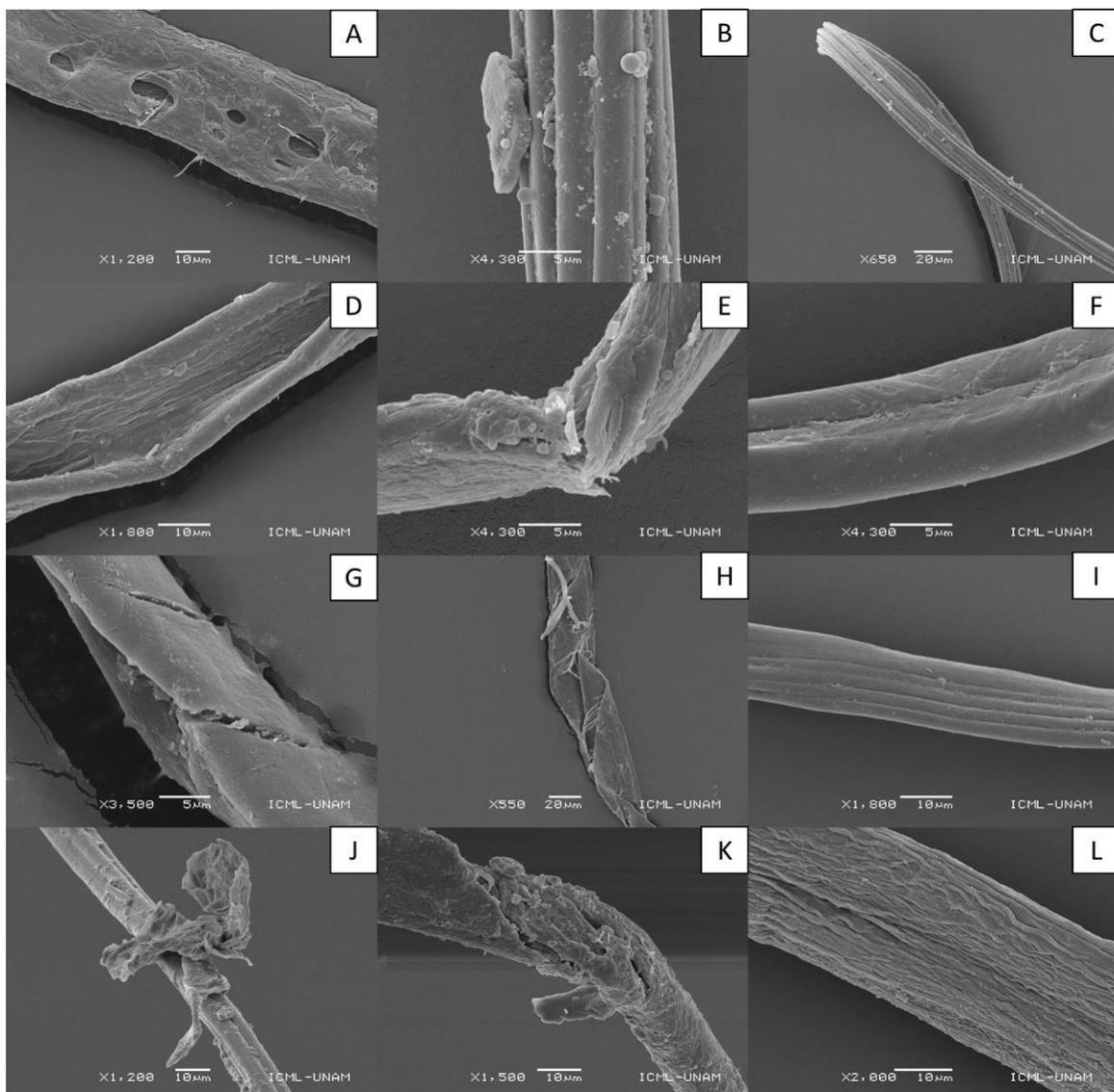


Figura 7: Imágenes SEM de las diferentes degradaciones en partes de microplásticos.

Se pudo observar los extremos de los microplásticos los cuales tenían distintos niveles de degradación en donde A y F están muy degradados llegando a deshacerse en partes muy delgadas hasta ser hebras, o en un nivel medio degradado dónde no están conservados, pero tampoco llegan a ser hebras aún como en las figuras D, E e I, mientras que B, C, G y H aunque tienen diferentes formas, están conservados (Figura 8).

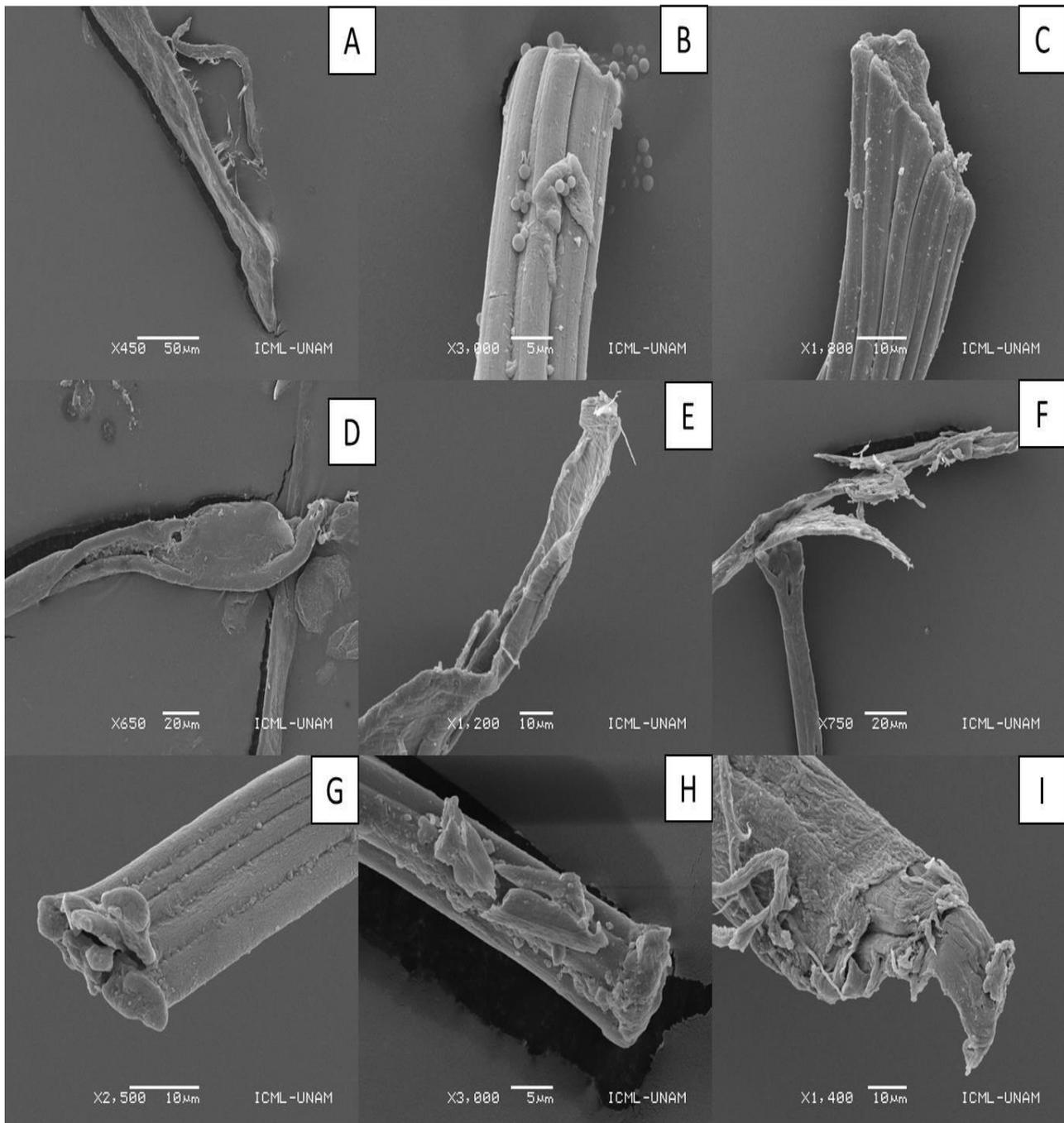


Figura 8: Imágenes SEM de las diferentes degradaciones en el borde de los microplásticos

6. CONCLUSIÓN

Los ecosistemas playeros han sido vertederos de basura, lo que ha provocado una gran contaminación por plásticos. Los plásticos son degradados por el movimiento y el paso del tiempo creando microplásticos, los cuales quedan en los sedimentos de la playa y hasta en el agua, siendo una fuente de contaminación que afecta a todo el medio ambiente. Los microplásticos presentes en la Playa Tortuguera de Veracruz fueron fibras, las cuales están presentes en grandes cantidades con un promedio de 2900/kg tomando en cuenta la cantidad de muestra estudiada, en comparación con Flores (2021) con un promedio de 237/kg. El color más predominante encontrado en las muestras fue el azul y de acuerdo con las fotografías de la microscopía electrónica de barrido la muestra TB presentaba los microplásticos más degradados. Sin embargo, casi todos los microplásticos estaban conservados, lo que demuestra que llevan poco tiempo en el sedimento y su origen es reciente. Es necesario evaluar la densidad, tipo y nivel de degradación de MP en la zona de litoral para evaluar los niveles de contaminación y proponer medidas puntuales que puedan disminuir esta fuente de contaminación.

6.1 AGRADECIMIENTOS

6.1.1 Agradecimientos Académicos

Agradezco al Doctor Jordan por aconsejarme y orientarme, agradezco al Doctor Armstrong por haberme instruido e invitado a realizar este proyecto y darme oportunidades de abrirme a nuevos conocimientos, agradezco a la Maestra Zacnite por apoyarme y formarme en conocimientos de separación de microplásticos que desconocía y estar apoyándome a lo largo de este proyecto y a la M. en C. Laura Gómez por prestarnos su laboratorio para la toma de fotografías.

6.1.2 Agradecimientos personales

Agradezco a mis padres por su dedicación y apoyo incondicional para poder lograr mis objetivos y presentar este último proyecto para comenzar mi vida profesional y agradezco a mi gatita Bastet por estar conmigo en mis días de desvelo y en momentos en que pensaba que no podría terminar, dándome apoyo y consuelo.

7. REFERENCIAS

1. M. L. Arriaga. (2009). Monitoreo de la calidad del agua del río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora, Veracruz. Revista Latinoamericana De Recursos Naturales.
<https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/164>
2. Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. Philosophical Transactions of the Royal Society of London.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>
3. Bonilla, H. R., Gómora, L. V. & Alarcón, I. M. (2022). Contaminación marina por microplásticos en la península de Baja California. Revista Ciencia, 73 (2), 28-35.
4. Castillo, F. Great Ocean Garbage Patch. (2014). Slides.
<https://slides.com/martacastillo/microplasticos>
5. CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022). Flora y Fauna de Veracruz. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/recursos_naturales.aspx
6. CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). (2018). Estudio Previo Justificativo para la modificación de la declaratoria de Santuarios de Playas Tortugueras. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).
<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.conanp.gob.mx/anp/consulta/EPJ%2520santuarios%2520Platas%2520Tortugueras%2520Aviso.pdf&ved=2ahUKEwjFhLkQsc76AhWMLUQIHUwBA5oQFnoECBUQAQ&usg=AOvVaw0I347ILXE0iq51C4oadwCv>
7. Flores, C. (2021). Características texturales y contaminación por microplásticos en los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz. Universidad Autónoma de México (UNAM). 1-94.

8. Hanvey, J.S., Lewis, P., Lavers, J.L., Crosbie, N.D., Pozo, K., & Clarke, B.O. (2017). A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments. *Analytical Methods*, 9(1), 1369-1383.

9. IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2020). Contaminación por microplásticos. Gobierno de México. Contaminación por microplásticos Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Gobierno gob.mx (www.gob.mx)

10. Terrassa, D. (2020). Golfo de México. La guía de Geografía. <https://geografia.laguia2000.com/hidrografia/golfo-de-mexico>

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

12. Lizano, E., Seade, J., Morán, D., Rosales, M. & Ugarte, P. (2023). Contaminación por microplásticos. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 3-94.

13. Mendoza, N. (2018). Adsorción de contaminantes en microplásticos en ambientes marinos. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco]. http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/6723/Adsorcion_de_contaminantes_Mendoza_Munoz_N_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20la%20playa%20de%20Tuxpan%2C%20Veracruz%2C%20se%20obtuvieron%20concentraciones%20de,pzs%2Fkg%20de%20arena%20seca.

14. Moreno, N. (2021). Degradación e Influencia de la Acumulación de Microplásticos en los Entornos Marinos. Universidad de Almería. http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/13502/DIA_Z%20MORENO%2C%20NICOLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

15. United Nations Environment Programme. (2018). Los microplásticos también están contaminando nuestros suelos. UNEP.

<https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/los-microplasticostambien-estan-contaminando-nuestros-suelos>

16. Florencia, M., Marques, F., Galvan, D. (2020). Residuos plásticos en Argentina. Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. Researchgate.(PDF) Microplásticos: Macroproblemas (researchgate.net)

17. Rosario. (2016). Manejo de residuos sólidos urbanos para la prevención de daños a la salud en el municipio de Cuernavaca Morelos. Instituto Nacional de Salud Pública, Escuela de Salud Pública de México. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://catalogoin.sp.mx/files/tes/0551111.pdf&ved=2ahUKEwim8_yngZr6AhVALEQIHYYCAYs4ChAWegQIGhAB&usg=AOvVaw07HI4YeVHBDJ2ahlxtEKT

18. Satélite Simón Bolívar. (2020). Playa Tortuguera (Veracruz). [Imagen satelital]. Google Earth.

<https://www.googleearth.com/AquíVaElEnlaceDirectoALaImagen>

19. SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2018). Microplásticos, otra forma de contaminación en los mares. Gobierno de México. Microplásticos, otra forma de contaminación en los mares Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Gobierno gob.mx (www.gob.mx)

20. Shrees. (2022). Microfibres that pollute the seas are floating homes for bacteria. New Scientist. <https://www.newscientist.com/article/2349356-microfibres-that-pollute-the-seas-are-floating-homes-for-bacteria/>

21. Silva, A.B., Bastos, A.S., Justino, C.I.L., da Costa, J.P., Duarte, A.C., Rocha-Santos & T.A.P. (2018). Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry - A review, Analytica Chimica Acta. vol. 1017, 1-19.

22. Torrez, K. Cervantes, J. Reyes-Gomez, A. Olivos-Ortiz. 2020. Quantification and Classification of Microplastics (Mps) in Urban, Suburban, Rural and Natural Beaches of Colima and Jalisco, México. *Revista Costas*, 3(1): 207-230.

23. UAEH (Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). (2021). ¿Qué son los microplásticos y cómo nos afectan? Observatorio tecnológico de Hidalgo. <https://otech.uaeh.edu.mx/noti/index.php/ecologia/que-son-losmicroplasticos-y-como-nosafectan/#:~:text=La%20ONU%20declar%C3%B3%20en%202017%20que%20hay%20hasta,sino%20tambi%C3%A9n%20hasta%20en%20el%20agua%20del%20grifo> .

ANEXOS

Categorías o clases	Aplicaciones comunes	Densidad específica
Polietileno (PE)	Bolsas de plástico, anillos de six pack de cerveza	0.91-0.94
Polipropileno (PP)	Soga, tapas de botella	0.90-0.92
Poliestireno expandido (PS)	Boyas, copas	0.01-1.05
Agua de mar		~1.02
Polyestireno (PS)	Utensilios, embalaje	1.04-1.09
Policloruro de vinilo flexible (PVC)	Bolsas, tubos	1.16-1.30
Poliamida o nylon	Soga	1.13-1.15
Polietilentereftalato (PET)	Botellas	1.34-1.39
Resina de poliéster + fibra de vidrio	Textiles	>1.35
Acetato de celulosa	Filtros de cigarro	1.22-1.24



Flotante



Hundible

Anexo 1: Tabla clasificación de microplásticos de acuerdo con su densidad (Castillo, 2014).

Anexo 2: Tabla de clasificación de microplásticos por tipo y color

Muestra	Cantidad	Tipo	Azul	Rojo	Morado	Multicolor
12 TA	76	Fibras	72	0	4	0
12 TB	52	Fibras	50	1	0	1
12 TC	46	Fibras	45	0	1	0

Anexo 3: Tamaño de microplásticos

mm	Tipo de microplásticos
$\leq 0,001$	nanoplásticos
< 1	Microplásticos pequeños
< 5	Microplásticos grandes
< 25	mesoplásticos
> 25	microplásticos

Anexo 4: Tamaño de microplásticos más abundante

