



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**CARACTERÍSTICAS TEXTURALES Y
CONTAMINACIÓN POR MICROPLÁSTICOS EN LOS
SEDIMENTOS COSTEROS DEL MUNICIPIO DE
TECOLUTLA, VERACRUZ**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA**

P R E S E N T A:

MAYTE FLORES CORTÉS



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOHN SELVAMONY ARMSTRONG-ALTRIN
SAM**

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I. Datos de la alumna

Flores

Cortés

Mayte

5574225077

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Ciencias de la Tierra

314338107

II. Datos del tutor

Dr. Armstrong-Altrin Sam John Selvamony

Investigador titular "B" T.C.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología

Ciudad Universitaria, UNAM.

III. Datos del trabajo escrito

Características texturales y contaminación por microplásticos en los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz.

122 p.

2021

Planet Earth, my home, my place
A capricious anomaly in the sea of space

Your riotous color, your fragrance, your taste
Have thrilled my senses beyond all haste
In your beauty, I've known the how
Of timeless bliss, this moment of now

Planet Earth, gentle and blue
With all my heart, I love you.

Michael Jackson

AGRADECIMIENTOS

Institucionales

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y la Facultad de Ciencias por brindarme años de formación académica que me han permitido adquirir el conocimiento científico necesario para llevar a cabo la presente tesis que busca contribuir a la sociedad y fomentar el cuidado del medio ambiente.

Agradezco al Dr. John Selvamony Armstrong Altrin Sam por aceptarme y asesorarme durante la realización del presente trabajo, por abrirme las puertas de su laboratorio y guiarme en la construcción del conocimiento científico, por todo su tiempo y apoyo, así como el apoyo financiero como becaria, proporcionado por parte del proyecto CONACYT A1 – S – 21287.

Agradezco la asistencia financiera al Dr. John Armstrong Altrin Sam por parte del proyecto DGAPA – PAPIIT número 107020 por el cual fue posible la recolección de muestras analizadas.

Agradezco al proyecto institucional número 616 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por las facilidades de transporte durante la recolección de muestras en las playas del Golfo de México.

Agradezco al M. en C. Eduardo Alfredo Morales de la Garza y a Ricardo Martínez Domínguez del Laboratorio de Sedimentología del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su ayuda en la preparación de las muestras analizadas.

Agradezco a la M. en C. Laura Elena Gómez Lizárraga del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por su apoyo en la obtención de las micrografías a través del servicio de microscopía electrónica de barrido (SEM).

Agradezco a los miembros de mi comité: Dra. Adela Monreal, Dr. Pandarinath Kailasa, Dra. Mayumy Cabrera Ramírez y Dr. Madhavaraju Jayagopal por brindarme de su tiempo y por cada uno de los comentarios realizados a este estudio.

Agradezco a Katherinne Macías Martínez, pasante de licenciatura, por ser mi compañera a lo largo de esta investigación, por compartir conmigo su conocimiento y además brindarme su amistad.

AGRADECIMIENTOS

Personales

Agradezco infinitamente a mi mamá, Teresa Cortés, por enseñarme que nada es imposible, por acompañarme y apoyarme en cada uno de mis proyectos de vida. Gracias porque tu sola has podido mantener este barco a flote, eres mi mayor ejemplo. Te dedico cada uno de mis logros, porque juntas hemos llegado hasta aquí y siempre iremos por más.

Agradezco a Ricardo Vanegas, porque te has convertido en un padre para mí y has estado conmigo en las etapas más importantes de mi vida. Gracias por tu incondicional amor y apoyo, sin ti ninguno de mis logros habrían sido posibles.

Agradezco a mi hermanita Violeta Ramírez, eres la chispita de mi vida, una pequeña maestra de vida. Gracias por ser mi cómplice, y fomentar en mí la perseverancia, la curiosidad y las ganas de seguir estudiando y descubriendo el mundo.

Agradezco a Fernando López, mi compañero de vida. Gracias por todo tu amor, por siempre creer en mí e impulsarme a ser la mejor versión de mí, por ser mi más grande apoyo en el ámbito académico y el emocional. Eres mi inspiración y mi motivación. Seguiremos creciendo juntos.

Índice

Resumen	1
Abstract.....	2
1. Introducción	3
1.1. Definición de los productos plásticos y su producción a nivel mundial.....	3
1.2. Ingreso del plástico al ambiente marino	7
1.2.1. Fuentes terrestres	7
1.2.2. Fuentes oceánicas y fluviales	8
1.2.3. Acumulación de plásticos en el medio marino.....	10
1.3. Definición, características y procedencia de los microplásticos.....	11
1.3.1. Microplásticos primarios	11
1.3.2. Microplásticos secundarios	12
1.4. Depósito de microplásticos en el sedimento marino	13
1.5. Daños ecosistémicos ocasionados por el ingreso de microplásticos al ambiente marino.....	15
2. Antecedentes.....	17
2.1. Estudios previos sobre microplásticos realizados a nivel mundial.....	17
2.2. Estudios previos sobre microplásticos en México	20
3. Justificación	22
4. Objetivos.....	23
4.1. Objetivo general.....	23
4.2. Objetivos particulares	23
5. Hipótesis	24
6. Área de estudio	25
6.1. Características sociales y económicas	25
6.2. Características geológicas.....	27

6.2.1.	Geología del Golfo de México	27
6.2.2.	Geología regional del municipio de Tecolutla, Veracruz.....	29
6.3.	Características oceanográficas	32
6.3.1.	Características oceanográficas del Golfo de México	32
6.3.2.	Características oceanográficas del municipio de Tecolutla, Veracruz	39
6.4.	Características climatológicas.....	42
6.5.	Características hidrológicas	42
6.6.	Características ecológicas	45
6.6.1.	Manglar.....	45
6.6.2.	Playas y dunas costeras	46
7.	Metodología	48
7.1.	Trabajo de campo.....	48
7.2.	Trabajo de laboratorio.....	51
7.2.1.	Granulometría.....	51
7.2.2.	Microplásticos	58
7.2.3.	Microscopia Electrónica de Barrido	62
8.	Resultados y discusión	65
8.1.	Granulometría	65
8.2.	Abundancia de microplásticos	72
8.3.	Longitud de microplásticos.....	76
8.4.	Clasificación de microplásticos	78
8.4.1.	Clasificación por su forma.....	78
8.4.2.	Clasificación por color.....	81
8.5.	Interpretación de la procedencia de los microplásticos	83
8.6.	Relación granulometría – microplásticos.....	90
9.	Conclusiones.....	92
10.	Referencias.....	94

Resumen

Los microplásticos son considerados un problema de contaminación emergente a nivel mundial. En México, son pocos los estudios realizados en esta línea de investigación, por ello, es necesario analizar e identificar los microplásticos presentes en el medio ambiente oceánico, así como determinar su procedencia y potenciales riesgos a los que están sometidas las comunidades biológicas.

El objetivo del presente estudio es analizar las características texturales de los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz, e identificar la presencia y abundancia de microplásticos.

La extracción de microplásticos se realizó a través de la separación por diferencia de densidad de las partículas inmersas en un medio acuoso. Los plásticos se clasificaron visualmente utilizando microscopía estereoscópica y microscopía electrónica de barrido.

Se clasificaron los microplásticos encontrados de acuerdo con su morfología, color, longitud, textura y abundancia. De acuerdo con su forma, los microplásticos hallados se clasificaron como fragmentos, films y predominantemente fibras. Se estableció que dichas partículas provienen del aporte fluvial del río Tecolutla y han sido depositados en las costas por las corrientes oceánicas superficiales.

En conclusión, se determinó que la abundancia de microfibras textiles se atribuye a la mala gestión de residuos urbanos vertidos en el río Tecolutla. Finalmente, se infiere que la oblicuidad de los sedimentos se relaciona con la retención y abundancia de microplásticos en el área de estudio.

Abstract

Microplastics are considered as an emerging pollution problem worldwide. In Mexico, studies focused on microplastics are few. Therefore, it is necessary to investigate the abundance and identification of microplastics, as well as to determine their origin and potential risks to the biological communities.

The objective of this study is to analyze the textural characteristics of Tecolutla, Veracruz coastal sediments and to identify the presence and abundance of microplastics.

The extraction of microplastics was made by density separation in a saturated solution of NaCl (sodium chloride). Plastics recovered were classified visually using stereomicroscope and scanning electron microscopy.

The microplastics identified were classified according to their morphology, color, length, texture, and abundance. Microplastics found were fragments, films, and predominantly fibers. It was established that these particles came from the fluvial contribution of the Tecolutla River and have been deposited on the coast by surface ocean currents.

It is concluded that the abundance of textile microfibers is attributed to the bad management of urban waste mixing in the Tecolutla River. Finally, it is inferred that the sediment skewness is directly proportional to the abundance of microplastics in the coastal areas.

1. Introducción

1.1. Definición de los productos plásticos y su producción a nivel mundial.

El término plástico proviene de la palabra griega “*plastikós*”, haciendo referencia a la propiedad de un material de ser moldeado. Actualmente, se le designa el nombre de plástico a todo aquel compuesto orgánico sintético creado a partir de un proceso de polimerización.

Los plásticos se producen a partir de la síntesis de diversos materiales orgánicos, principalmente procedentes del petróleo, además de múltiples aditivos que pueden reforzar las propiedades propias y el resultado final de acuerdo con las características requeridas (Almesh et al., 2020).

La primera etapa de producción de plásticos es la compactación del material orgánico con los aditivos en forma granulada, dicho material se conoce como pellets o gránulos, con medidas de 5 mm de diámetro y 20 mg de peso cada uno de ellos (Hammer et al., 2012); se producen en varios colores y formas como lo son esférulas, perlas, discos y cilindros. Posteriormente, los pellets son moldeados mediante procesos de compresión, inyección o extrusión, para crear las diversas formas de los productos plásticos, los cuales están ampliamente integrados en el estilo de vida cotidiana y desempeñan un papel fundamental en la mayor parte de las áreas de producción.

Las características típicas que los hacen tan útiles se relacionan principalmente con el hecho de que son flexibles, livianos, duraderos, resistentes y sobre todo económicos. Sin embargo, cuando los plásticos se desechan en el medio ambiente, pueden persistir durante períodos de tiempo prolongados.

La mayor parte de los productos plásticos se encuentran compuestos por polímeros como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS),

tereftalato de polipropileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad (LDPE) los cuales conforma aproximadamente el 90% de la producción mundial de plástico (Andrady, 2011).

La producción masiva de plásticos comenzó en la década de los 50's, en su mayoría diseñados para ser desechables. Al emplear estos materiales, muchas industrias no tienen en consideración un análisis de ciclo de vida del producto orientado a la generación de políticas de reciclaje (Fig. 1.1.1), lo cual ha aumentado su tasa de producción y cantidad de residuos.



Figura 1.1.1 Etapas del ciclo de vida del producto e impactos ambientales de los residuos (Román, 2017).

Aunque las cantidades varían de un país a otro, aproximadamente el 10% de los desechos sólidos totales están constituidos por plástico (Barnes et al., 2009). La figura 1.1.2 muestra el acelerado crecimiento en la generación mundial de desechos plásticos y su composición entre los años 1950 y 2015. La producción entre 1950 y 2009 mostró un aumento anual promedio del 9%, sin embargo, en 2008 la producción se redujo en 15 millones de toneladas como consecuencia de la crisis financiera mundial. A mediados de 2009, comenzó la recuperación del mercado, y en 2010 la producción anual aumentó a 265 millones de toneladas (Hammer et al., 2009).

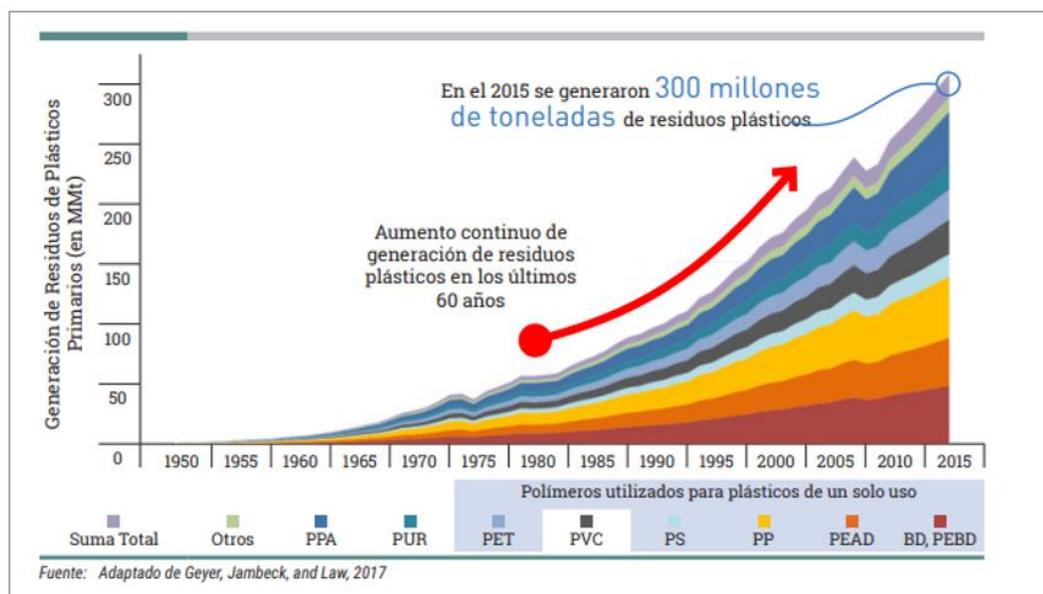


Figura 1.1.2 Producción mundial de plástico de 1950 a 2015 en millones de toneladas (Almesh et al., 2020).

De acuerdo con el análisis de producción de plástico realizado por Plastics Europe (2020), en 2019 la producción global de plásticos alcanzó casi los 370 millones de toneladas (Fig. 1.1.3).

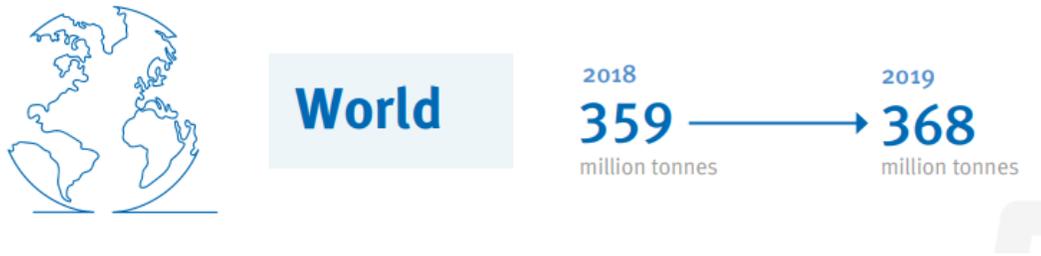


Figura 1.1.3 Producción mundial de plástico de 2018 a 2019 en millones de toneladas (Plastics Europe, 2020).

Dentro de esta producción China destaca con el mayor porcentaje de producción total de plástico (31%) que, en conjunto con el resto de Asia, componen el 51% de la producción mundial. En segundo lugar, se encuentran los países pertenecientes al TLCAN o NAFTA (Canadá, Estados Unidos de América del Norte y México) que contribuyen con el 19% de la producción (Fig. 1.1.4) (Plastics Europe, 2020).

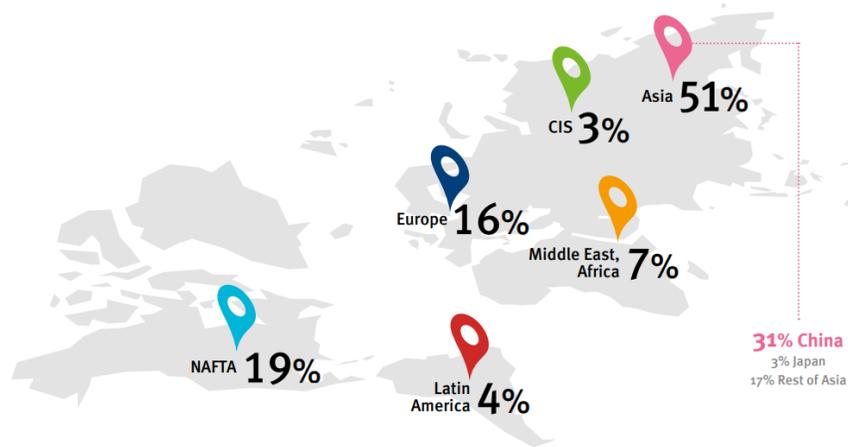


Figura 1.1.4 Porcentajes de la producción mundial de plástico en 2019 (Plastics Europe, 2020).

En México, se estima que más de un millón del consumo total anual de plásticos se convierten en desecho (Segura et al., 2007).

1.2. Ingreso del plástico al ambiente marino

El porcentaje de fragmentos de plástico que ingresan al océano se encuentran principalmente flotando en la superficie del mar y a lo largo de las costas, y aumentan proporcionalmente a la distancia de la fuente de desecho (Hammer et al., 2009). Esta característica es causada por la baja densidad y la resistencia de este material, lo que hace que recorran mayores distancias comparado con otros tipos de desechos como el vidrio o el metal. La entrada anual total de desechos marinos en los océanos es de aproximadamente 6.4 millones de toneladas (Hammer et al., 2009). Es importante mencionar que los desechos marinos son clasificados por su procedencia en dos categorías: terrestres u oceánicas y fluviales.

1.2.1. Fuentes terrestres

La presencia de desechos plásticos de procedencia terrestre comienza por el vertido inapropiado o ilegal de plásticos de origen doméstico e industrial, por acciones como tirar basura en calles, parques o estacionamientos, por contenedores de basura y camiones de volteo mal cubiertos, turismo, desbordes de alcantarillado e instalaciones de procesamiento y eliminación de desechos sólidos; donde son lavados o arrastrados a los cursos de agua cercanos por acción de la lluvia y terminan siendo depositados en el océano (Shealvy, et al., 2007).

La acción del viento y el transporte atmosférico, también introducen desechos al medio marino, las películas compuestas principalmente por polietileno de baja densidad (LDPE) por ejemplo, bolsas de transporte y láminas de plástico se liberan al medio ambiente cuando no se desechan adecuadamente, son arrastrados y transportados por el viento, descendiendo finalmente a los mares (Barnes et al., 2009).

1.2.2. Fuentes oceánicas y fluviales

Se estima que cada año 5.6 millones de toneladas de desechos plásticos provienen de fuentes *in situ*, lo que representa el 88% de la entrada total de desechos al océano (Hammer et al., 2009). Los desechos plásticos pueden ser emitidos por las siguientes fuentes:

- Buques mercantiles, militares, de investigación y cruceros.
Estos medios de transporte son fuentes de desechos plásticos domésticos y desechos de carga (correas de cableado, material de cobertura y residuos), material de embalaje (láminas de plástico y contenedores), así como equipos médicos y sanitarios. Los residuos se arrojan intencionalmente por falta de espacio en sus instalaciones o por negligencia, y algunas veces se pierden accidentalmente por un manejo descuidado o por malas condiciones atmosféricas (Hammer et al., 2009).
- Plataformas petroleras.
Entre los productos plásticos comúnmente desechados se encuentran protectores de tubos de perforación, cascos, guantes de goma, contenedores, desechos domésticos, además de equipos médicos y sanitarios (Hammer et al., 2009).
- Buques pesqueros.
En áreas alejadas del desarrollo urbano, las redes de pesca desechadas son responsables del 50 - 90% del total de desechos marinos encontrados. Entre las diferentes formas de desechos generados por los barcos de pesca se encuentran las redes, líneas y cajas de pesca, trampas para cangrejos y langostas, redes para ostras, cuerdas para cebos empaquetados, guantes de goma y, por supuesto, desechos de tipo doméstico (Hammer et al., 2009). En adición, la pérdida accidental de redes de pesca en el mar a menudo ocurre debido a conflictos entre redes

de diferentes embarcaciones que se enredan entre sí, o por las variaciones topográficas (redes y trampas golpean el fondo del mar) y condiciones meteorológicas extremas. Sin embargo, otros artículos pesqueros son abandonados voluntariamente por sus dueños ya que es más barato y rápido desechar los artículos dañados arrojándolos al mar que disponer de estos equipos para su correcta eliminación en tierra.

- Transportes fluviales

Los residuos domésticos plásticos y otros artículos suelen ser vertidos ilegalmente de manera directa a los ríos o arrastrados a ellos al subir los niveles del agua por la influencia de fuertes lluvias. Los ríos que desembocan en los mares transportan en sus caudales estos desechos, introduciéndolos al ambiente marino.

- Instalaciones industriales

La enorme cantidad de pellets de resina plástica que se encuentran hoy en el mar proviene directamente de las instalaciones industriales, además de material de embalaje y los residuos de producción generados.

La combinación de las múltiples entradas, la dinámica oceánica y atmosférica, la geomorfología y los factores humanos ocasionan una gran variabilidad temporal y espacial en la acumulación de los residuos plásticos. Además, los factores biológicos como la adherencia de una amplia variedad de bacterias, algas, animales y sedimentos en los plásticos ocasionan su hundimiento en la columna de agua y depósito sobre el lecho marino.

La figura 1.2.1 muestra las principales fuentes y vías de movimiento de los plásticos en el medio marino que pueden ser depositados en playas (1), aguas y sedimentos costeros (2) y en mar abierto (3). Las flechas curvas representan la trayectoria de la basura transportada por el viento, las flechas

grises muestran el movimiento de la basura transportada por el agua, las flechas punteadas el descenso vertical a través de la columna de agua hasta su depósito en los sedimentos, y las flechas negras la ingestión de los desechos por los organismos marinos (Ryan et al., 2009).

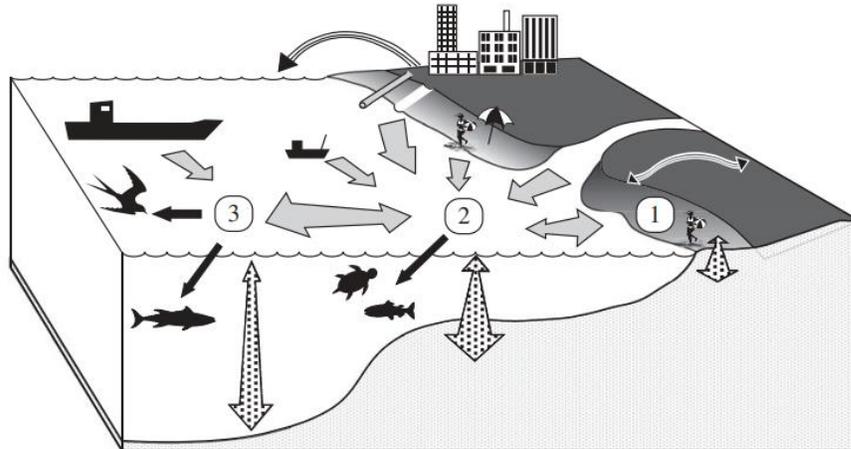


Figura 1.2.1 Fuentes y trayectorias de los residuos plásticos dentro del medio ambiente marino (Ryan et al., 2009).

1.2.3. Acumulación de plásticos en el medio marino.

Sobre la línea de costa, la acumulación de desechos plásticos es mayor cerca de áreas densamente pobladas y en playas con alta afluencia turística. Por otra parte, en mar abierto, debido a la baja densidad de los plásticos, estos flotan conducidos por las corrientes marinas, donde tienden a acumularse en áreas de convergencia oceanográficas y mares cerrados.

Las mayores masas de desechos plásticos se encuentran acumuladas en los grandes giros oceánicos, donde la rotación de las corrientes marinas superficiales conduce los desechos hacia el centro de los vórtices, donde finalmente se aglomeran. El giro central del Pacífico Norte o “La Gran Isla de Basura del Pacífico” es el mejor ejemplo de acumulación plástica oceánica, ya que las cantidades de residuos se estiman en 3.5 millones de toneladas (Hammer et al., 2009).

1.3. Definición, características y procedencia de los microplásticos

Los plásticos no se descomponen fácilmente en moléculas inocuas, su degradación es un proceso sumamente lento que, a pesar de su constante fragmentación, puede demorar hasta 500 años en degradarse completamente (Segura et al., 2007). Con el fin de monitorear de manera efectiva los desechos plásticos, estos se dividen de acuerdo con su tamaño en cinco categorías: megaplásticos (>100 mm de diámetro) macroplásticos (> 20 mm), mesoplásticos (20 - 5 mm), microplásticos (5 – 0.05 mm) y nanoplásticos (>0.05 mm) (Barnes et al., 2009).

De esta manera, los microplásticos, son cualquier fragmento plástico con una medida de entre 5 – 0.05 mm de diámetro que pueden clasificarse en dos categorías dependiendo de su forma y su origen.

Por su forma, los microplásticos se pueden identificar como esferas, pellets, fragmentos, películas y fibras; y por su origen, se clasifican en microplásticos de tipo primarios y secundarios.

1.3.1. Microplásticos primarios

Los microplásticos primarios son materiales que se producen para su uso directo como abrasivos en productos de limpieza, limpiadores faciales y cosméticos, así como los pellets para producción de productos plásticos. Asimismo, las microfibras desprendidas de la ropa y otros textiles son consideradas como microplásticos de origen primario. Este tipo de microplásticos ingresan a los océanos de manera constante a través de las entradas de desechos urbanos por transporte fluvial, las pérdidas incidentales durante el transporte oceánico abordo de los buques y por escorrentías de las instalaciones de procesamiento (Andrady et al., 2011).

1.3.2. Microplásticos secundarios

Los microplásticos secundarios se describen como pequeños fragmentos de plástico derivados de la degradación de los macroplásticos debido a procesos mecánicos, fotolíticos o de degradación química en el medio marino (Alomar et al., 2016). Por lo cual este tipo de microplásticos ingresan al medio marino a través de las múltiples vías de entrada de los desechos plásticos en general.

La prolongada exposición a la luz solar es el factor principal de degradación de los plásticos. La radiación ultravioleta (UV) de la luz solar provoca la oxidación de la matriz del polímero, lo que conduce a la ruptura de sus enlaces (Andrady et al., 2011). Las condiciones halógenas del medio marino reducen el proceso de fotooxidación, sin embargo, los desechos plásticos presentes en las playas, no se encuentran bajo esta condición, tienen alta disponibilidad de oxígeno y exposición directa a la luz solar, en consecuencia, se degradarán rápidamente, por lo que con el tiempo se volverán frágiles, formando grietas y una pérdida de integridad estructural. Finalmente, los desechos plásticos agrietados se fragmentarán debido a la abrasión, la acción de las olas y la turbulencia (Barnes et al., 2009).

1.4. Depósito de microplásticos en el sedimento marino

La constante creación y entrada de microplásticos a los ambientes marinos favorece su acumulación desde las costas hasta las profundidades del océano.

El depósito de microplásticos a lo largo de la línea de costa, inicia cuando las condiciones ambientales favorecen el proceso de fotoxidación, el cual en conjunto con la mecánica oceánica degradan y fragmentan los productos plásticos dando lugar a la formación *in situ* de los microplásticos y propiciando su acumulación dentro de este ambiente. En los sedimentos costeros, compuestos comúnmente de arena y grava bien clasificadas, los microplásticos pueden ser perceptibles como pequeños trozos de plástico multicolor en la arena.

La figura 1.4.1 recuperada de Hale et al. (2020) sintetiza los procesos por los que atraviesan los macroplásticos en el medio marino. Las entradas de microplásticos se representan en flechas rojas, el tamaño de las flechas indica el mayor o menor aporte de este tipo de contaminantes al medio marino. Los procesos que controlan su distribución y exportación desde la superficie están representados por las flechas en verde. En última instancia, los microplásticos, continuarán su fragmentación a nanoplasticos, serán ingeridos por los organismos marinos ocasionando problemas ecotoxicológicos o se acumularán en los sedimentos oceánicos profundos.

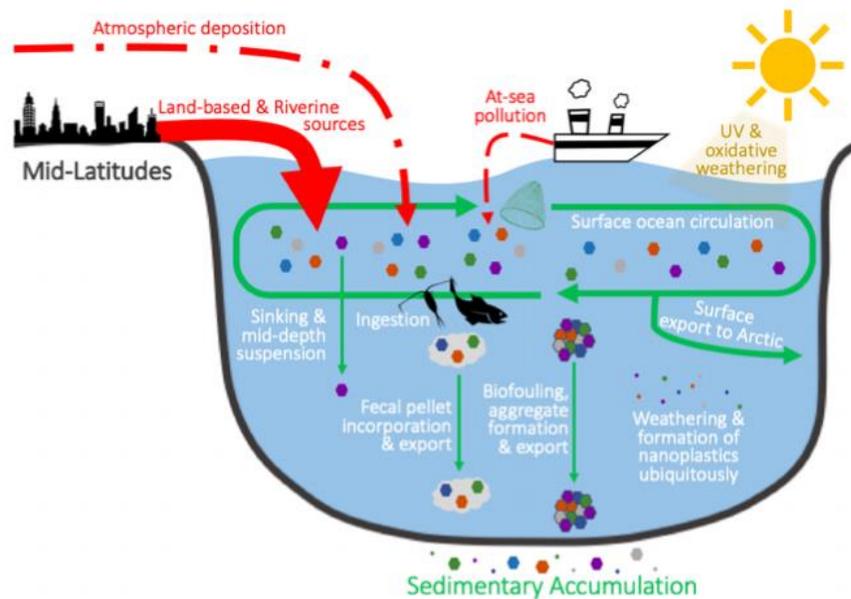


Figura 1.4.1. Procesos de depósito y acumulación de microplásticos en los sedimentos oceánicos (Hale et al., 2020).

De acuerdo con Brown et al. (2011) y Alomar et al. (2016) la granulometría del sedimento podría influir en el depósito de microplásticos, ya que se ha observado que determina el contenido y la distribución de sustancias como carbono orgánico, nitrógeno total y ópalo biogénico. Con base en ello, los autores afirman que las concentraciones de microplásticos aumentan al disminuir el tamaño de grano de los sedimentos.

1.5. Daños ecosistémicos ocasionados por el ingreso de microplásticos al ambiente marino

Debido al tamaño de los microplásticos, estos tienden a ser ingeridos en mayor cantidad en comparación con los macroplásticos, los cuales también son ingeridos, no obstante, se ven vinculados principalmente en el enredo y asfixia de los organismos (Alomar et al., 2016).

La ingestión directa de fragmentos plásticos puede tener efectos nocivos en la biota marina como: disminución de consumo de alimentos al causar pseudo-saciedad, desnutrición, lesiones internas, bloqueo intestinal, inanición y muerte (McDermid et al., 2004).

Las partículas de plástico además pueden bioacumularse en los organismos y transferirse a través de la cadena alimentaria. Así también, los microplásticos pueden transferir contaminantes químicos a los organismos a través de los aditivos añadidos a los productos plásticos y sustancias químicas adsorbidas del agua circundante.

Aunque los plásticos generalmente se consideran bioquímicamente inertes, los aditivos añadidos a su estructura polimérica brindan las propiedades que los caracterizan, entre ellas la propiedad lipofílica. Esta propiedad permite a los aditivos penetrar en las membranas celulares e interactuar bioquímicamente en ellas, ocasionando alteraciones endocrinas, que a su vez afectan la movilidad, la reproducción, el desarrollo y carcinogénesis (Barnes et al., 2009). Los aditivos de uso común, incluidos los éteres de difenilo polibromados, los ftalatos (empleado como plastificante y contenido hasta en un 50% en polímeros de PVC) y el monómero constituyente bisfenol A (utilizado en policarbonatos, PVC, y contenido en envases de alimentos y bebidas), son famosos por ser sustancias químicas que ocasionan este tipo de alteraciones (Cole et al., 2011).

Por otra parte, los contaminantes adsorbidos por los microplásticos del agua de mar como plaguicidas con contenido de exlorociclohexano (HCH), dicloruro difenil tricloroetano (DDT), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y contaminantes orgánicos persistentes (POPs por sus siglas en inglés) que son afines a materiales como el polietileno, polipropileno y PVC (Cole et al., 2011; Hammer, et al., 2014). Los microplásticos recubiertos con estos contaminantes se transportan a través de los océanos, contaminando los ecosistemas y siendo ingeridos por los organismos. Al adentrarse al cuerpo de la biota transfirieren las toxinas adsorbidas e inducen alteraciones endócrinas, mutagénicas y carcinogénicas. Además, de que pueden biomagnificarse en organismos tróficos superiores (Cole et al., 2011).

2. Antecedentes

2.1. Estudios previos sobre microplásticos realizados a nivel mundial.

Los primeros hallazgos de acumulación de fragmentos de plásticos en el medio ambiente marino provienen de los estudios del contenido intestinal de aves marinas, realizados a lo largo de la década de los 60's. Desde entonces, ha habido numerosos informes del avistamiento de microplásticos en los océanos, el lecho marino y las costas alrededor de todo el mundo.

La figura 2.1.1 obtenida del trabajo desarrollado por Barnes et al., 2009, presenta algunas de las investigaciones relacionadas a los hallazgos de fragmentos plásticos en el medio marino a nivel mundial ordenado cronológicamente: 1) Informe de Harper et al. (1987) acerca de la detección de gránulos plásticos ingeridos por aves marinas en Nueva Zelanda; 2) Análisis de fragmentos de plástico encontrados en la cavidad corporal de individuos fallecidos de la especie *Laysan albatrosses* (Kenyon et al., 1969); 3) Primer hallazgo de fibras sintéticas en muestras de agua de 0 a 100 m de profundidad, en la investigación desarrollada por Buchanan, 1971; 4) Descubrimiento de esférulas de poliestireno en la región costera de Nueva Inglaterra (Carpenter et al., 1972); 5) Detección de partículas, esferas y discos plásticos de longitud 1–5 mm en muestras de aguas superficiales de la zona noroeste del océano Atlántico (Colton et al., 1974); 6) Acumulación y distribución plásticos a lo largo de las playas de Nueva Zelanda (Gregory, 1978); 7) Descripción de la abundancia y composición de los plásticos encontrados en diversas playas alrededor del mundo (Ryan et al., 1990); 8) van Franeker et al. (1988) investigación la ingestión de partículas de plástico por crías de aves marinas ubicadas en la Antártida; 9) Análisis de la fragmentación de material plásticos y la preferencia de su consumo por los organismos marinos de acuerdo a su tamaño, color y forma (Shaw et al., 1994); 10) Análisis de la presencia de fibras sintéticas en aguas residuales para la construcción de plantas de tratamiento que solucionen el problema de contaminación (Habib et al., 1998); 11) Hallazgo de fragmentos

plásticos a lo largo de la plataforma y talud continental en el Mar Mediterráneo (Galvani et al., 2000); 12) Estudio del consumo de partículas plásticas por organismos filtradores y zooplancton en las aguas superficiales de la región norte del océano Pacífico (Moore et al., 2001); 13) Análisis de la composición y distribución de los fragmentos y gránulos plásticos en las costas de Orange, California (Moore et al., 2001); 14) Examinación de partículas de plástico recuperadas de las heces de *Arctocephalus* spp. en la isla Macquarie (Eriksson et al., 2003); 15) Estudio de la distribución y abundancia de fragmentos y desechos plásticos en general, a lo largo del Mar de Japón (Kusui et al., 2003); 16) Primer análisis de microplásticos en sedimentos. Se cuantificaron los fragmentos y fibras plásticas encontrados en sedimentos submareales, de playa y de estuarios en Plymouth, Reino Unido. (Thompson, 2004); 17) Examinación de las concentraciones de bifenilos policlorados (PCB) en gránulos plásticos y su riesgo ecotoxicológico en las playas de Kasai, Tokio (Endo et al., 2005); 18) Evaluación de la acumulación de microplásticos en los sedimentos intermareales en el astillero de desguace de barcos en Alang-Sosiya, India (Reddy et al., 2006); 19) Cuantificación de la abundancia de microplásticos en el entorno costero de Singapur (Ng et al., 2006).

Las investigaciones acerca de microplásticos realizadas y las que se continúan desarrollando han contribuido a ampliar el conocimiento sobre estos materiales, así como los daños que pueden ocasionar a nivel ecosistémico y biológico a diversas profundidades de la columna de agua y de la zona béntica de océano.

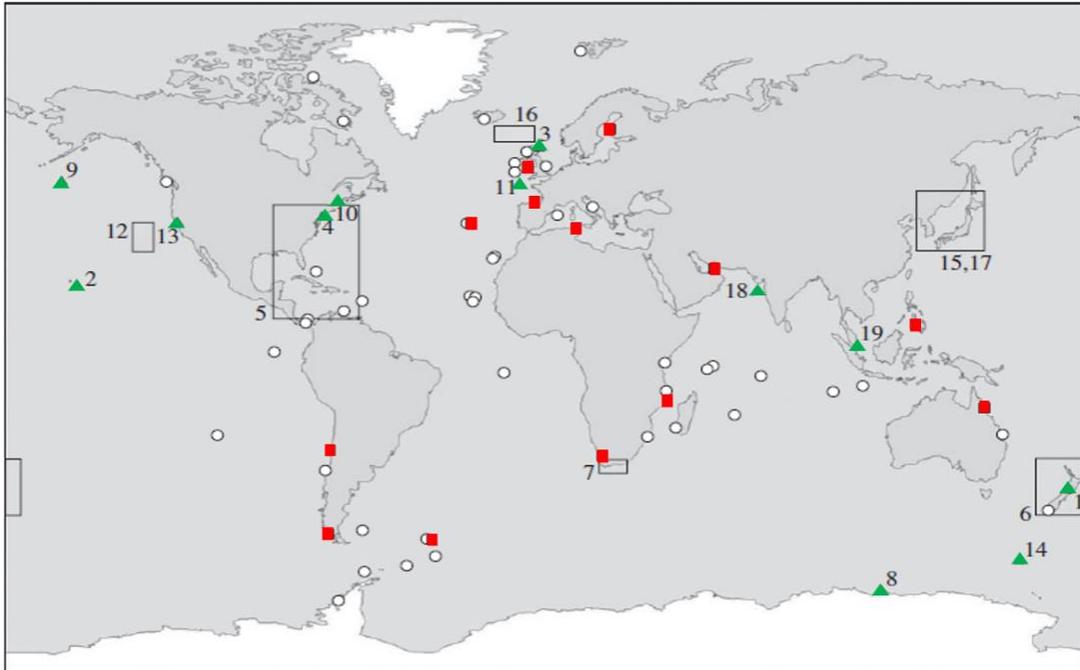


Figura 2.1.1. Ubicación a nivel mundial de los sitios de estudio de las investigaciones vinculadas a microplásticos, ordenados cronológicamente. Los cuadrados rojos representan la distribución de microplásticos en los sedimentos intermareales, los círculos blancos muestran los estudios realizados acerca de macroplásticos, mientras que los triángulos verdes son los estudios de fragmentos plásticos vinculados con la biota marina (Barnes et al., 2009).

2.2. Estudios previos sobre microplásticos en México

Las investigaciones sobre microplásticos realizadas dentro de la zona económica exclusiva de México han comenzado recientemente con diversos objetivos de estudio y análisis que buscan posicionar al país en un tema de vanguardia internacional.

Una de las primeras investigaciones experimentales sobre microplásticos y sus repercusiones en la biota marina de México, fue la realizada por Amaya-Márquez (2016), en la cual presentó los efectos generados por la ingestión de microplásticos bajo diferentes condiciones experimentales en el ofiuero *Ophiocoma echinata*.

Otro estudio pionero fue el realizado por Retama et al. (2016), el cual reporta la presencia de microplásticos en las playas de la Bahía de Huatulco, Oaxaca. Las playas que destacaron por el alto contenido de microplásticos en sus sedimentos fueron: playa de Conejos, Tangolunda, Santa Cruz y San Agustín, debido a las actividades turísticas y los vertidos de los hoteles y restaurantes ubicados en estas playas. Del mismo modo, Piñon-Colin, et al. (2018) muestrearon playas de la Península de Baja California, encontrando una abundancia media 135 partículas por cada kg de sedimento, y siendo las fibras el microplástico más abundante en esta región del país.

Por otro lado, en 2019 el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología impulsó el desarrollo de diversos estudios entorno a la presencia de microplásticos en las costas mexicanas. En conjunto con la Universidad de Wisconsin desarrollaron un estudio a cargo de la Dra. Ana Carolina Ruiz Fernández, en el que se estudiaron los sedimentos de las playas y aguas costeras superficiales de Mazatlán, Sinaloa; demostró que la concentración de microplásticos oscilaba entre 1 y 10 partículas por cada kg de sedimento.

Castro (2019) en su tesis de licenciatura, estudió la presencia de microplásticos en los sedimentos costeros del norte del Caribe Mexicano, se encontró que la mayor parte de microplásticos hallados son de tipo fibras, por lo tanto, este tipo de contaminación se adjudicó a las aguas residuales descargadas en la zona costera, las cuales se encuentran biodisponibles para la ingestión de los organismos marinos.

Las últimas investigaciones realizadas en este ámbito se llevaron a cabo por Álvarez-Zeferino et al. (2020), en las cuales se cuantificaron y clasificaron los microplásticos encontrados en 33 playas, a lo largo de las cinco regiones marinas del país (Pacífico Noroeste, Golfo de California, Pacífico Tropical, Mar Caribe y Golfo de México). Se encontró que el Golfo de California es la región con mayor concentración de microplásticos. Cabe destacar que de acuerdo con dicho estudio la presencia de microplásticos es mayor en las playas urbanas sobredesarrolladas e incrementa con la ocurrencia de eventos climáticos extremos, especialmente huracanes.

La región de Tecolutla, Veracruz ha sido de interés para este tipo de investigación, debido a que el aporte de microplásticos puede ser abundante al ser una playa con alta afluencia turística, además de contener el aporte fluvial del Río Tecolutla. Un primer acercamiento a esta región, es la investigación realizada por Sánchez (2018) quien evaluó la presencia de microplásticos en peces comerciales, columna de agua y sedimentos en el estuario del río Tecolutla. Los resultados obtenidos mostraron un total de 882 partículas de microplásticos en el tracto digestivo de 155 peces, mientras que en 27 litros de agua de 3 estaciones se identificaron 452 partículas de microplásticos y finalmente, en 600 g de sedimento analizado un total de 73 partículas.

3. Justificación

En México, la presencia de microplásticos en los sedimentos costeros es un problema de contaminación contemporáneo del cual aún se busca una solución. A pesar de el gran desarrollo tecnológico a nivel mundial con el que se cuenta en la actualidad, no se ha encontrado una solución eficiente al problema, debido a que no es posible extraer la exorbitante cantidad de partículas plásticas que se encuentran en el medio ambiente marino, por lo que estudiar las características y procedencia de este tipo de contaminantes en las zonas costeras, como lo es en las playas de Tecolutla, Veracruz, ayudará a generar propuestas de gestión de residuos urbanos; de manera que se evite o disminuya su constante generación, depósito y acumulación en las costas, así como su consecuente daño a los ecosistemas marinos y a los organismos que habitan en ellos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Analizar las características texturales de los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz, e identificar la presencia y procedencia de microplásticos en la región.

4.2. Objetivos particulares

1. Analizar los parámetros texturales de los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz.
2. Identificar, cuantificar y categorizar los microplásticos presentes en los sedimentos de acuerdo con su morfología, color, tamaño e interpretar su procedencia.
3. Comprobar la relación entre los tipos de microplásticos encontrados con la granulometría de los sedimentos.

5. Hipótesis

Debido al aporte fluvial del Río Tecolutla y a la urbanización que el municipio de Tecolutla, Veracruz presenta, se espera encontrar una gran abundancia de partículas plásticas en los sedimentos costeros, principalmente partículas de tipo fibras, fragmentos y películas.

Se espera hallar una mayor concentración de microplásticos en los sedimentos costeros cercanos a la desembocadura del río Tecolutla, así como en las playas de mayor afluencia turística.

Asimismo, se espera encontrar una acumulación de microplásticos de pequeñas longitudes debido a la correlación existente con las arenas finas de la región de estudio.

6. Área de estudio

6.1. Características sociales y económicas

La toponimia del municipio de Tecolutla proviene de *Tecolotl* (tecolote o búho) y *Tlan* (lugar), los cuales forman la palabra Tecolotlán que significa “lugar de tecolotes o búhos”.

La ciudad de Tecolutla se ubica en la región norte-centro de la costa del estado de Veracruz, dentro de la región de Totonacapan. Se encuentra entre los paralelos 20°35'57.41" y 20°34'44.30" de latitud norte y los meridianos 97°7'56.65" y 96°52'48.03" de longitud oeste, y a una altitud que oscila entre 0 y 300 msnm (INEGI, 2009; Moreno-Casasola et al., 2020). Tiene una superficie de 535.44 km² (SECTUR, 2021). Se encuentra limitada geográficamente al norte con el municipio de Papantla, al sur con San Rafael y Martínez de la Torre, al este con el Golfo de México, al oeste con Gutiérrez Zamora y Papantla (Fig. 6.1).

El municipio de Tecolutla cuenta con 24 551 habitantes (INEGI, 2021), con una densidad poblacional de 45.85 hab/km².

Las actividades económicas que desarrolla la mayoría de sus habitantes se categorizan dentro de las actividades de tipo primario y terciario. Dentro de las actividades primarias, la agricultura tiene destinada una superficie total de 11 412.5 Ha de donde se obtienen productos como el maíz, frijol, sandía, tabaco, naranja y chile, así como productos maderables, piña, tangerina, plátano, papaya y mandarina (Moreno-Cassasola, et al., 2021). En cuanto a la ganadería, se tiene asignada una superficie de 128 780 Ha dedicadas a la obtención de productos provenientes del ganado bovino, porcino, ovino, aves y abejas. Por otra parte, se le ha brindado un papel prioritario al desarrollo de la pesca, creando cooperativas, 2 muelles, 1 embarcadero y 1 varadero. En

esta ciudad la pesca se caracteriza por obtención de especies como mojarra, jaiba, camarón, ostión, sábalo y robalo. Dentro del sector terciario, la actividad con mayor aporte económico es el turismo. El municipio cuenta con 126 hoteles capaces de albergar al 9.3% de la afluencia total en el Estado de Veracruz (Díaz, 2016).

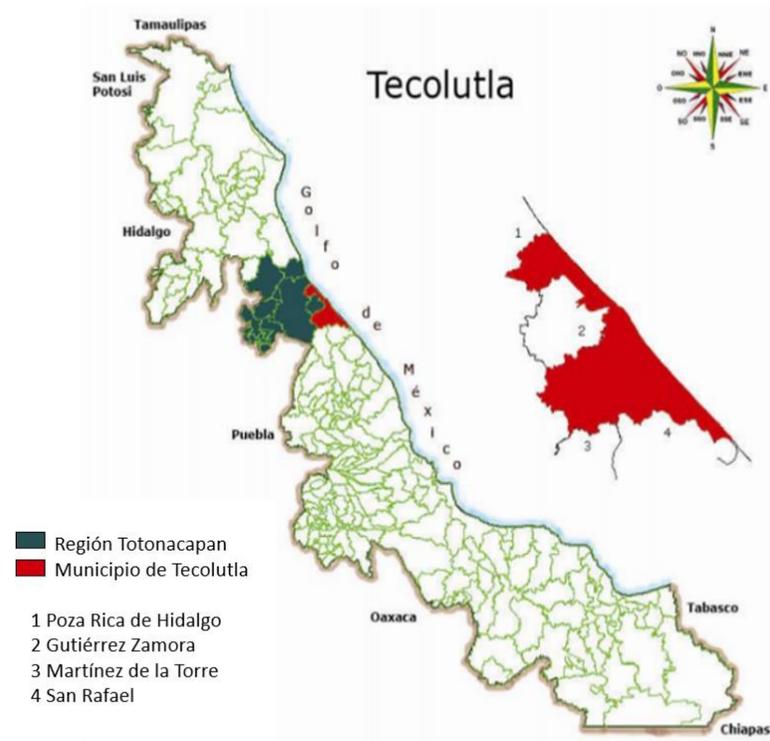


Fig. 6.1.1. Localización del municipio de Tecolutla dentro de la región de Totonacapan y municipios limítrofes. Modificada de SEFIPLAN (2013).

Es importante señalar que entre los principales atractivos turísticos de Tecolutla destacan el puerto de Tecolutla, Costa Esmeralda, y paseos a lo largo de las zonas de manglares y el río Tecolutla. Considerando la afluencia turística y los desechos emitidos por los ciudadanos, se contabiliza que el volumen promedio de residuos sólidos urbanos recolectados por año es de 6.6 mil toneladas (SEFIPLAN, 2016).

De acuerdo con Brown et al. (2011), existe una relación directamente proporcional entre la densidad de población de una región con la presencia de microplásticos y su abundancia, por lo que la cantidad de microplásticos hallados en los sedimentos de Tecolutla pudiera estar vinculado con la cantidad de residuos generados en el municipio y su afluencia turística.

6.2. Características geológicas

6.2.1. Geología del Golfo de México

El origen del Golfo de México (GoM) comenzó desde el rompimiento de Pangea en el Triásico Superior al Jurásico Inferior (Winker et al., 1988), con la formación de un rift continental en la parte sur de la placa Norteamericana, el cual culminó con la separación de las placas Africana y Sudamericana, dando lugar al nacimiento del océano Atlántico.

Posteriormente, durante el Calloviano (Jurásico Medio), comenzó una transgresión marina proveniente del este, del mar de Tethys (Paulin, 2020). La inundación gradual cubrió las islas remanentes, que dieron lugar a zonas de profundidades someras, que en la actualidad constituyen plataformas marinas con rocas almacenadoras de hidrocarburos. La transgresión finalizó en el Cretácico Superior, cuando todos los altos topográficos quedaron totalmente sumergidos (Rodríguez et al., 2010) y las condiciones tectónicas fueron estables, dando lugar a una sedimentación dominada por carbonatos (Paulin, 2020).

Entre los periodos del Cretácico Superior y el Paleoceno, tuvo lugar el choque entre las placas de Farallón y de Norteamérica, el cual dio origen a la Orogenia Laramide. Como consecuencia, en el oriente del país los efectos de dicha orogenia deformaron y levantaron los sedimentos marinos, formando la actual Sierra Madre Oriental; la cual constituye un cinturón plegado y fallado con orientación noroeste-sureste, dando lugar a un cambio de ambiente marino a continental (Rodríguez et al., 2010).

En el Paleoceno, la región continental estuvo sometida a esfuerzos corticales y a una intensa erosión de la Sierra Madre Oriental. Los sedimentos originados se distribuyeron en forma de abanicos submarinos que rellenaron las cuencas, formando así la planicie costera del Golfo de México, la cual fue cubierta por la última trasgresión marina (Rodríguez & Morales 2010). Durante el Mioceno Medio se presentaron los primeros signos del vulcanismo originado por la subducción de la placa de Rivera y Cocos por debajo de la placa Norteamericana, los cuales darían origen a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM) (Hermenegildo, 2019). Al oriente de la formación FVTM, la actividad volcánica se presentó mediante los estratovolcanes Pico de Orizaba y Cofre de Perote, dando un aporte terrígeno – volcanoclástico a los sedimentos marinos, mediante el encauce de los ríos que desembocan en el Golfo.

Actualmente, el GoM se clasifica geológicamente de acuerdo con Allen et al. (2005) como una cuenca oceánica tectónicamente inactiva sin la presencia de extensión ni subducción, con un basamento compuesto de corteza oceánica con rocas sedimentarias de edades que van desde el Triásico Superior hasta el Holoceno (aproximadamente 230 Ma hasta el presente). La cuenca del Golfo de México o cuenca de Sigsbee presenta hundimientos en la parte central debido al

enfriamiento térmico y al constante depósito de sedimentos (Nipper et al., 2009). Además, el GoM posee una amplia plataforma continental en las penínsulas de Yucatán y Florida, y una plataforma muy angosta en su occidente, frente a las costas de Tamaulipas y Veracruz. Shepard (1973) menciona que los sedimentos a lo largo del estado de Tamaulipas hasta el sur de Veracruz son de tipo terrígeno gradando a biogénico en dirección a la península de Yucatán.

6.2.2. Geología regional del municipio de Tecolutla, Veracruz

La litología de Tecolutla proviene desde el Neógeno con rocas sedimentarias marinas (lutitas arenosas y areniscas) y rocas ígneas extrusivas volcánicas continentales (andesitas, tobas andesíticas, tobas riolíticas y basaltos). Asimismo, en la zona superior de su estratigrafía contiene depósitos sin consolidar del Cuaternario, constituidos por depósitos de arena, grava, limo y arcilla, producto de la alteración de rocas sedimentarias preexistentes dentro de la región (Fig. 6.2.2.1) (Córdoba, 2011).

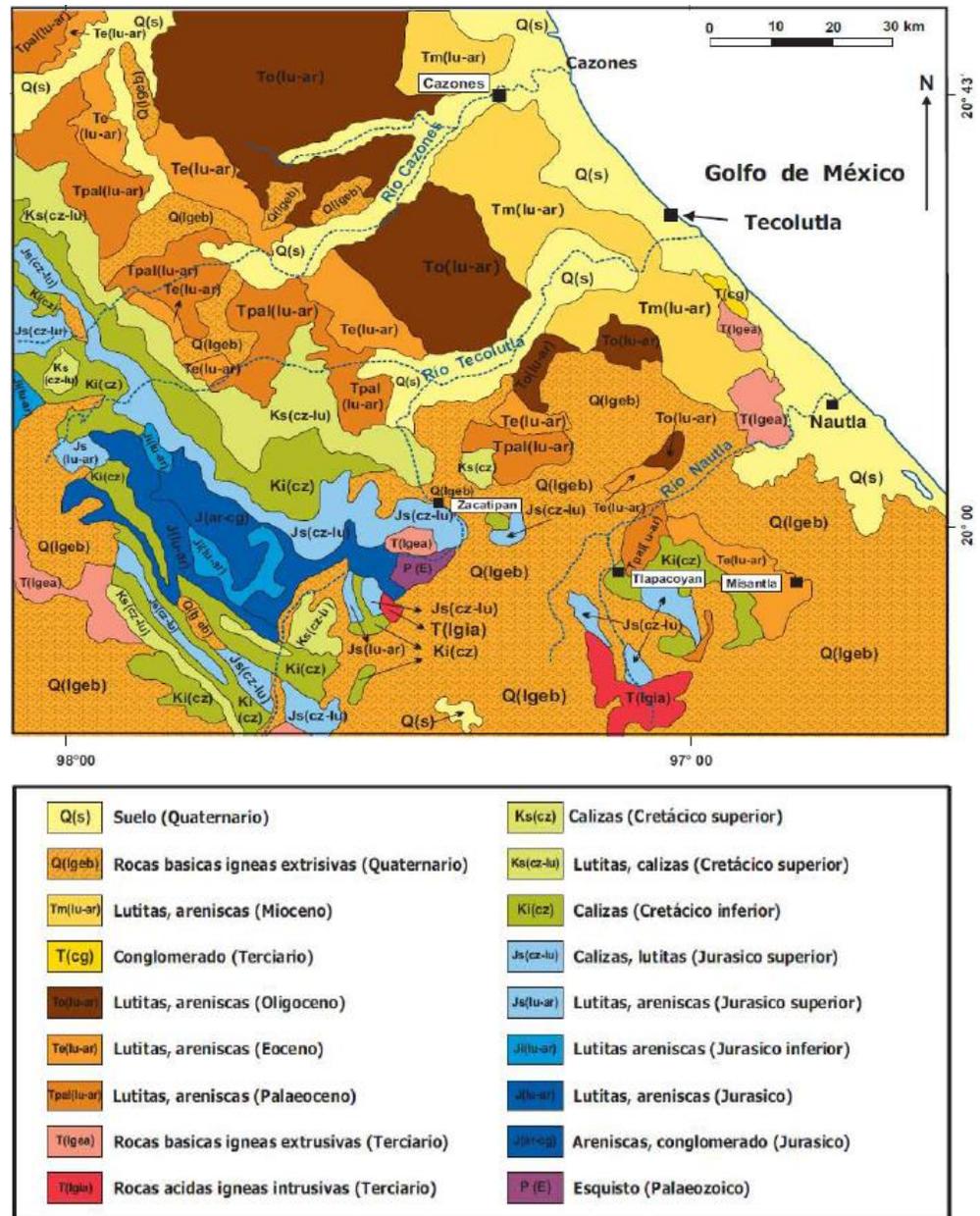


Fig. 6.2.2.1. Geología de la región central del estado de Veracruz y el municipio de Tecolutla (mapa modificado del Consejo de recursos minerales (1994)).

Los asentamientos urbanos del municipio de Tecolutla se han construido principalmente sobre rocas sedimentarias del Neógeno y suelo aluvial del Cuaternario (Fig. 6.2.1.2) (INEGI, 2009).



Fig. 6.2.1.2. Geología del municipio de Tecolutla (Servicio Geológico Mexicano, 2021).

La geología de la cuenca de drenaje del río Tecolutla está dominada por depósitos fluviales y rocas ígneas extrusivas procedentes del Cuaternario, areniscas del Neógeno y Paleógeno, así como rocas calizas del Cretácico y Jurásico (Armstrong-Altrin, et al., 2012).

En general, las playas de Tecolutla se encuentran integradas por sedimentos minerales compuestos por cuarzo, feldespato, anfíboles, piroxenos, olivino y minerales pesados de rocas basálticas y andesíticas provenientes de la Sierra Madre Oriental. Las proporciones del tamaño de la arena fluctúa de finas a medias en la zona seca y sumergida de la playa (Armstrong-Altrin et al., 2012). Además, el estudio realizado por Estrada (2007) muestra que la arena de playa de Tecolutla es derivada principalmente de la mezcla de sedimentos de playa, río (provenientes del río Tecolutla) y la influencia de sedimentos de las dunas costeras.

6.3. Características oceanográficas

6.3.1. Características oceanográficas del Golfo de México

El Golfo de México es un mar marginal del Océano Atlántico, otros autores lo llaman junto con el Caribe, Mar Mediterráneo Americano. Se trata de una cuenca oceánica semicerrada que limita al norte, noreste y noroeste con Estados Unidos, al sur y suroeste con México, y Cuba al sureste (LaMourie et al., 2020). Se encuentra conectado al océano Atlántico a través del estrecho de Florida y al Mar Caribe por el canal de Yucatán.

La cuenca del GoM tiene forma ovalada, con un diámetro mayor aproximado de 1 800 km, desde la costa de Veracruz hasta la costa occidental de la Península de Florida, y un diámetro menor de 1 100 km desde la costa noroccidental de la Península de Yucatán hasta la de Texas-Lousiana (Aguayo-Camargo, 2005). Cubre un área total de 1 550 000 km².

El Golfo de México está compuesto de provincias ecológicas y geológicas, de las cuales destacan la zona costera, la plataforma continental, el talud continental y la llanura abisal. La zona costera se encuentra compuesta de marismas, playas de arena, áreas cubiertas de manglares, bahías, estuarios y lagunas. La llanura abisal presenta su punto más profundo en la Fosa de Sigsbee, la cual se encuentra a 5 203 m por debajo del nivel del mar (Fig. 6.3.1.1) (LaMourie et al., 2020). La profundidad promedio del GoM de 1 615 m y la cuenca contiene un volumen de 2 434 000 km³ de agua (Martínez-López et al., 1998).



Fig. 6.3.1.1 Mapa batimétrico del Golfo de México. (LaMourie et al., 2020).

En el GoM la circulación es generada por la energía mecánica resultante de la acción de los vientos, el flujo de agua a través del canal de Yucatán, la descarga de agua que proviene de los ríos y el intercambio de calor océano-atmósfera (Monreal-Gómez et al., 2004). Entre los rasgos de su circulación destacan la surgencia topográfica de Yucatán, la Corriente de Lazo y los giros ciclónicos y anticiclónicos generados por esta misma corriente (Fig. 6.3.1.2).

La Corriente de Lazo se forma a partir del ingreso de la circulación oceánica por el Canal de Yucatán y al transportarse en forma de lazo a través del GoM. La corriente se caracteriza por contener agua cálida y de alta salinidad, y en su periferia formar núcleos de agua fría que generan cambios en la temperatura superficial y frentes térmicos; al salir por el Estrecho de Florida se convierte en la Corriente de Florida y más adelante en la Corriente del Golfo.

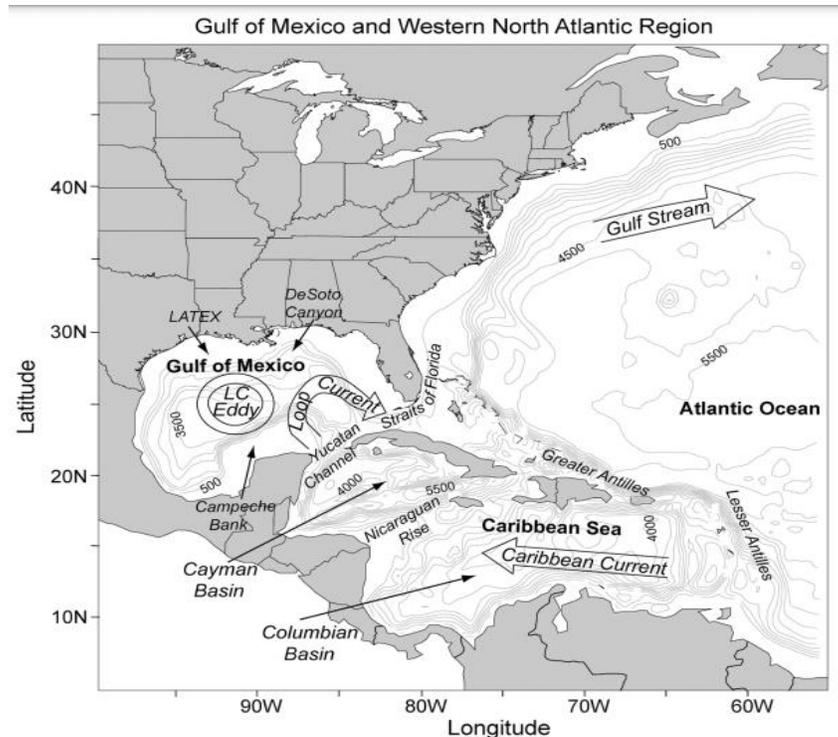


Fig. 6.3.1.2. Circulación oceánica del Golfo de México. Se muestra la Corrientes de Lazo (Loop Current), la celda de circulación anticiclónica (L.C. Eddy) y la Corriente del Golfo (Gulf Stream) (Oey et al., 2013).

De la Corriente de Lazo se desprenden grandes remolinos inestables de agua con diámetros aproximados de 150 km conocidos como giros ciclónicos o anticiclónicos, dependiendo de la dirección de rotación y de los núcleos de baja o alta presión que contengan (Fig. 6.3.1.3). Los giros ciclónicos producen ascensos de agua que transportan nutrientes y aumentan la productividad primaria. Por el contrario, los giros anticiclónicos presentan un hundimiento de agua con alta temperatura y con bajo contenido de nutrientes (Monreal-Gómez et al., 2004). La Celda de Circulación Anticiclónica es el remolino más relevante del GoM, se crea en la zona oriental y varía su diámetro estacionalmente, alcanzando su máximo de 250 km en verano y otoño (Fig. 6.3.1.2) (Martínez-López et al., 1998).

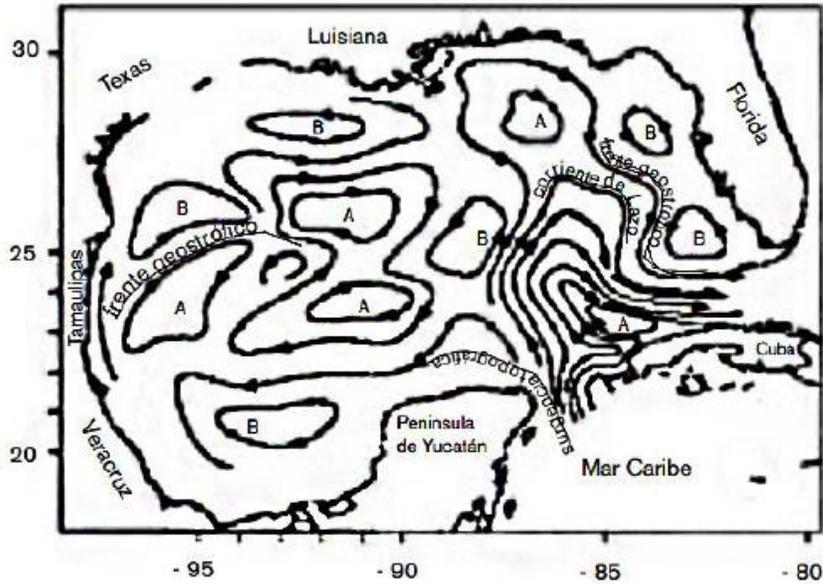


Fig. 6.3.1.3. Giros oceánicos del Golfo de México provenientes de la Corriente de Lazo. **A** indica zonas de alta presión (Giros anticiclónicos) y **B** zonas de baja presión (Giros ciclónicos). Modificada de Monrea-Gómez et al. 2004.

El GoM se ve afectado por vientos intensos provocados por ciclones tropicales que lo atraviesan entre los meses de mayo a noviembre y por frentes fríos que llegan a la zona principalmente entre septiembre y mayo, además de la circulación de los vientos Alisios. En general, durante el verano la dirección del viento tiende hacia el norte en el noroeste del Golfo debido a la influencia del sistema de alta presión atmosférica semipermanente del Atlántico, dicho factor aunado a las altas temperaturas sobre el continente provoca un efecto monzónico. Por otra parte, durante el otoño, la dirección media mensual del viento se dirige principalmente hacia el oeste, con una pequeña componente hacia el sur (Fig. 6.3.1.4) (Zavala-Hidalgo et al., 2014).

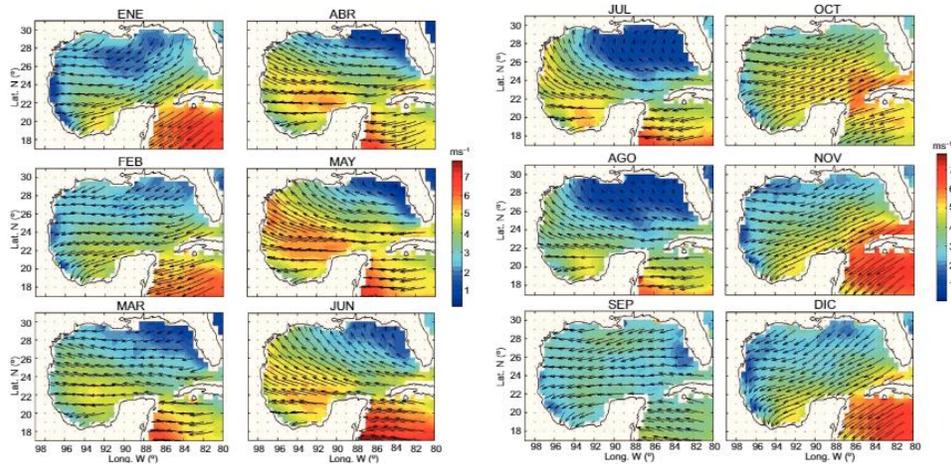


Fig. 6.3.1.4. Vientos promedio mensuales en el Golfo de México y Mar Caribe Noroccidental. Las variaciones de la barra de color indican la velocidad media del viento escalar [$m s^{-1}$], mientras que las flechas muestran la dirección del viento. Las corrientes de viento de verano observadas en la plataforma de Veracruz son en sentido anticiclónico hacia la costa, oscilando entre 0.15 a $0.4 m s^{-1}$ (Zavala-Hidalgo et al., 2014).

Los cambios estacionales en las corrientes superficiales que circulan sobre las plataformas continentales son ocasionados por la profundidad relativamente baja de las plataformas del GoM (menores a 200 m), la descarga de agua dulce de los ríos (principalmente del río Mississippi y el sistema Grijalva-Usumacinta) (Zavala-Hidalgo et al., 2014), la influencia de los giros desprendidos de la Corriente de Lazo y la dirección de los vientos (Zavala-Hidalgo et al., 2003). Dichos factores generan durante el otoño e invierno (de los meses de octubre a febrero) corrientes en dirección sur y sentido ciclónico, mientras que durante la primavera y verano (de los meses de marzo a agosto) las corrientes serán en dirección al norte y sentido anticiclónico a lo largo de la plataforma de la región de Tamaulipas y Veracruz (TAVE) (Fig. 6.3.1.5).

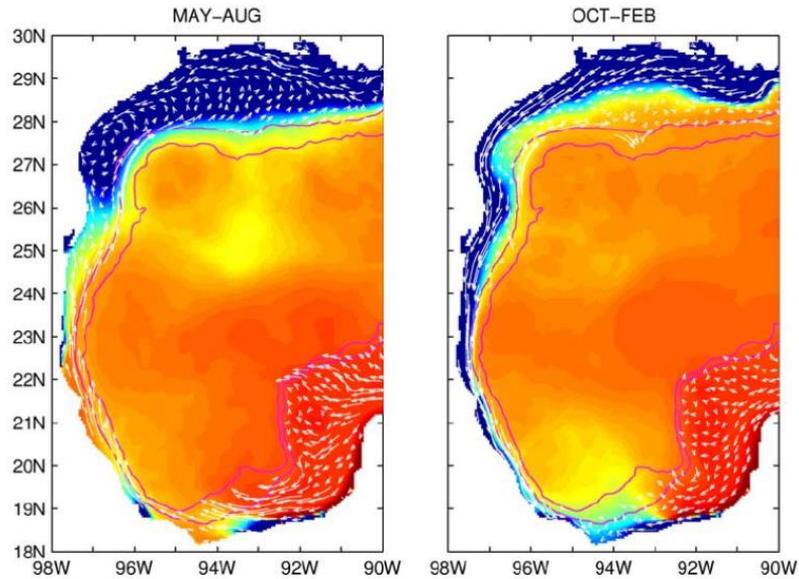


Fig. 6.3.1.5. Promedio de la circulación superficial oceánica de la plataforma continental del Golfo de México. Izq. Estacionalidad de primavera a verano. Der. Estacionalidad de otoño a invierno. Las flechas indican la dirección de las corrientes (Zavala-Hidalgo et al., 2003).

En cuanto el régimen de mareas dentro del GoM generalmente es débil y de tipo diurno, con amplitudes de 7 a 9 cm en las costas del margen occidental; se produce debido al forzamiento indirecto de las oscilaciones de mareas en el Océano Atlántico y del forzamiento astronómico directo sobre éste (Martínez-López, et al., 1998). Por otra parte, el oleaje tiene un promedio de 0.9 m de altura con períodos de 3 a 8 s (Mendieta-Lora et al., 2018).

La temperatura superficial oceánica promedio anual del GoM desde 1955 a 2017 muestra una temperatura máxima de 27.5 °C y una mínima de 22 °C (Fig. 6.3.1.6) (NOAA, 2021).

Temperature - Annual objectively analyzed mean at the surface (0.10 degree grid)

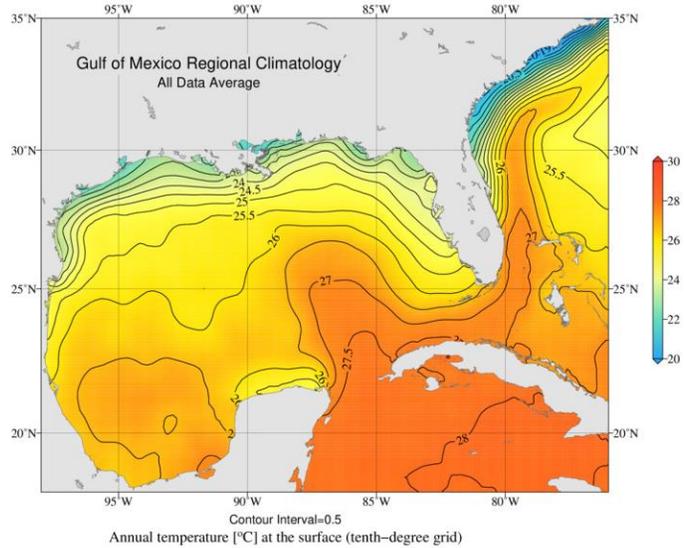


Fig. 6.3.1.6. Temperatura superficial anual promedio del Golfo de México de 1955 a 2017 (NOAA, 2021).

La salinidad superficial oceánica promedio anual del GoM desde 1955 a 2017, muestra una máxima de 36 PSU en la zona sur y centro del GoM, mientras que se observa una disminución hacia la zona costera norte de 30 PSU (Fig. 6.3.1.7) (NOAA, 2021).

Salinity - Annual objectively analyzed mean at the surface (0.10 degree grid)

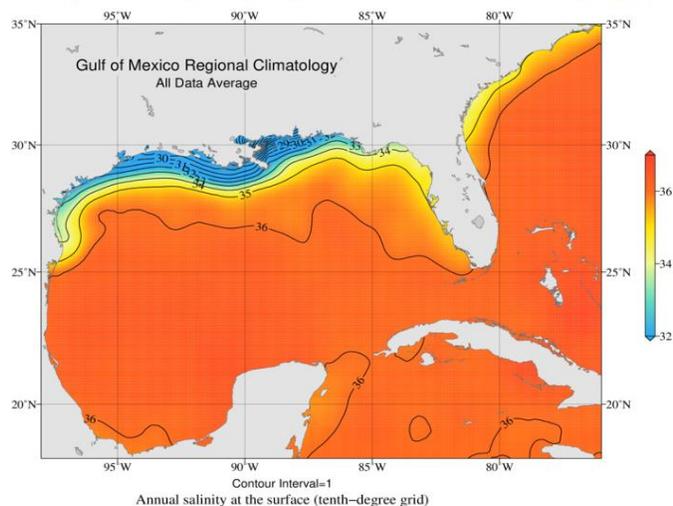


Fig. 6.3.1.7. Salinidad superficial anual promedio del Golfo de México de 1955 a 2017 (NOAA, 2021).

6.3.2. Características oceanográficas del municipio de Tecolutla, Veracruz

La Comisión de Cooperación Ambiental categoriza en ecorregiones marinas a la zona norte del océano Pacífico y Atlántico dentro de las Zonas Económicas Exclusivas de los países de América del Norte de acuerdo con sus características fisiográficas, oceanográficas y biológicas. Estas ecorregiones marinas se construyen como un marco espacial con tres niveles anidados. El municipio de Tecolutla se encuentra agrupado en el primer nivel dentro de la ecorregión marina 14 (Fig. 6.3.2.1 a) determinado por la corriente del Golfo. La ecorregión presenta una alta carga de nutrientes por descargas de ríos y comunidades bióticas relacionadas a los sistemas deltaicos, lagunas costeras, estuarios, cuencas hidrográficas bajas, manglares, estructuras de arrecifes costeros, pastos marinos (Yáñez et al., 2004). En el segundo nivel, Tecolutla se ubica dentro de la ecorregión 14.1 de la plataforma sur del GoM (región tropical) (Fig. 6.3.2.1 b) y en el tercer nivel en la ecorregión 14.1.1 denominada Zona Nerítica Veracruzana (Fig. 6.3.2.1 c).

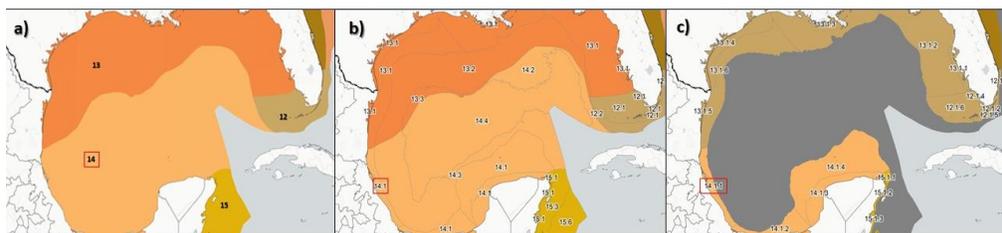


Fig.6.3.2.1. Ecorregiones marinas del Golfo de México. El municipio de Tecolutla, Veracruz se encuentra dentro de las ecorregiones: a) Región 14 – Corriente del Golfo de México; b) Región 14.1 – Plataforma Sur del Golfo de México; y c) Región 14.1.1 – Nerítico Veracruzano (CEC, 2021; Yáñez-Arancibia et al., 2004).

Los vientos que se presentan en el municipio de Tecolutla varían estacionalmente. Durante el invierno, éstos provienen del norte y noreste y son conocidos localmente como “nortes” con velocidades de hasta 140 km/h. En el verano, el patrón de vientos se invierte y se presentan vientos llamados “suradas” con magnitudes de hasta 80 km/h (Ortiz-Lozano et al., s.f.). Las corrientes superficiales oceánicas de la zona litoral de Tecolutla se encuentran asociadas a los dos patrones de circulación antes mencionados, pero, además contienen un tercer patrón, el cual se encuentra asociado a los cambios en la dirección del viento, es decir, la transición de nortes a suradas o viceversa. En este tercer patrón, los vientos dominantes están principalmente alineados en dirección este-oeste, generando corrientes superficiales perpendiculares a la costa de Tecolutla, los cuales producen una divergencia oceánica (Fig. 6.3.2.2) y crean corrientes en direcciones opuestas, paralelas a la costa, una de ellas hacia el sur, direccionándose hacia Coatzacoalcos y la otra en dirección norte, hacia Tampico (Ortiz-Lozano et al., s.f.).

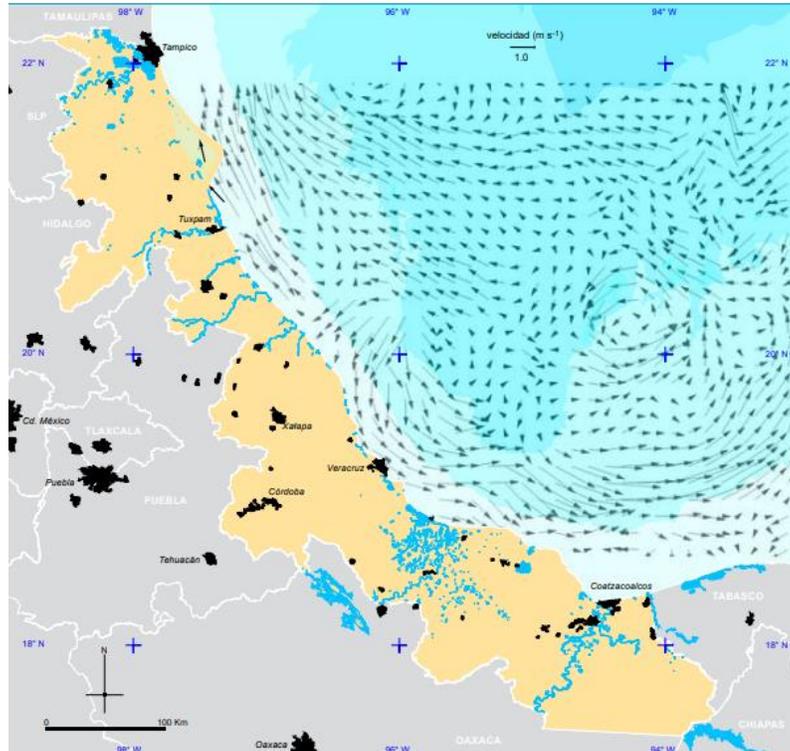


Fig. 6.3.2.2. Corrientes marinas superficiales en la zona costera de Veracruz. Las flechas indican la dirección e intensidad de las corrientes (Ortiz-Lozano et al., s.f.).

El oleaje presente en el municipio se encuentra asociado a la dirección del viento. Los oleajes más persistentes se presentan en dirección norte y noreste en el otoño e invierno. Sin embargo, durante el verano también se presentan oleajes intensos, que se encuentran asociados a fenómenos meteorológicos como tormentas y huracanes (Moreno-Cassasola et al., 2020).

Los dos mareógrafos más próximos a Tecolutla se localizan en Tuxpan ($97^{\circ}20'48''$ W, $20^{\circ}57'12''$ N) y Veracruz ($96^{\circ}07'51''$ W, $19^{\circ}12'03''$ N) y han registrado un nivel máximo de pleamar de 1.06 m y el mínimo de bajamar en -0.48 m.

6.4. Características climatológicas

El clima del municipio de Tecolutla de acuerdo con la clasificación climática de Köppen es de tipo Am en verano, cálido húmedo con lluvias máximas en verano (98%), y Aw en invierno, subhúmedo con ligeras lluvias (2%) durante los meses de octubre a febrero debido al paso de los frentes fríos y al paso de sistemas tropicales. El rango de precipitación anual promedio es de 1 500 mm (INEGI, 2009). Por otro lado, la temperatura media anual en el municipio es de 25°C y la humedad media anual se encuentra alrededor del 80% (Wheather & Climate, 2021).

6.5. Características hidrológicas

El municipio de Tecolutla está delimitado en su frontera sur por el río Tecolutla. Este río tiene una longitud de 375 km, nace en la ciudad de Necaxa, Puebla y desemboca en el Golfo de México entre los municipios de Tecolutla y San Rafael (Fig. 6.5.1). El río tiene una descarga de 6 098 millones de m³/año y genera un impacto significativo en las características fisicoquímicas del agua marina y en las comunidades biológicas que ahí habitan.

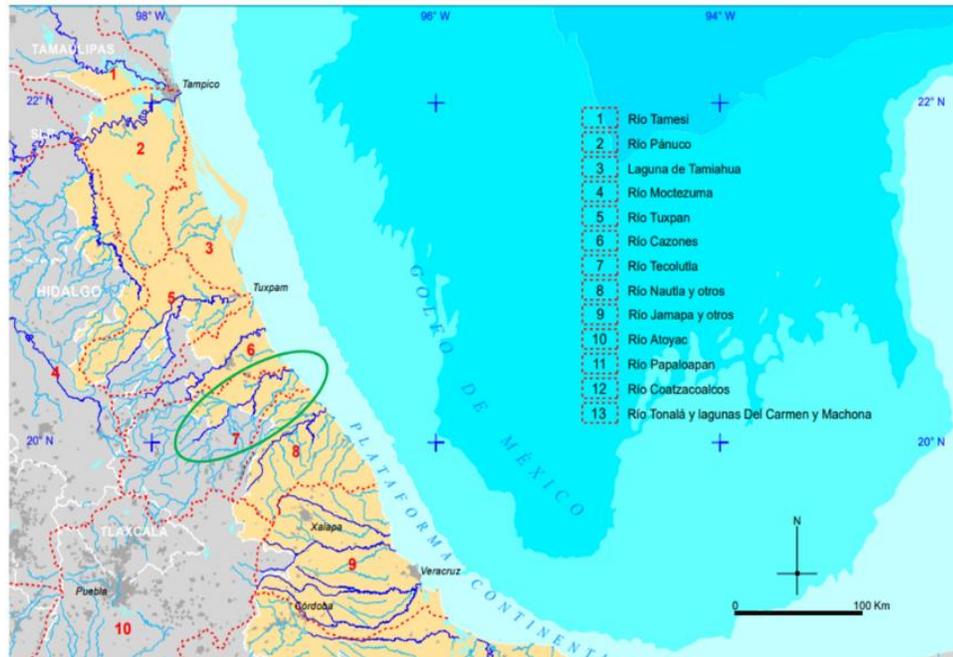


Fig. 6.5.1. Ríos de la zona norte y centro del estado de Veracruz, destacando la localización del río Tecolutla (Modificado de Ortiz-Lozano et al. 2013).

El río Tecolutla favorece al sector económico pesquero, brindando diversas especies de ostiones, peces y crustáceos. Además de abastecer de agua para el riego agrícola y uso urbano. Hasta el momento, no se han construido presas en este río. Sin embargo, se ha realizado un dragado como medida preventiva ante un eventual desborde que provoque una inundación en los municipios (Córdoba, 2011).

A pesar de que este río es considerado como uno de los mejores conservados en el Estado de Veracruz, pueden observarse vertimientos de drenajes residuales y arroyos tributarios contaminados e incluso descargas orgánicas del rastro municipal en municipios como el Espinal, Papantla, Gutiérrez Zamora y Tecolutla. El estudio realizado por Limón-Hernández (2019) ha demostrado la disminución de la calidad del agua a causa de los vertidos anteriormente mencionados, además del vertido de agroquímicos y la alta presencia de bacterias coliformes en las aguas que conforman el río.

Estudios realizados por contaminación de microplásticos han encontrado que los ríos son responsables de importantes aportes de desechos al lecho marino, debido a su alto caudal y la fuerza de las corrientes del fondo. Las extensiones submarinas profundas de los ríos costeros (depósitos deltaicos), también influyen en la distribución de los desechos en el lecho marino, creando áreas de alta acumulación (Barnes et al., 2009).



Fig. 6.5.2. Depósito deltaico del río Tecolutla. Mapa de elaboración propia mediante el software Google Earth.

6.6. Características ecológicas

La franja litoral de Tecolutla se encuentra deforestada, cuenta con tan solo un poco más de la tercera parte de vegetación natural (38.79%). Esta vegetación incluye 1 911.71 Ha de manglares (8.36%), 2 880.59 Ha de selva baja y mediana (12.60%) y 4 076.79 Ha de dunas costeras (17.83%) (Moreno-Cassasola et al., 2020).

6.6.1. Manglar

Se han descrito cinco sistemas de manglares dentro del municipio de Tecolutla: Estero Boca de Lima, Estero Tenixtepec, Estero Tecolutla, Estero Ciénega del Fuerte y Estero Casitas. Las especies vegetales que se encuentran dentro de este ecosistema dependen de las condiciones fisicoquímicas del ambiente. En zonas asociadas con cuerpos de agua perennes se encuentran asociaciones de *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), en zonas con mayor salinidad domina a especie *Avicennia germinans* (mangle negro) y en las zonas que se ven influenciadas por las mareas se encuentran asociaciones de *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Avicennia germinans* (mangle negro) (Moreno-Cassasola et al., 2020).

Los manglares de la ribera norte de Tecolutla (Estero de Tecolutla y Tenixtepec) se encuentran cerca de las áreas urbanas, por lo que tienen un mayor grado de fragmentación. Sin embargo, forman parte de la Región Marina Prioritaria Tecolutla (RMP-48) y de la Región Hidrológica Prioritaria Río Tecolutla (RHP-76). Por otra parte, Ciénega del Fuerte también es considerada como selva inundable y una de las mejores conservadas del país, además de ser un Área Natural Protegida (Moreno-Casasola, et al., 2020).

Dentro de los manglares del municipio se puede observar una gran diversidad de especies animales, entre las que se pueden mencionar patos cormoranes, garzas blancas, gruyas, viuditas, pelícanos, pericos, águilas, zopilotes, mapaches, tlacuaches, serpientes, caimanes, cocodrilos, cangrejos rojos, violinistas o azules y variedades de almejas y peces.

6.6.2. Playas y dunas costeras

El municipio de Tecolutla cuenta con grandes extensiones de dunas que pertenecen al sistema Tecolutla - Vega de Alatorre, el cual se extienden 65 km a lo largo de la línea de costa. Todas las dunas se encuentran cubiertas por vegetación, por lo que el movimiento de la arena es prácticamente nulo.

Algunas plantas abundantes en la playa y las dunas de esta zona son: el clavelillo de mar (*Palafoxia lindenii*), la verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*), el copachí (*Croton punctatus*), la lenteja de arena (*Chamaecrista chamaecristoides*), el cascabel (*Crotalaria incana*), el frijol de playa (*Canavalia rosea*) y la riñonina (*Ipomoea pes-caprae*). Además, hay plantaciones de especies exóticas como la palma de coco (*Cocos nucifera*) y el pino de mar (*Casuarina equisetifolia*). Adicionalmente se han registrado las especies endémicas: *Chamaecrista chamaecristoides* y *Citharexylum ellipticum*, así como *Palafoxia lindenii*, especie endémica de Veracruz y Tabasco y *Florestina liebmannii*, especie endémica de Veracruz (Moreno-Cassasola et al., 2020).

Algunos ejemplares de la fauna marina que se pueden encontrar en esta región son la mojarra blanca, el pez chucumite, pez globo, pez pargo, langosta espinosa, pez piedra, tilapia, morenas, tiburones, cangrejos ermitaños, corales, entre otros. Además, las playas de Tecolutla se han convertido en un sitio de anidación de diferentes especies de tortugas, entre ellas la Tortuga Lora (*Lepidochelys kempí*) que es endémica del Estado de Veracruz y la única especie que sale a desovar en el día, la Tortuga Verde (*Chelonia mydas*), Tortuga Carey (*Eretmochelys imbricata*), y esporádicamente la Tortuga Laúd (*Dermatemys mawei*) (Ortiz-Lopez, 2013). Es importante destacar que las tortugas son uno de los organismos índice en cuanto al consumo de plásticos en las especies marinas, debido a que por lo menos el 52% de las tortugas a nivel mundial han consumido algún tipo de material sintético. Se han encontrado hasta 800 partículas de microplásticos en sus estómagos (WWF, 2021), por ello no se desestima que tanto las tortugas que acuden a anidar a las costas de Tecolutla como el resto de las especies marinas que allí se encuentran puedan estar afectadas por microplásticos emitidos por el municipio y el Estado de Veracruz.

En general, el estado de conservación de las dunas costeras de Tecolutla es deteriorado, debido a que se encuentran expuestas a impactos humanos diversos como actividades agropecuarias, caminos y asentamientos.

7. Metodología

7.1. Trabajo de campo

Los sedimentos fueron recolectados a lo largo de la playa de Tecolutla, Veracruz como 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 2018.

Fueron recolectadas 20 muestras de sedimento en la zona de mesoplaya, obteniendo 1 kg de arena de la capa superficial a una profundidad máxima de 30 cm (Fig. 7.1.1). Las muestras fueron colocadas en bolsas previamente etiquetas con la clave correspondiente del sitio de muestreo para su posterior traslado, almacenamiento y análisis.



Fig. 7.1.1. Fotografía de recolección de muestras de una de las localidades en el área de mesoplaya de Tecolutla, Veracruz (septiembre 2018).

En la presente tesis se estudiaron 10 de las 20 muestras, las cuales fueron proporcionadas por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Se seleccionaron las muestras Teco1 Teco3, Teco5, Teco7, Teco9, Teco11, Teco13, Teco15, Teco17 y Teco19 debido a que se empleó un criterio de selección basado en el cumplimiento de una distancia promedio de 330 m entre cada muestra, comenzando por la muestra más cercana a la desembocadura del río Tecolutla. Las localizaciones y coordenadas de las muestras seleccionadas pueden observarse en las figuras 7.1.2 y 7.2.3. La distancia total de la línea de costa estudiada es de 3.27 km.



Fig. 7.1.2. Localización del área de estudio y sitios de toma de muestras. Mapa de elaboración propia en el software ArcGIS.

Muestra	Latitud	Longitud
Teco1	20°28'37.08"	97°00'08.35"
Teco3	20°28'43.31"	97°00'17.93"
Teco5	20°28'51.23"	97°00'28.14"
Teco7	20°28'00.36"	97°00'40.35"
Teco9	20°28'09.51"	97°00'51.99"
Teco11	20°28'18.43"	97°00'04.04"
Teco13	20°28'24.81"	97°00'11.87"
Teco15	20°28'31.10"	97°00'19.81"
Teco17	20°28'35.95"	97°00'25.81"
Teco19	20°28'44.14"	97°00'35.76"

Fig. 7.1.3. Coordenadas geográficas de los sitios de toma de muestras.

7.2. Trabajo de laboratorio

7.2.1. Granulometría

El método de análisis granulométrico desarrollado en la presente tesis es la expuesta por Folk & Ward (1957), quienes propusieron la separación de las partículas respecto a su tamaño, así como la utilización de parámetros estadísticos y su representación gráfica para la interpretación del tamaño medio de grano, desviación estándar, oblicuidad y curtosis, con la finalidad de tener un mejor entendimiento de los sedimentos y su ambiente de depósito.

El análisis granulométrico de las muestras fue realizado en el laboratorio de sedimentología perteneciente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Las 10 muestras analizadas fueron previamente secadas en horno. Posteriormente, se pesaron aproximadamente 36.5 g de cada una de las muestras con la ayuda de una balanza analítica Ohaus E1H110 Explorer. Después, para realizar la separación por tamaño de grano se utilizó un tamizador Ro-Tap Tyler Industrial Products con una columna de tamices ASTM (American Society for Testing and Material) con las mallas numeradas como 10, 12, 14, 16, 20, 35, 60, 80, 100, 140, 170 y 200, definiendo la separación de las diferentes clasificaciones del tamaño de grano (Fig. 7.2.1.1). Para mantener una sincronización constante, el tamizador fue acoplado a un cronómetro y cada muestra fue agitada por 10 minutos. El material retenido en cada malla fue pesado por separado, registrando cada uno de los datos, con la finalidad de obtener los porcentajes de peso acumulado contra tamaño de grano y determinar los parámetros texturales.



Fig. 7.2.1.1. Tamizador Ro-Tap agitando la columna de tamices para la separación de sedimentos por tamaño de grano (Laboratorio de Sedimentología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM).

Respecto al análisis de la forma, redondez y esfericidad de los sedimentos se tomaron 5 granos aleatoriamente de cada una de las muestras recolectadas en las localidades y visualizadas a través del Microscopio Electrónico de Barrido (Capítulo 7.2.3). Considerando las definiciones de cada uno de estos parámetros texturales y las micrografías obtenidas de los sedimentos, éstos fueron identificados visualmente de acuerdo con la clasificación de redondez y esfericidad realizada por Powers (1953) (Fig.7.2.1.2) y la clasificación por forma creada por Zingg (1935) (Fig.7.2.1.3):

- Forma

Es la medida relativa de las longitudes de los tres ejes ortogonales mayores de la partícula (diámetro mayor **a**, diámetro intermedio **b** y diámetro menor **c**) (Pérez-Rojas et al., 2017).

- Esfericidad

Es el grado en que la partícula se aproxima a una esfera perfecta.

- Redondez

Se define como la suavidad de los ángulos o esquinas de la partícula.

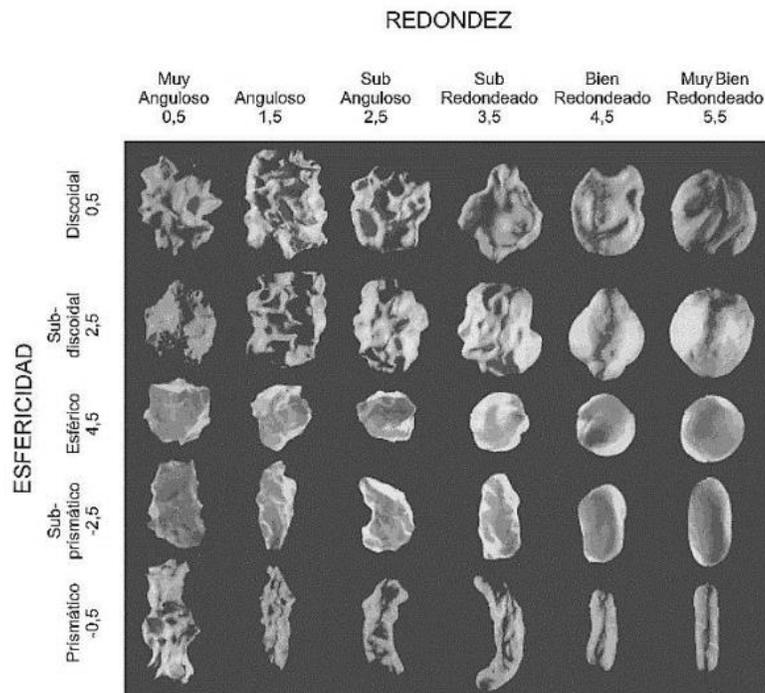


Fig.7.2.1.2. Clasificación de acuerdo con la comparación visual de estimación de la redondez y la esfericidad (Powers, 1953).

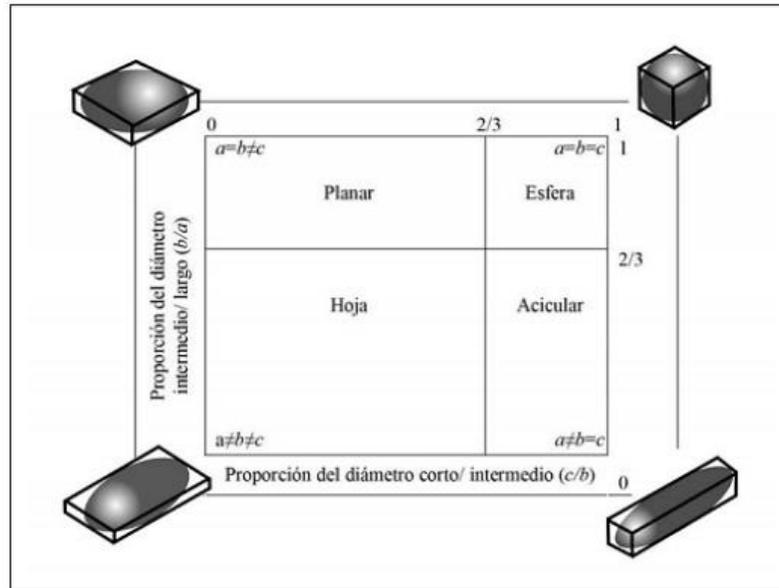


Fig.7.2.1.3. Clasificación de los sedimentos de acuerdo su forma, basado en las proporciones de los diámetros (Carreras-Soriano, 2008).

7.2.1.1. Parámetros estadísticos de granulometría

Media

Representa el tamaño promedio del total de los sedimentos presentes. Este parámetro se encuentra influenciado por factores ambientales como la velocidad del agente de transporte, forma, gravedad específica, composición, durabilidad y naturaleza de la resistencia de los sedimentos durante el transporte.

La media se obtiene utilizando la fórmula:

$$M_z = \frac{\varphi 16 + \varphi 50 + \varphi 84}{3}$$

El tamaño promedio de los sedimentos presentes nos permite clasificarlos en arenas de tipo:

M_z	Clasificación
-1 a 0.01 φ	Arena muy gruesa
0.01 a 1.0 φ	Arena gruesa
1.1 a 2.0 φ	Arena media
2.01 a 3.0 φ	Arena fina
3.01 a 4.0 φ	Arena muy fina

Tabla 7.2.1.1.1 Clasificación de los sedimentos de acuerdo su tamaño promedio.

Desviación Estándar

Proporciona el grado de clasificación de la muestra, es decir, indica de homogeneidad del tamaño de los granos de sedimento. La clasificación de los sedimentos está influenciada por el grado de turbulencia, la velocidad del agente de transporte y propiedades hidrodinámicas, las cuales permiten comprender la energía del ambiente de depósito.

La desviación estándar se determina mediante la fórmula:

$$\sigma_1 = \frac{\varphi_{84} - \varphi_{16}}{4} + \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{6.6}$$

De acuerdo con los valores obtenidos se puede establecer la siguiente clasificación:

σ_1	Clasificación
$< 0.35 \varphi$	Muy bien clasificado
0.35 a 0.50 φ	Bien clasificado
0.50 a 0.71 φ	Moderadamente bien clasificado
0.71 a 1.00 φ	Moderadamente clasificado
1.00 a 2.00 φ	Mal clasificado
2.00 a 4.00 φ	Muy mal clasificado
$> 4.00 \varphi$	Extremadamente mal clasificado

Tabla 7.2.1.2. Clasificación de los sedimentos de acuerdo con los valores obtenidos de la desviación estándar.

Oblicuidad

Estadísticamente, la oblicuidad indica el grado de asimetría de una curva de frecuencias, donde las curvas con asimetría positiva indican un exceso de material grueso. Este parámetro es una herramienta que ayuda en la distinción de ambientes y puede indicar la mezcla de partículas de arena fina y gruesa.

La siguiente fórmula es empleada para su determinación:

$$Sk_1 = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)}$$

La oblicuidad se puede clasificar de acuerdo con los siguientes valores:

Sk₁	Clasificación
+1.0 a +0.3 φ	Muy asimétrico hacia las partículas finas
+0.3 a +0.1 φ	Asimétrico hacia las partículas finas
+0.1 a -0.1 φ	Casi simétrico
-0.1 a -0.3 φ	Asimétrico hacia las partículas gruesas
-0.3 a -1.0 φ	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas.

Tabla 7.2.1.3. Clasificación de los sedimentos de acuerdo con la asimetría del tamaño de partículas.

Curtosis

Es una medida de la angulosidad de la curva de frecuencia, mide la relación entre la clasificación en los extremos de la curva y la clasificación en la parte central, para determinar qué tan normal es esta distribución. Cuando la parte central está mejor clasificada que los extremos, la curva puede ser excesivamente puntiaguda, y se le llama leptocúrtica. Si los extremos se encuentran mejor clasificados que la porción central, la curva presentará una zona horizontal en el máximo y se le denomina platicúrtica. Asimismo, cuando la curva es similar a la normal recibe el nombre de mesocúrtica. Geológicamente, la gráfica de curtosis es una forma de comparar cualitativamente los sedimentos ya clasificados con el tipo de transporte y ambiente de depósito.

La curtosis se determina usando la siguiente fórmula:

$$K_G = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44 (\varphi_{75} - \varphi_{25})}$$

De acuerdo con los valores obtenidos se pueden describir las siguientes características de la curtosis:

K_G	Clasificación
< 0.67 φ	Muy platicúrtico
0.67 a 0.90 φ	Platicúrtico
0.90 a 1.11 φ	Mesocúrtico
1.11 a 1.50 φ	Leptocúrtico
1.50 a 3.00 φ	Muy leptocúrtico
> 3.00 φ	Extremadamente leptocúrtico

Tabla 7.2.1.4. Clasificación de la curtosis de los sedimentos

7.2.2. Microplásticos

Es importante mencionar que se han desarrollado diversas técnicas en el estudio de microplásticos en el mundo. Para seleccionar las técnicas a llevar a cabo, se realizó una revisión de la literatura, modificaciones y adaptaciones a las metodologías con el fin de cumplir con los objetivos de la presente investigación. Las metodologías empleadas fueron las descritas en el manual de análisis de microplásticos en ambientes marinos de la NOAA (2015), así como las realizadas por Alomar et al., 2016; Castañeda et al., 2014; Fischer et al., 2015; Fischer et al., 2016; Frias et al., 2016; y Thompson, et al., 2004.

Para el estudio de los microplásticos depositados en los sedimentos se obtuvieron 75 g de sedimento de cada una de las muestras, pesadas con ayuda de la balanza analítica Ohaus E1H110 Explorer. Con la finalidad de estudiar exclusivamente microplásticos cuyo rango de tamaño fuera de 5.00 a 0.5 mm, el sedimento se tamizó en una malla 10 con abertura de 2.00 mm, considerando que el sedimento era de tipo arena fina. Posteriormente, se tamizó el sedimento en una malla 35 con abertura de 0.50 mm, la cual supone el tamaño mínimo de los microplásticos. Las porciones de sedimento obtenidas en este intervalo fueron separadas y colocadas en bolsas de plástico previamente etiquetadas con su sitio de muestreo.

La extracción de microplásticos se realizó por flotación, a través de la separación por densidad de partículas inmersas en un medio acuoso. Las muestras se introdujeron en vasos de precipitados de 300 ml que contenían una solución saturada de cloruro de sodio y se agitaron vigorosamente durante cinco minutos. Dicha solución, se dejó reposar por 24 h; el sedimento se depositó en el fondo, mientras que los microplásticos permanecieron en suspensión o flotaron en la superficie de la solución. Por decantación, los microplásticos recuperados se examinaron bajo un microscopio estereoscópico modelo SMZ 745T adaptado a una cámara Nikon C-W10xB/22 (Fig. 7.2.2.1.1). Las partículas se fotografiaron y se separaron, usando pinzas de precisión en vidrios de reloj y almacenados para su posterior análisis en el Microscopio Electrónico de Barrido (Capítulo 7.2.3).



Fig. 7.2.2.1 Microscopio estereoscópico utilizado para el análisis de microplásticos (Laboratorio de Sedimentología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM).

Las partículas encontradas en las muestras se examinaron cuidadosamente, considerando los colores y brillos no naturales como indicadores de partículas plásticas y descartando aquellas que no poseían coloración uniforme o contenían estructuras potencialmente orgánicas. Las partículas consideradas como plásticas se contabilizaron y clasificaron de acuerdo con su morfología y color.

De acuerdo con su morfología, las partículas plásticas pueden se clasificaron en cuatro categorías, los cuales son de gran utilidad para identificar fuentes potenciales de contaminación por microplásticos (Fig. 7.2.2.2):

- Pellets

Piezas de plástico cilíndricas, discoides, ovoides o esferoides con superficie lisa (morfología homogénea).

- Fragmentos
Piezas de plástico de forma irregular con bordes afilados angulares y subangulares.

- Fibras
Hebra o filamento de plástico que generalmente presenta una flexión tridimensional.

- Films
Pieza de plástico similar a una lámina delgada, plana y maleable.

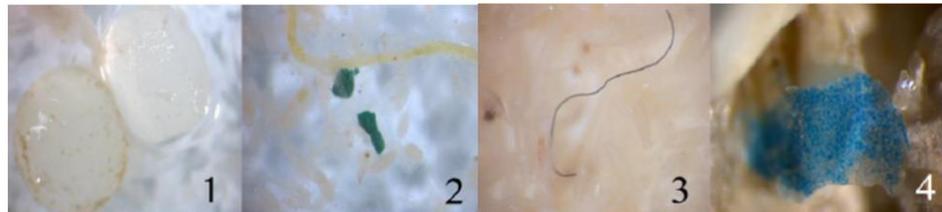


Fig. 7.2.2.2. Clasificación morfológica de los microplásticos. 1) pellets, 2) fragmento, 3) fibra y 4) film (Frias et al., 2018).

La clasificación de microplásticos de acuerdo con su color es de utilidad en un contexto biológico, ya que, dependiendo de las preferencias de alimentación de los organismos, éstas pueden ser consumidas generando problemas en la biota marina. Para esta clasificación se siguieron las categorías asignadas por Frias et al. (2018).



Fig. 7.2.2.3. Clasificación de los microplásticos acorde a su color.

La clasificación "Multicolor" se atribuye a las partículas que presenten dos o más colores. La diferenciación entre las partículas blancas y transparentes se realizó a través de la identificación de la opacidad: los microplásticos blancos son opacos, mientras que los transparentes son translúcidos. Colores como el violeta, rosa, gris, amarillo, naranja o marrón, suelen ser poco comunes, por lo que se les incluyen en la categoría "Otros" (Pazos, 2021).

7.2.3. Microscopia Electrónica de Barrido

El Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) se define como un sistema óptico el cual permite la visualización de muestras micrométricas. Las micrografías digitales o imágenes tridimensionales creadas por el SEM se forman al recolectar electrones secundarios generados por un haz primario que atraviesa la muestra. Estos electrones son detectados por la cámara del SEM y proyectados en un monitor.

Las micrografías SEM son una herramienta utilizada para observar las texturas, tamaños y fragmentación de las partículas plásticas, lo cual ayuda a determinar la procedencia este tipo de contaminantes. Además, permite la observación de partículas adheridas a la superficie de los microplásticos.

Para la obtención de las micrografías digitales se recuperaron 40 microplásticos de tipos fibras, de las localidades Teco7, Teco9, Teco17 y Teco19 debido a que fueron los sitios con mayor abundancia de microplásticos. Las partículas fueron colocadas en portamuestras para SEM utilizando como herramienta de apoyo un microscopio estereoscópico y pinzas de precisión. Además, en otro portamuestras se colocaron granos de arena de todas las localidades muestreadas con la finalidad de analizar la forma, esfericidad y redondez de los sedimentos costeros. Los portamuestras fueron recubiertos con una película delgada de oro para volver conductoras las muestras y obtener las micrografías.

El proceso de análisis de los microplásticos en SEM y toma de micrografías fue realizada por la M. en C. Laura Elena Gómez Lizárraga en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria UNAM en un Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM6360LV (Fig. 7.2.3.1).



Fig. 7.2.3.1. Microscopio Electrónico de Barrido utilizado para la toma de micrografías de microplásticos, ubicado en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Ciudad Universitaria.

7.2.4. Tratamiento matemáticos de datos

Con base en los datos obtenidos de abundancia y clasificación de los microplásticos se realizó una interpolación y extrapolación empleando un modelo matemático lineal en el software MATLAB R2019a, con la finalidad de obtener una aproximación de la cantidad de microplásticos que posrían presentarse en un kilogramo de sedimento (MP/kg) en la zona de estudio (Fig. 7.2.4.1).

```
% - - - Extrapolación de abundancia de Microplásticos - - - %  
  
%Abundancia de Microplásticos  
x = [16, 10, 7, 54, 29, 19, 0, 2, 16, 18];  
  
%Cantidad de sedimento analizado en gramos  
y = 75;  
  
%La proporción de sedimento analizado equivale al 13.33333333% del sedimento  
%que se puede analizar en 1 Kg  
porc = 13.33333333;  
  
%Extrapolación  
Mp_kg = round(x*porc)  
  
% - - - Interpolación de la posible cantidad de Microplásticos en Tecol3 - - -  
%Abundancia encontrada en las entaciones más cercanas en 75 g de sedimento  
Teco11a = 11;  
Teco11MP = 29;  
Teco15a = 15;  
Teco15MP = 2;  
  
Teco13a = 13  
  
%Interpolación de la posible abundancia de microplásticos en 75 g de sedimento  
Teco13Mp = Teco11MP + [((Teco13a-Teco11a)/(Teco15a-Teco11a))*(Teco15MP-Teco11MP)]  
  
%Extrapolación de la posible abundancia de microplásticos en 1 kg de sedimento  
Teco13Mp_kg = round(Teco13Mp*porc)
```

Fig. 7.2.4.1. Script de MATLAB utilizado para la interpolación y extrapolación de microplásticos hallados en las localidades analizadas.

8. Resultados y discusión

8.1. Granulometría

Debido a que la presente investigación no tiene como objetivo determinar la procedencia de los sedimentos, solo se realizará la descripción general de sus características texturales y se considerarán solo aquellas que nos permitan determinar la procedencia de los microplásticos de la región.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las arenas de la playa de Tecolutla, Veracruz, se clasifican como arenas finas, ya que 9 de las 10 muestras analizadas presentan valores de tamaño medio (M_z) de 2.01 a 2.493. Únicamente la muestra Teco7 presentó un valor de tamaño medio de 1.566, lo cual indica que presenta arenas medias. De acuerdo con Sánchez (2018), la clasificación de arenas de grano fino a medio en las muestras es característico del área de estudio, debido a que se encuentra en un margen pasivo.

Las muestras Teco1, Teco5, Teco9, Teco11 y Teco13 se encuentran bien clasificadas, presentando valores de desviación estándar (σ_1) 0.379 a 0.477, mientras que las muestras Teco3, Teco7, Teco15, Teco17 y Teco19 son moderadamente bien clasificadas, ya que presentaron valores de 0.525 a 0.655. En general, las arenas de un ambiente de playa presentan buena clasificación, debido a el movimiento continuo de las olas y el retrabajo de los sedimentos (Folk et al., 1975).

Respecto a la oblicuidad, las muestras Teco1, Teco3, Teco5, Teco9, Teco13, Teco15, Teco17 y Teco19 presentaron valores negativos de -0.122 a -0.749, lo que las clasifica con una atribución asimétrica hacia las partículas gruesas. Mientras que la muestra Teco11 con un valor de -0.14 se clasifica como casi simétrica en la distribución de sus partículas. Sánchez (2018) menciona que el carácter casi simétrico se puede atribuir a la adición

de arenas de río a los sedimentos de playa. En el sitio de estudio se corrobora esta teoría, debido a la cercanía y atribución sedimentaria del río Tecolutla. Por otra parte, la muestra Teco7 se clasifica como muy asimétrica hacia las partículas finas al presentar un valor positivo de 0.315, esto puede deberse a una posible adición de sedimentos finos por el aporte de partículas fluviales (Horikawa et al., 1960; Williams, 1964). Las variaciones en los valores de oblicuidad de la zona de estudio indican que las condiciones de transporte y sedimentación no ocurrieron de manera uniforme, sin embargo, la tendencia casi simétrica y asimétrica hacia la partículas finas, demuestra el depósito de partículas fluviales provenientes del río Tecolutla, por lo que es posible que este transporte conlleve gran cantidad de microplásticos provenientes de las aguas residuales depositadas en el río y que debido a la mecánica oceánica sean depositados en los sedimentos costeros.

Acerca de la curtosis, las clasificaciones tuvieron variaciones de muy platicúrtico a muy leptocúrtico. La muestra Teco7, de acuerdo con los límites establecidos por Folk et al. (1967), se clasificó como muy platicúrtico, debido a su valor de 0.648. Las muestras Teco11 y Teco13 con valores de 0.748 y 0.861 respectivamente, corresponden a la clasificación platicúrtica. Por otra parte, las muestras Teco5 con un valor de 0.945 y Teco9 con 1.106 se clasifican como mesocúrticas. Las muestras Teco1, Teco3 y Teco17 se encuentran clasificadas como leptocúrticas, al tener valores que oscilan de 0.195 a 1.269. Mientras que las muestras Teco15 con valor de 2.092 y Teco19 con 1.762 se clasifican como muy leptocúrticas. Las muestras clasificadas como leptocúrticas y muy leptocúrticas indican que la clasificación de los sedimentos tuvo lugar en un ambiente de alta energía, en contra parte de las muestras que se clasifican como muy platicúrticas o platicúrticas (Friedman, 1962). Además, Friedman, 1967 menciona que a lo largo de las playas cercanas a las desembocaduras de los ríos donde el suministro de sedimentos finos excede la energía de dispersión, las arenas de playa pueden presentar estadísticamente “colas” de granos finos, es

decir, aportes sedimentarios fluviales, en los que, como se ha mencionado anteriormente, puede influenciar el aporte y depósito de microplásticos. Los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros se muestran en la tabla 8.1.1.

Muestra	M_z	Σ_1	Sk_1	K_g	Clase de M_z	Clase de Σ_1	Clase de Sk_1	Clase de K_g
Teco1	2.35	0.477	-0.152	0.195	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtico
Teco3	2.133	0.598	-0.749	1.12	Arena fina	Moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico a las partículas gruesas	Leptocúrtico
Teco5	2.266	0.452	-0.122	0.945	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia las partículas gruesas	Mesocúrtico
Teco7	1.566	0.655	0.315	0.648	Arena fina	Moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas finas	Muy platicúrtico
Teco9	2.43	0.379	-0.272	1.106	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia las partículas gruesas	Mesocúrtico
Teco11	2.236	0.457	-0.014	0.748	Arena fina	Bien clasificado	Casi simétricos	Platicúrtico
Teco13	2.156	0.462	-0.187	0.861	Arena fina	Bien clasificado	Asimétrico hacia las partículas gruesas	Platicúrtico
Teco15	2.493	0.528	-0.352	2.092	Arena fina	Moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Muy leptocúrtico
Teco17	2.166	0.583	-0.254	1.269	Arena fina	Moderadamente bien clasificado	Asimétrico hacia las partículas gruesas	Leptocúrtico
Teco19	2.01	0.525	-0.54	1.762	Arena fina	Moderadamente bien clasificado	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	Muy leptocúrtico

Tabla 8.1.1. Resultados de los parámetros estadísticos de las muestras de playa de Tecolutla, Veracruz

La redondez y esfericidad de las partículas sedimentarias se realizó mediante la comparación visual de las micrografías obtenidas del SEM y las clasificaciones desarrolladas por Powers (1953) y Zingg (1935) (Figs. 8.1.1 – 8.1.4).

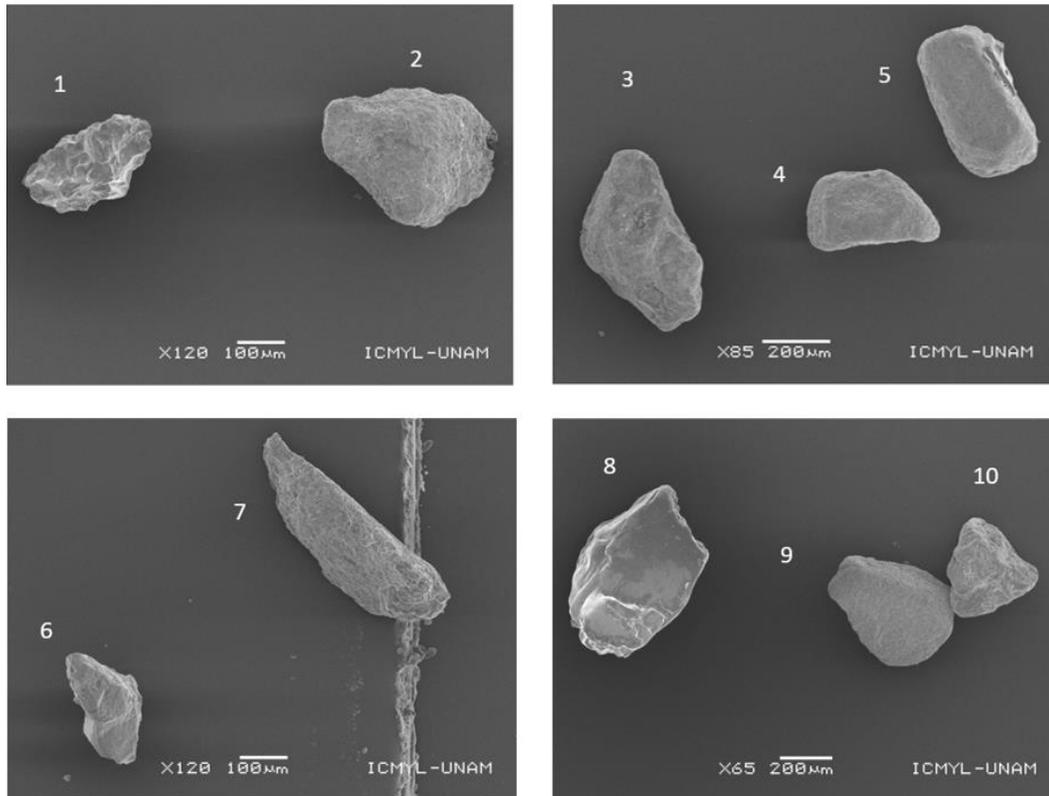


Fig. 8.1.1. 1) Grano de arena con forma acicular; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad -2.5 (subprismático). 2) Grano de arena con forma esférica; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 3) Grano de arena con forma de hoja; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 4) Grano de arena con forma planar; redondez 4.5 (Bien redondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 5) Grano de arena con forma planar; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 6) Grano de arena con forma acicular; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad -2.5 (subprismatico). 7) Grano de arena con forma acicular; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad -0.5 (prismático). 8) Grano de arena con forma planar; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 9) Grano de arena con forma de hoja; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 10) Grano de arena con forma esférica; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 4.5 (esférico).

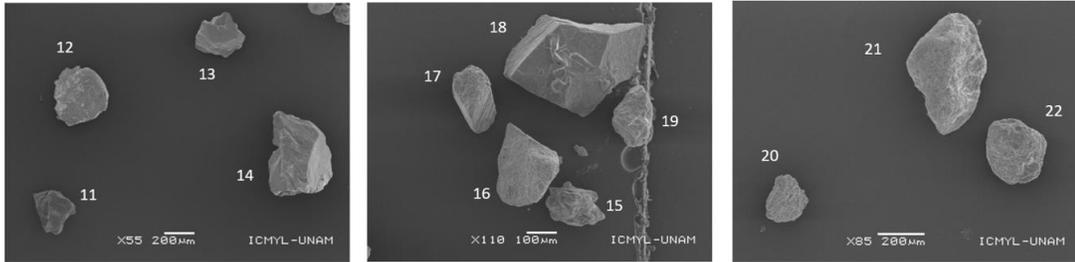


Fig. 8.1.2. 11) Grano de arena con forma esférica; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 4.5 (esférico). 12) Grano de arena con forma esférico; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad 4.5 (esférico). 13) Grano de arena con forma planar; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 14) Grano de arena con forma planar; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 15) Grano de arena con forma planar; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 16) Grano de arena con forma planar; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 17) Grano de arena con forma acicular; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad -2.5 (subprismático). 18) Grano de arena con forma de hoja; redondez 0.5 (muy anguloso); y esfericidad 0.5 (discoidal). 19) Grano de arena con forma planar; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 20) Grano de arena con forma planar; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad 4.5 (esférico). 21) Grano de arena con forma acicular; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad -2.5 (subprismático). 22) Grano de arena con forma esférica; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad 4.5 (esférico).

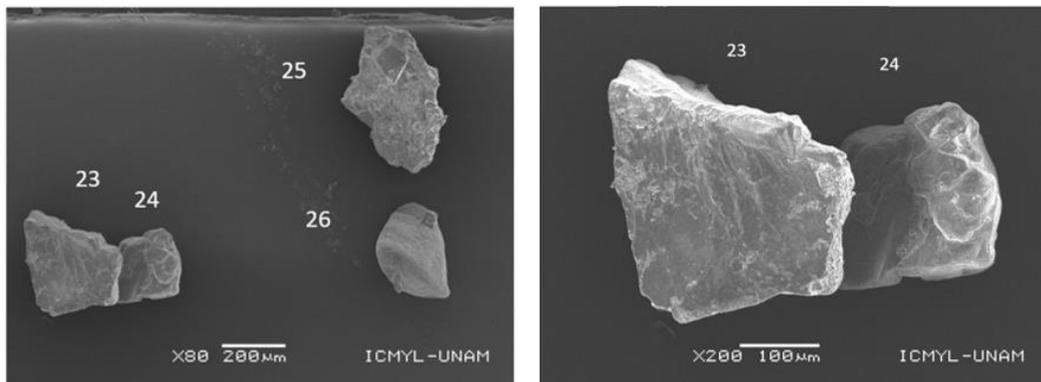


Fig. 8.1.3. 25) Grano de arena con forma planar; redondez 0.5 (muy anguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 26) Grano de arena con forma de hoja; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). Para la observación de los

granos 23 y 24 se realizó *in acercamiento* ya que estos se encontraban encimados. 23) Grano de arena con forma de hoja; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 0.5 (discoidal). 24) Grano de arena con forma de hoja; redondez 1.5 (anguloso); y esfericidad 0.5 (discoidal).

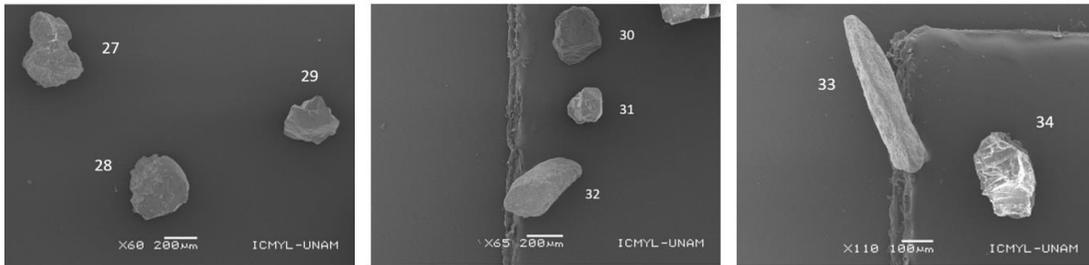


Fig. 8.1.4. 27) Grano de arena con forma de hoja; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 28) Grano de arena con forma esférica; redondez 4.5 (bien redondeado); y esfericidad 4.5 (esférico). 29) Grano de arena con forma planar; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad 2.5 (subdiscoidal). 30) Grano de arena con forma planar; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad 0.5 (discoidal). 31) Grano de arena con forma esférica; redondez 2.5 (subangulosa); y esfericidad 4.5 (subprismático). 32) Grano de arena con forma planar; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad -2.5 (subprismático). 33) Grano de arena con forma acicular; redondez 3.5 (subredondeado); y esfericidad -0.5 (prismático). 34) Grano de arena con forma de hoja; redondez 2.5 (subanguloso); y esfericidad -2.5 (subprismático).

El análisis de las micrografías SEM de las partículas sedimentarias de la costa de Tecolutla, muestra que la forma predominante de los granos de arena es planar (38%), seguida por la forma de hoja (23%); respecto a su redondez, predominan las partículas angulosas y subangulosas con 26% y 24% respectivamente; relativo a la esfericidad, sobresalen los granos subprismáticos (35%) y subdiscoidales (29%) (Fig. 8.1.13), por lo que se puede asumir que la mecánica oceánica en la zona es moderadamente energética, ya que a pesar de que la mayor parte de los granos analizados

tienen algún grado de angulosidad, también son de tipo subprismáticos y subdiscoidales lo cual señala un constante movimiento oceánico que ha retrabajado las mencionadas formas sedimentarias.

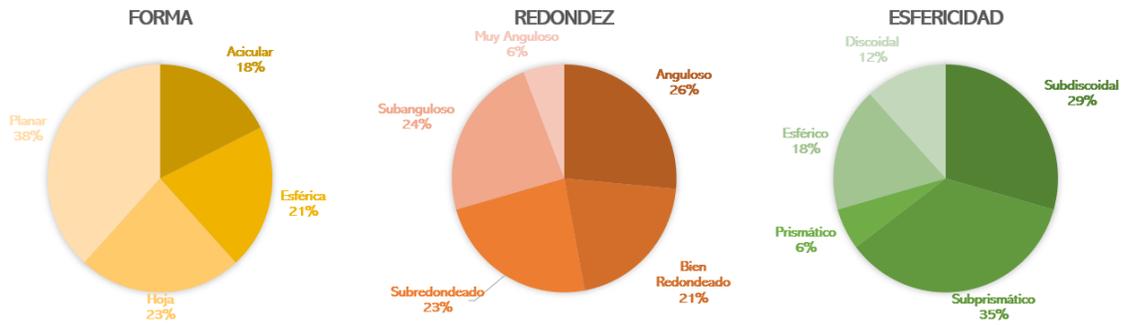


Fig. 8.1.5. Porcentajes de las características de forma, redondez y esfericidad de los sedimentos costeros del municipio de Tecolutla, Veracruz.

En general, los resultados obtenidos de los parámetros granulométricos son de utilidad para determinar que la energía mecánica oceánica influye en el movimiento, depósito y forma que adquieren los sedimentos. Además, confirman el aporte sedimentario fluvial del río Tecolutla, por lo cual, se puede afirmar que estos factores juegan un papel fundamental en el depósito de microplásticos a lo largo de la costa del municipio.

8.2. Abundancia de microplásticos

Se encontró un total de 181 partículas plásticas en 750 g de sedimento analizado, perteneciente a las 10 muestras recolectadas en la playa del municipio de Tecolutla, Veracruz (Fig. 8.2.1). El análisis demostró la presencia de microplásticos en cada sitio de muestreo, a excepción de la muestra Teco13 donde no se presentó ningún microplástico, lo cual podría atribuirse al método de recolección o que los microplásticos del sitio pudieron haber sido de una densidad diferente y no flotar con el cloruro de sodio (NaCl). Para este análisis, los microplásticos presentes se clasificaron por su forma y color, así como su abundancia en cada sitio de muestreo, con la finalidad de determinar su procedencia y grado de contaminación por microplásticos de la playa de Tecolutla.

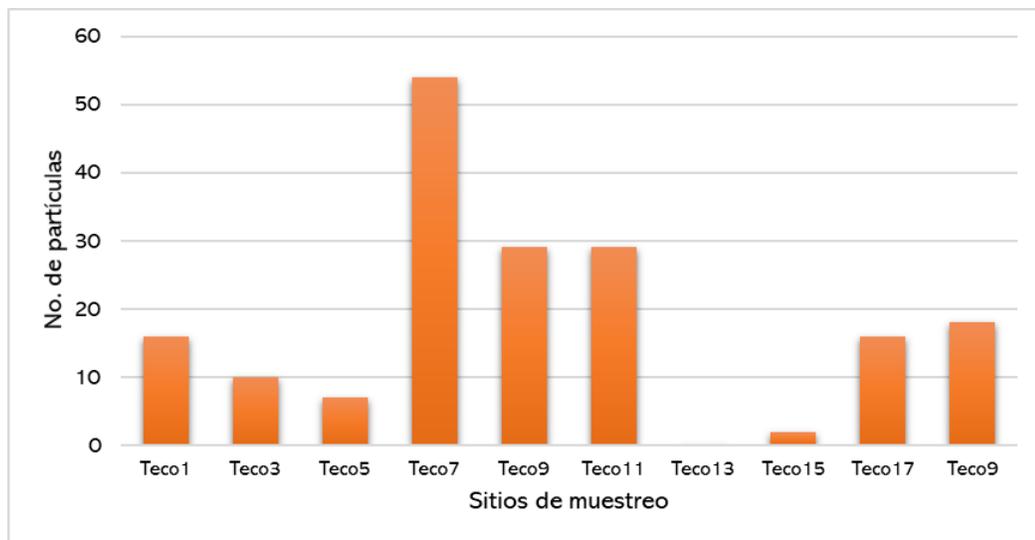


Fig. 8.2.1. Número de partículas microplásticas encontradas en cada una de las muestras analizadas de Tecolutla, Veracruz.

Como se puede observar en la figura 8.2.1, los sitios con mayor cantidad de microplásticos son la localidad Teco7, Teco9 y Teco11, lo cual, de acuerdo a lo discutido en el capítulo 8.1, puede encontrarse asociado a los valores de oblicuidad obtenidos, debido a que al ser casi simétrico en la localidad Teco11 y asimétrico hacia las partículas finas en Teco7, muestran el aporte sedimentario del río Tecolutla, el cual conlleva una atribución de contaminantes ocasionado por el vertido de residuos urbanos en el río y que al desembocar en el mar son dispersados por las corrientes oceánicas y depositados en las costas. Es por ello, que la presente tesis, propone una hipótesis acerca de la relación entre el parámetro de oblicuidad de los sedimentos con la presencia y abundancia de partículas microplásticas que puedan encontrarse a lo largo de las costas. Respecto a la localidad Teco9, se asume que, de igual manera, presenta una notable abundancia de microplásticos debido a que se encuentra en medio de este par de localidades que han sido incididos con los contaminantes fluviales, esto a pesar de que su oblicuidad haya sido de tipo asimétrico hacia las partículas gruesas. Para corroborar esta hipótesis se tendrían que continuar realizando estudios de presencia de microplásticos en zonas costeras cercanas a desembocaduras de ríos y correlacionando su presencia y abundancia con la oblicuidad granulométrica.

Se realizó una extrapolación del número de microplásticos encontrados en cada localidad (Tabla 8.2.1), con la finalidad de cuantificar la cantidad de partículas plásticas que puedan depositarse en cada kilogramo de sedimento de las playas de Tecolutla.

Sitio	Número de microplásticos en 75g de sedimento	Extrapolación de número de microplásticos en 1kg de sedimento
Teco1	16	213
Teco3	10	133
Teco5	7	93
Teco7	54	720
Teco9	29	387
Teco11	29	367
Teco13	0	0
Teco15	2	27
Teco17	16	213
Teco19	18	240

Tabla 8.2.1. Extrapolación de cantidad de partículas microplásticas en un kilogramo de sedimento.

Para el caso específico de la muestra Teco13, se realizó una interpolación de acuerdo con el número de partículas encontradas en los sitios de muestreo cercanos (Teco11 y Teco15) con el objetivo de obtener un valor aproximado de los microplásticos que pudiesen estar depositados en dicha localidad (Tabla 8.2.2).

Sitio	Interpolación de microplásticos en 75g de sedimento	Extrapolación de números de microplásticos en 1kg de sedimento
Teco13	15.5	207

Tabla 8.2.2. Interpolación y extrapolación de la cantidad de microplásticos en 75 g y un kilogramo de sedimento respectivamente para la localidad Teco13.

El promedio de partículas plásticas que se espera encontrar por cada kg de sedimento en la playa de Tecolutla, Veracruz es de 260 partículas, sin embargo, este promedio puede estar sesgado debido a que este valor se ha obtenido de las extrapolaciones y existe la posibilidad de que no haya presencia de microplásticos en algunas zonas de la playa.

En comparación con la abundancia de microplásticos a nivel mundial, la cantidad encontrada en el municipio es moderado, ya que es mayor el registro de partículas plásticas en otros países como España y Holanda donde hay un mayor nivel de industrialización y distinto manejo de residuos urbanos, por lo que la abundancia de este tipo de partículas en los mencionados países oscila entre 100 – 897 y 100 – 3600 respectivamente (Tabla 8.2.3).

Zona / Subzona	Número de microplásticos en 1 kg de sedimento
Tecolutla	260
España	100 – 897
Croacia	32 – 337
Holanda	100 – 3600
Alemania	461
Mar Mediterráneo	291
Mar del Norte	131
Mar Báltico	270

Tabla 8.2.3. Comparación del número de partículas plásticas encontradas en un kilogramo de sedimento en la zona de estudio respecto a la abundancia a nivel mundial. La comparación, se realizó con países cuyos estudios se realizaron bajo los mismos conceptos y parámetros de estudio que la presente tesis. Sin embargo, puede existir un sesgo debido a la diferencia de muestras analizadas. Datos obtenidos de Lots et al. (2017).

8.3. Longitud de microplásticos

La longitud de los microplásticos encontrados fue desde 50 hasta 3 000 μm aproximadamente, con una longitud promedio de 665 μm (Fig.8.3.1).

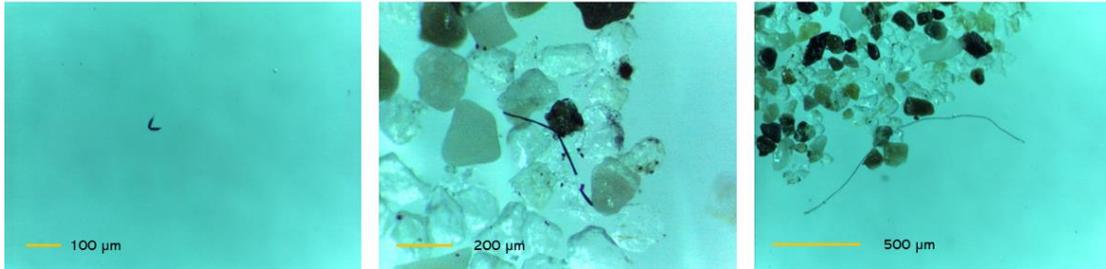


Fig.8.3.1. Microplásticos en forma de fibra con longitudes de 50, 350 y 1300 μm respectivamente.

El tamaño de partículas que más se encontraron, fueron las partículas con longitudes de entre 301 y 500 μm , seguidas por las partículas de 501 a 1000 μm y las partículas de 50 a 30 μm (Fig. 8.3.2).

En el ámbito biológico, conforme más pequeño sea el tamaño de las partículas plásticas se favorecerá la biodisponibilidad, debido a que se facilita su ingestión en los organismos bentónicos que, a su vez, son consumidos por organismos más grandes y consecuentemente la contaminación por microplásticos se transferirá en la cadena trófica.

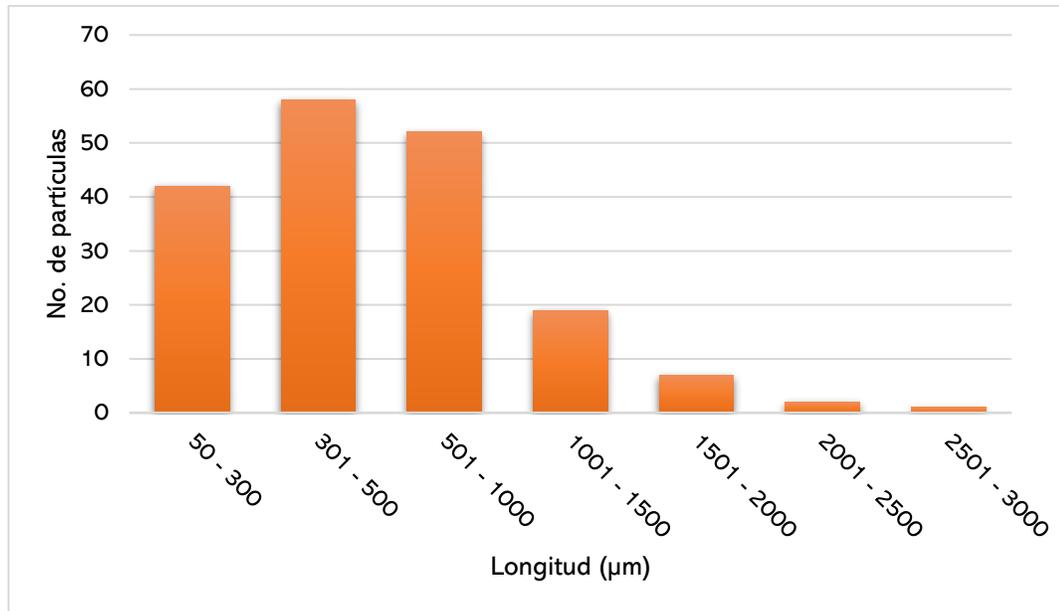


Fig.8.3.2. Número de partículas plásticas encontradas y clasificadas en intervalos de tamaño

Con base en las investigaciones de Brown et al. (2011) y Alomar et al. (2016) se asume que los microplásticos encontrados en las playas de Tecolutla, Veracruz deben su tamaño (menor a las 3000 μm) debido al tamaño de las partículas sedimentarias costeras, clasificadas como arenas finas, las cuales contribuyen a la retención y acumulación de los microplásticos.

8.4. Clasificación de microplásticos

8.4.1. Clasificación por su forma

Los estudios realizados por Laglbauer et al. (2014) y Strand et al. (2016) aseguran que más del 90% de los microplásticos presentes en los sedimentos marinos son de tipo fibras, y el presente estudio no fue la excepción. Del total de 181 partículas plásticas encontradas, en cuanto a su forma, los tipos de microplásticos encontrados fueron predominantemente las fibras, con 166 partículas (92%), y en una menor cantidad se presentaron microplásticos de tipo films, con 12 partículas (6%), y fragmentos, con 3 partículas (2%) (Fig. 8.4.1.1).

Por lo tanto, los microplásticos encontrados fueron principalmente de tipo primario, ya que las fibras fueron el tipo más abundante, sin embargo, dentro de esta clasificación, no se encontraron microplásticos en forma de pellets, lo cual puede deberse a la ausencia de industrias en la región que pudiesen aportar este tipo de microplásticos primarios a la zona de estudio o bien, al eficiente manejo de aguas residuales en las industrias cercanas al municipio de Tecolutla. En menor proporción, se encontró la presencia de microplásticos de tipo secundario, films y fragmentos, los cuales provienen de la fragmentación de macro o mesoplásticos desechados en la zona de playa o transportados por la mecánica oceánica.

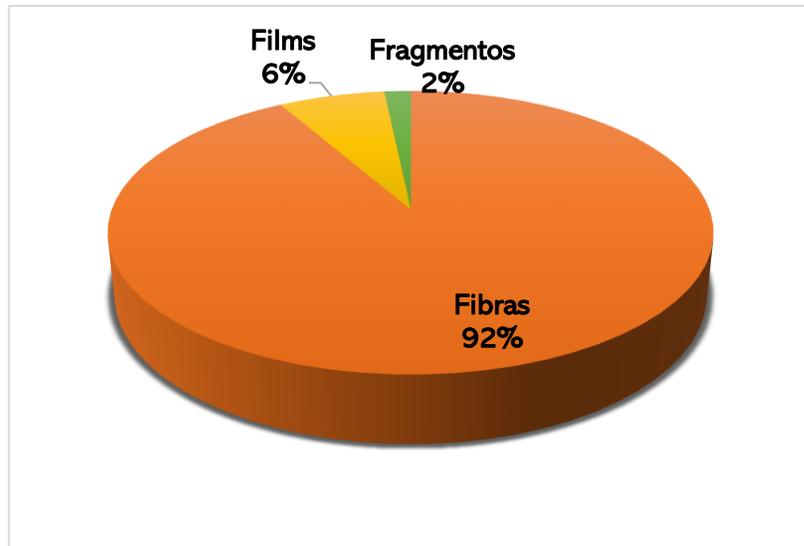


Fig. 8.4.1.1. Porcentaje de partículas plásticas categorizadas de acuerdo con su forma.

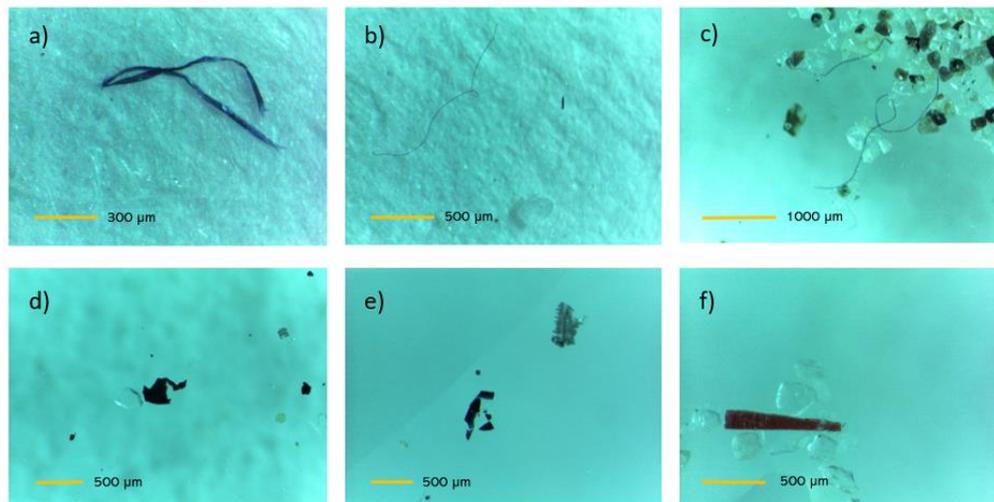


Fig. 8.4.1.2. Tipos de microplásticos encontrados y clasificados de acuerdo con su forma y color: a) Microplástico tipo fibra color azul, b) Microplástico tipo fibra color azul, c) Microplásticos tipo fibra color azul y morado, d) Microplástico tipo film color negro, e) Conjunto de microplásticos tipo fragmentos color negro y microplástico tipo film color gris con negro, f) Microplástico tipo fragmento color rojo.

La figura 8.4.1.3. muestra la abundancia y clasificación de acuerdo con la forma de las partículas plásticas encontradas en cada localidad. En todos los sitios de muestreo (excepto Teco13 donde no se encontró ningún microplástico) las partículas plásticas dominantes fueron las fibras, con una mayor abundancia de este tipo de microplástico en la zona de Teco7 con 51 partículas. Se encontraron microplásticos tipo film en las localidades de Teco1, Teco7, Teco9, Teco17 y Teco19 con una abundancia de 1 a 3 partículas. Los fragmentos plásticos se encontraron solamente en las localidades de Teco1, Teco11 y Teco19 con un fragmento en cada localidad. El único sitio que registró los 3 tipos de microplásticos encontrados en esta investigación fue Teco19. Sin embargo, el sitio Teco7 fue la que registro una mayor abundancia de partículas plásticas con un total de 54 con dos tipos de microplásticos: fibras y films.

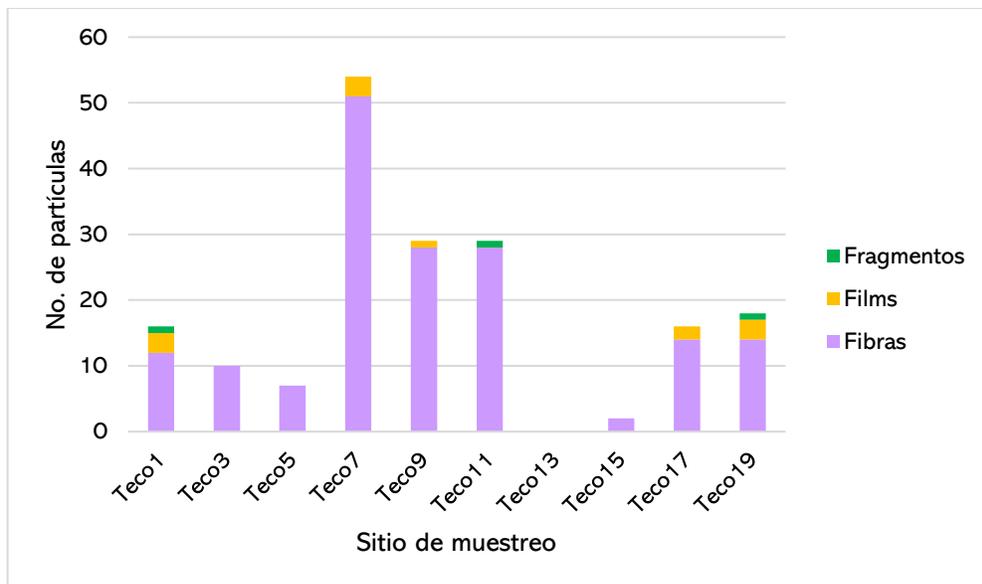


Figura 8.4.1.3. Abundancia y clasificación por su forma de las partículas plásticas encontradas en cada uno de los sitios de muestreo.

8.4.2. Clasificación por color

Con la finalidad de obtener una mejor clasificación de los microplásticos encontrados, éstos se categorizaron de acuerdo con su color. Como se muestra en la figura 8.4.2.1 el color más abundante en los microplásticos fue el negro con 81 partículas (45%), de los cuales en su mayoría fueron de tipo fibras. El color azul, fue el segundo color dominante con 65 partículas (36%) y todos ellos fueron microplásticos de tipo fibras.

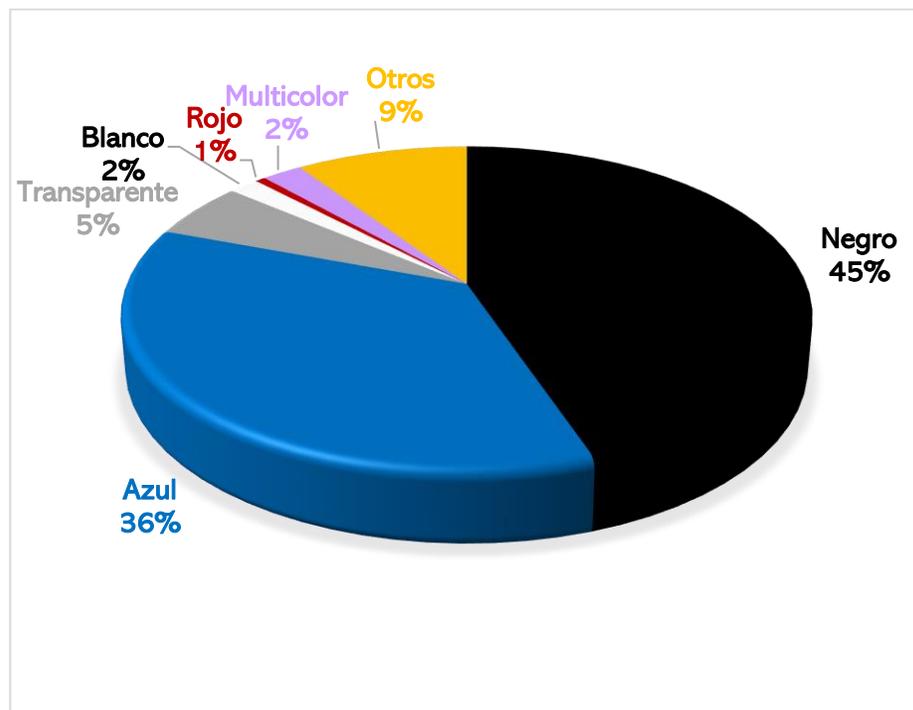


Fig. 8.4.2.1. Porcentaje de partículas plásticas categorizadas de acuerdo con su color.

La investigación realizada por Lots et al. (2017) informa que el color más abundante en los sedimentos de las playas europeas es el negro y el azul, por lo que el presente resultado aporta solidez a la teoría general acerca de que los colores más abundantes de los microplásticos a nivel mundial son el negro y el azul.

De acuerdo con la anterior clasificación, los microplásticos de tipo fibras en color negro son los más abundantes, de igual manera, para las partículas de tipo film las cuales en su mayoría fueron de color negro. Respecto a los microplásticos de tipo fragmento, su presencia fue muy escasa, con únicamente 3 partículas, una de color negro, una en blanco y una en rojo (Tabla 8.4.2.1).

Tipo de MP		Azul	Negro	Transparente	Blanco	Rojo	Multicolor	Otros	
Fibras	Total	65	70	9	2	0	3	17	166
	%	39.16	42.17	5.42	1.20	0	1.81	10.24	100
Films	Total	0	10	1	0	0	1	0	12
	%	0	83.33	8.33	0	0	8.33	0	100
Fragmentos	Total	0	1	0	1	1	0	0	3
	%	0	33.33	0	33.33	33.33	0	0	100
		65	81	10	3	1	4	17	

Tabla 8.4.2.1. Abundancia y porcentaje de cada tipo de microplásticos clasificado por su forma y color.

La importancia de categorizar los microplásticos por su color es debido a que nos permite inferir su procedencia, como lo es el color transparente asociado a bolsas, envolturas o envases. Además, en el contexto biológico, el color de los microplásticos cobra relevancia, ya que algunos colores suelen ser más llamativos para los organismos y al confundirlos con alimento (arena o plancton) pueden ocasionarles daños fisiológicos o toxicológicos, una prueba de ello, es el estudio realizado por Sánchez (2018) expone que los principales colores presentes en los estómagos de los peces estudiados en el estuario de Tecolutla son el color azul y el rojo.

8.5. Interpretación de la procedencia de los microplásticos

Los diversos estudios realizados acerca de microplásticos alrededor del mundo, han permitido conocer que determinadas formas de partículas plásticas se desprenden de ciertos productos, lo que nos ayuda a deducir el origen de los microplásticos, sin embargo, para determinar de manera precisa su procedencia se debe realizar un análisis de Espectroscopía Infrarroja que nos permita conocer su composición química.

En el presente estudio, los microplásticos más abundantes fueron el tipo fibra, por lo cual se realizó un enfoque en el análisis de la procedencia de dichas partículas, haciendo uso de la Microscopia Electrónica de Barrido para inspeccionar de manera más profunda su textura, morfología, tamaño y fragmentación (Figs. 8.5.1 – 8.5.6).

Los microplásticos observados mediante la micrografía SEM fueron recuperados de las localidades que presentaron mayor abundancia de partículas plásticas (Teco7, Teco9, Teco17 y Teco19). La fig. 8.5.1 muestra la estructura característica de las microfibras, filamentos alargados con acomodo tridimensional, con tamaños de 150 μm a 1 200 μm de longitud aproximadamente.

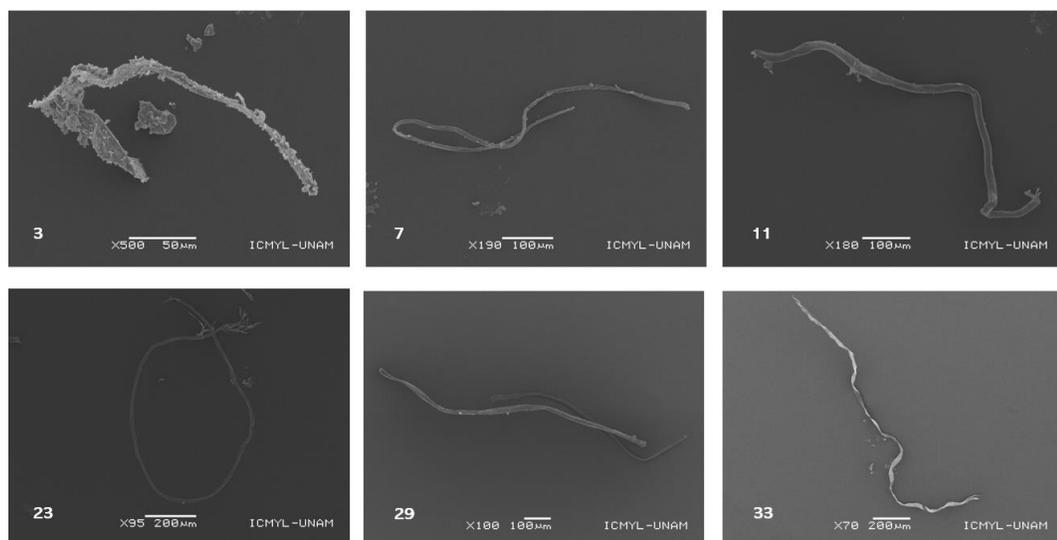


Fig. 8.5.1. Microplásticos tipo fibras enumerados como 3, 7, 11, 23, 29 y 33 de los 40 analizados en SEM, observando con mayor presión las variaciones de sus longitudes y forma característica.

Las micrografías de las figuras 8.5.2. y 8.5.3 permiten la observación de las texturas de las fibras microplásticas, las cuales dependen del tipo de material que las compone. Las hebras visibles de las microfibras de la figura 8.5.2 indican que proviene del desprendimiento de materiales sintéticos textiles. Por otra parte, la textura de las microfibras de la figura 8.5.3 muestran una textura lisa y uniforme, lo cual indica que provienen del desprendimiento o fragmentación de macro o mesoplásticos compuestos por diversos polímeros.

De acuerdo con las investigaciones desarrolladas por Alomar et al. (2016); Castañeda et al. (2014); Brown et al. (2011) y Thompson et al. (2004) algunas fibras, films y fragmentos plásticos se originan de la segmentación de envolturas, envases, taparrosas, bolsas, redes de pesca y utensilios desechables como vasos, platos o tenedores, entre otros de los múltiples objetos plásticos que se utilizan cotidianamente y que son desechados al mar o zonas costeras sin precaución alguna. Por otra parte, mencionan que las microfibras textiles provienen del desprendimiento de la ropa, ya sea por un

desprendimiento directo de la ropa u objetos que lleven consigo las personas que concurren las playas o el vertido de aguas residuales en ríos que desemboquen en los mares. Respecto al aporte de microfibras textiles sintéticas Brown et al. (2011) concluyó que el lavado de una sola pieza de ropa puede liberar hasta 1900 fibras al medio ambiente.

Se considera que todos los factores antes mencionados son potenciales fuentes de la emisión de los microplásticos encontrados en las playas de Tecolutla, Veracruz, sin embargo, el más relevante por su mayor aporte de partículas es la desembocadura del río Tecolutla en el Golfo de México. En primera instancia, el trabajo desarrollado por Limón-Hernández (2019) informa del vertido de aguas residuales por varios de los municipios por los cuales transcurre el río. Asimismo, Sánchez (2018) reportó la presencia de microplásticos en los sedimentos del estuario del río Tecolutla. Esto aunado a los valores de oblicuidad de los sedimentos obtenidos en la presente tesis, se corrobora el aporte de partículas y consecuentemente contaminantes microplásticos provenientes del río Tecolutla, los cuales son dispersados y depositados en los sedimentos costeros del municipio por la dinámica de las corrientes marinas superficiales, sobre todo, en la época de transición de suradas a nortes (entre los meses de octubre a noviembre), donde la corriente que se presenta de manera paralela a la costa en dirección sur a norte, la cual transporta el agua y partículas inmersas del río Tecolutla, cambia de dirección y se presenta de manera perpendicular a la costa y por lo tanto, deposita a lo largo de las playas los sedimentos y partículas plásticas que acarrea la corriente.

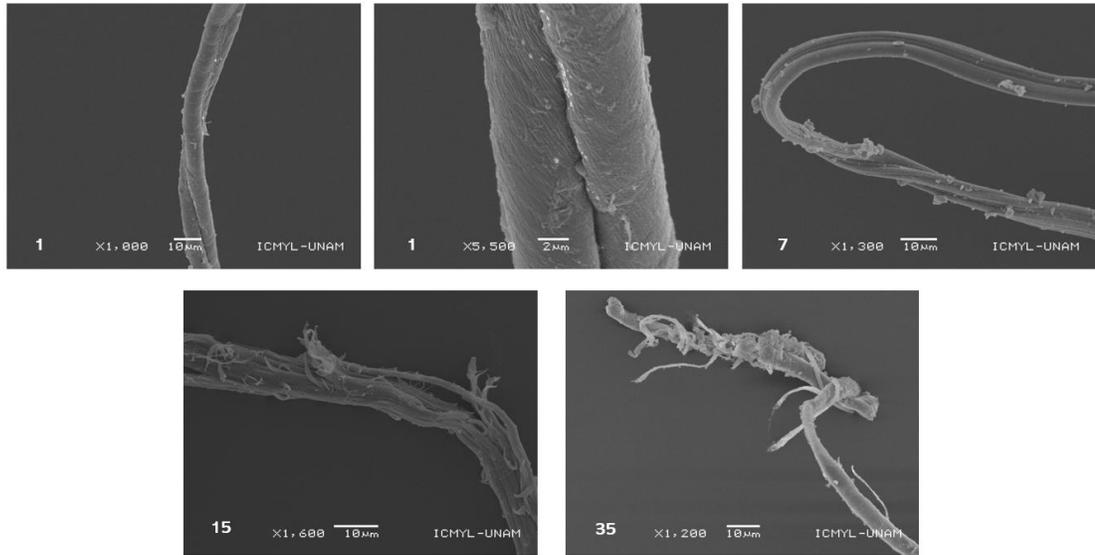


Fig. 8.5.2. Distinción de las texturas de las microfibras 1, 7, 15 y 35. Se infiere su procedencia del desprendimiento de materiales sintéticos textiles.

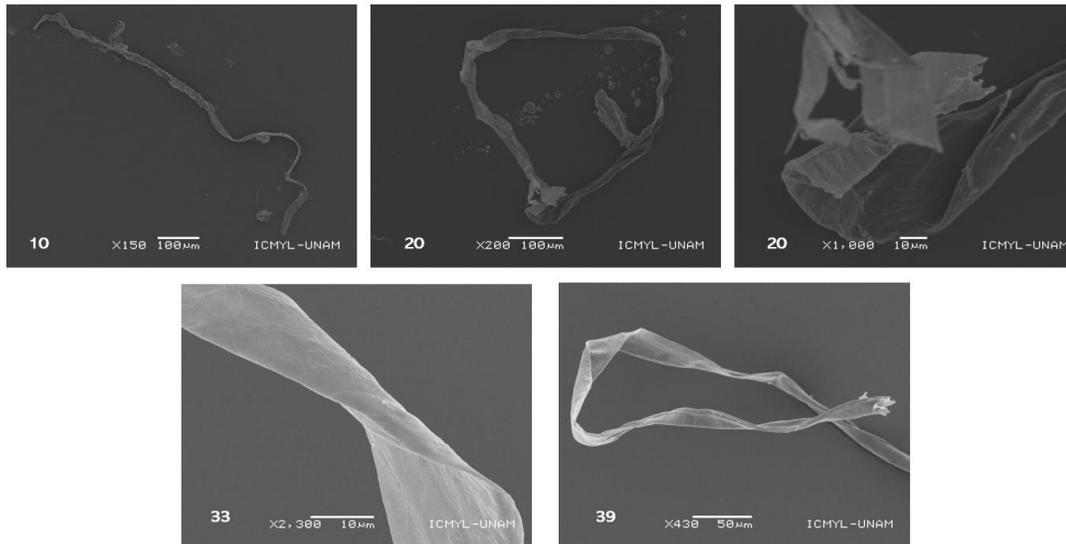


Fig. 8.5. 3. Distinción de las texturas de las microfibras 10, 20, 33 y 39. Se infiere su procedencia del desprendimiento o fragmentación de objetos compuestos por polímeros plásticos.

Las figuras 8.5.4 y 8.5.5 muestran las fisuras y fragmentación de las fibras microplásticas debido a la degradación por factores físicos, químicos y biológicos, lo cual da pauta a la generación de más microplásticos de menor longitud al medio ambiente marino, y que debido a esta reducción de tamaño su biodisponibilidad aumenta, y por lo tanto el riesgo de transferencia a lo largo de la red trófica. Además, de acuerdo con Yang et al. (2020), las fisuras son una de las potenciales zonas de establecimiento de comunidades microbianas como los son procariontas, hongos y algas.

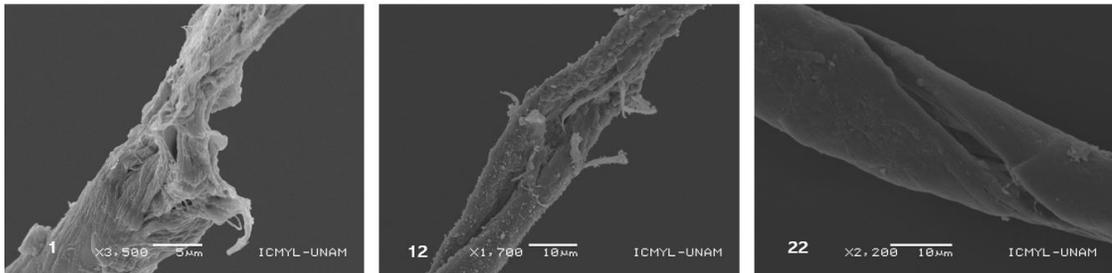


Fig. 8.5.4. Fisuras en la estructura de las microfibras 1, 12 y 22.

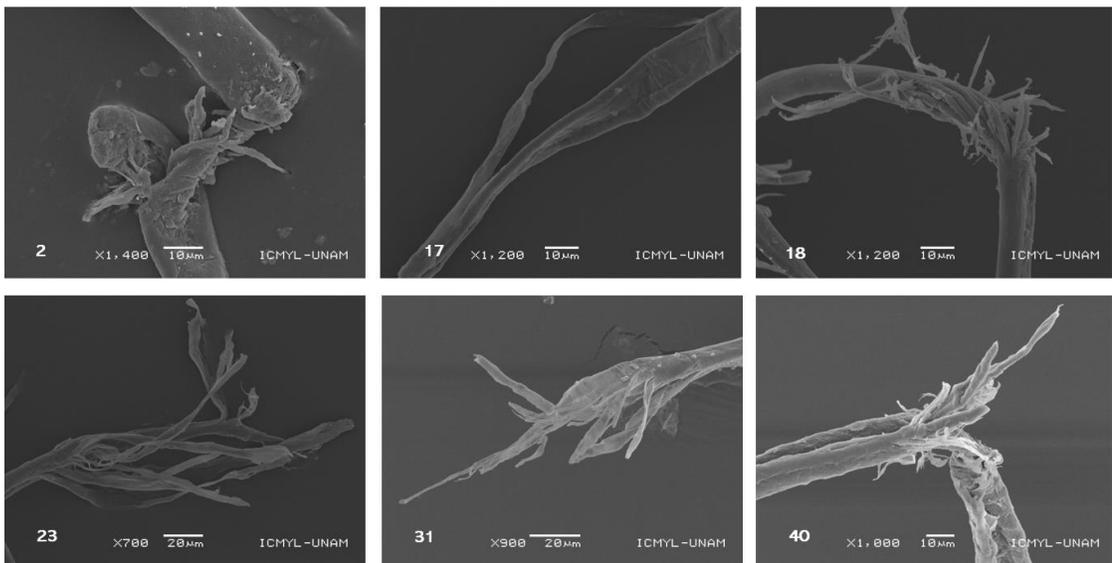


Fig. 8.5.5 Bordes de fragmentación de las microfibras 2, 17, 18, 23, 31 y 40.

Asimismo, Yang et al. (2020) afirma que los microplásticos no son partículas inertes, sino que en su superficie son capaces de mantener la adherencia de partículas que se encuentran en el entorno, las cuales permiten que comunidades de organismos heterótrofos desarrollen biofilm o, como ellos le nombran, *plastiesfera*. Las partículas adheridas *per se* o los biofilms al ser ingeridos por la biota marina pueden producir alteraciones fisiológicas, intoxicación o biomagnificarse al transferirse en organismos tróficos superiores (Cole et al., 2011). La figura 8.5.6. muestra la adherencia de partículas a las microfibras analizadas por micrografía SEM, lo cual demuestra, el riesgo potencial de este tipo de contaminantes para los organismos marinos del municipio de Tecolutla, Veracruz.

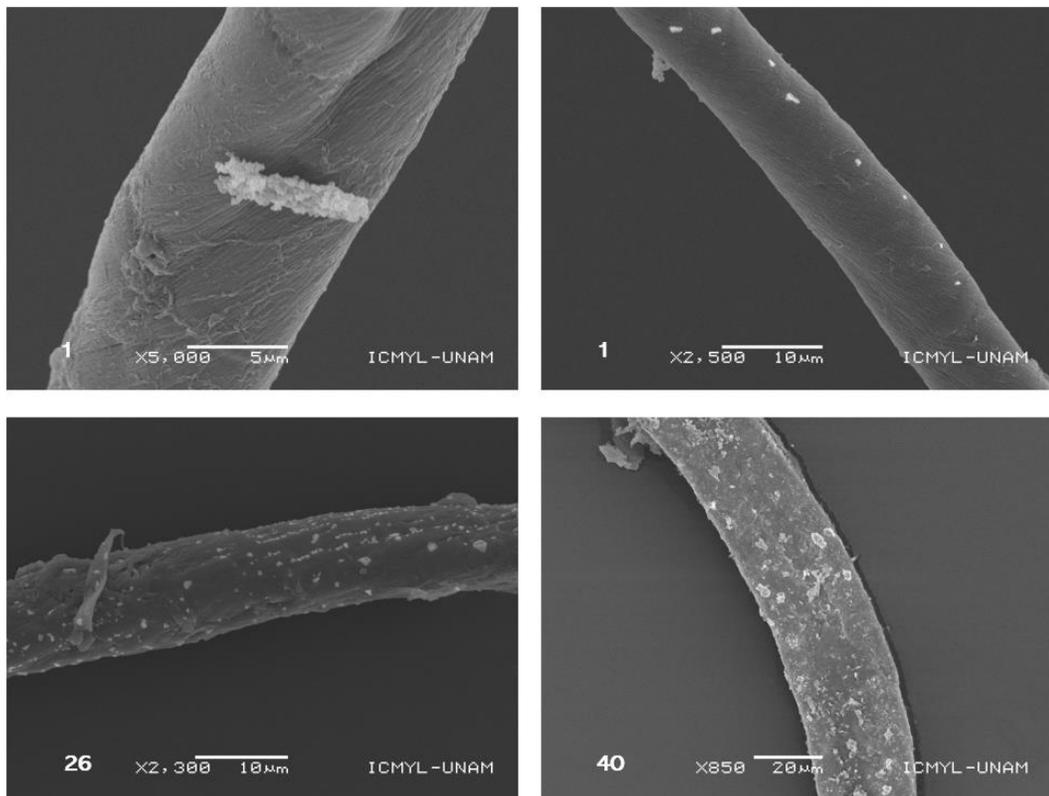


Fig. 8.5.6. Microfibras 1, 26 y 40 con adherencia de partículas en su superficie.

Los microplásticos han sido considerados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, como uno de los diez problemas emergentes, ya que se encuentran ampliamente distribuidos en diversos ecosistemas alrededor del mundo (Pazos, 2021). Por ello, es de suma relevancia crear métodos de gestión de residuos que eviten la propagación de este problema, principalmente el tratamiento de aguas residuales, que en el caso del municipio de Tecolutla son vertidos directamente al río, transportados por las corrientes fluviales y oceánicas y que finalmente, al ser depositados en los sedimentos costeros son complicados de extraer.

En un panorama general, se propone la creación y seguimiento de ciclos de vida de los productos plásticos, en el cual se realice la recolección de los residuos para su correcta gestión, y donde se considere la reutilización o reciclaje del producto, de manera que se evite su incorrecto desecho en el entorno y que las condiciones ambientales den lugar a los microplásticos. Además, en el aspecto social, es necesario generar conciencia acerca de las afectaciones ocasionadas al medio ambiente por el uso de productos plásticos y fomentar su reemplazo con otro tipo de materiales.

8.6. Relación granulometría – microplásticos.

Los estudios realizados por Brown et al. (2011) y Alomar et al. (2016) afirman que la concentración de microplásticos es inversamente proporcional al tamaño de grano de los sedimentos, por lo que al disminuir el tamaño de las partículas sedimentarias, aumenta la concentración de los microplásticos en el medio ambiente marino.

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se confirma la hipótesis realizada por los mencionados autores. A pesar de que en general, todos los sedimentos de la zona costera de Tecolutla, Veracruz se clasificaron como arenas finas, el parámetro de oblicuidad mostró una mayor tendencia hacia las partículas finas en las localidades Tec07 y Tec011, sitios donde la concentración de microplásticos fue mayor en comparación con el resto de las áreas muestreadas, las cuales mostraron una tendencia en su oblicuidad hacia las partículas gruesas (Tabla 8.6.1).

Por lo tanto, la disminución del tamaño de las partículas sedimentarias propicia a una mayor retención de los microplásticos. Es por ello, que se considera que la oblicuidad podría ser un parámetro importante para la determinación de la concentración de microplásticos en los sedimentos costeros, ya que determina el posible aporte de contaminantes por vía fluvial; además, al tender a hacia las partículas gruesas podría indicar una menor retención de microplásticos, o en su contra parte, al tender hacia las partículas finas indicaría una mayor retención de este tipo de contaminantes.

Localidad	M_z	Sk₁	Abundancia de microplásticos
Teco1	Arena fina	Asimétrico hacia las partículas gruesas	16
Teco3	Arena fina	Muy asimétrico a las partículas gruesas	10
Teco5	Arena fina	asimétrico hacia las partículas gruesas	7
Teco7	Arena fina	Muy asimétrico hacia las partículas finas	54
Teco9	Arena fina	Asimétrico hacia las partículas gruesas	29
Teco11	Arena fina	Casi simétrico	29
Teco13	Arena fina	Asimétrico hacia las partículas gruesas	0
Teco15	Arena fina	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	2
Teco17	Arena fina	Asimétrico hacia las partículas gruesas	16
Teco19	Arena fina	Muy asimétrico hacia las partículas gruesas	18

Tabla 8.6.1. Relación entre el tamaño promedio y la oblicuidad del sedimento respecto a la abundancia de microplásticos en las playas de Tecolutla, Veracruz.

9. Conclusiones

El análisis de los parámetros texturales de los sedimentos del municipio de Tecolutla permitió clasificarlos como arenas finas de acuerdo con su tamaño promedio. Los valores obtenidos de la desviación estándar permitieron catalogar los sedimentos como bien clasificados y moderadamente bien clasificados como consecuencia del movimiento continuo de las olas y el retrabajo de los sedimentos (Folk et al., 1975). Los valores de curtosis presentaron variaciones, siendo en su mayoría leptocúrticos (30%), lo cual indica que la clasificación de los sedimentos tuvo lugar en un ambiente de alta energía (Friedman, 1962). Respecto a la oblicuidad, el 50% de las muestras estudiadas se clasificó como asimétricas hacia las partículas gruesas, no obstante, las muestras en las cuales la oblicuidad fue casi simétrica y muy asimétrica hacia las partículas finas éstas presentaron una mayor abundancia de microplásticos.

La mayoría de los microplásticos encontrados en el municipio fueron de tipo primario, con una dominancia del 92% de microfibras textiles provenientes del aporte fluvial del río Tecolutla. Aunque como hipótesis se planteó que la mayor abundancia se encontraría en los sitios de muestreo cercanos a la desembocadura, se descubrió una mayor abundancia en los sitio Teco7 y Teco11 donde el depósito de estos contaminantes es influenciado por las corrientes oceánicas superficiales.

Se comprobó la relación entre el tamaño de los sedimentos y la abundancia de los microplásticos propuesta por Brown et al. (2011) y Alomar et al. (2016). En adición, se plantea la hipótesis de que el parámetro granulométrico de oblicuidad es determinante en la abundancia de microplásticos presentes en los sedimentos.

Respecto a la gestión de residuos microplásticos, se sugiere que la mejor estrategia radica en la prevención y tratamiento de residuos urbanos, debido a que la mayor parte de los microplásticos encontrados proviene de los desagües urbanos vertidos

al río Tecolutla; además, su extracción del medio ambiente no cuenta con métodos definidos debido a las complicaciones derivadas de la longitud de estas partículas.

Es importante monitorear la abundancia y procedencia de los microplásticos presentes en los sedimentos costeros, con la finalidad de determinar los riesgos potenciales a los que están sometidos las comunidades biológicas marinas de la región y así, prevenir la propagación del problema.

La presente investigación proporciona el primer registro del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de contaminantes microplásticos a lo largo de las playas de Tecolutla, Veracruz, el cual puede ser la base para la continuidad de futuros estudios en el ámbito de la contaminación por partículas plásticas en el medio ambiente marino.

10. Referencias

Aguayo-Camargo, J.E. (2005). *Neotectónica y facies sedimentarias cuaternarias en el suroeste del Golfo de México, dentro del marco tectónico estratigráfico regional evolutivo del sur de México*. ingeniería, Investigación y tecnología, 6(1), 19-45. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/404/40460103.pdf>

Allen, P. & Allen, J. (2005). *Basin Analysis Principles and Applications*. Blackwell Publishing Ltd.

Almesh, I., Tayeh, B., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohamed, A. & Alaskar, A. (2020) *Use of recycled plastic as fine aggregate in cementitious composites: A review*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119146>

Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). *Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size*. Marine Environmental Research, 115, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>

Álvarez-Zeferino, J., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A., Martínez-Salvador, C., & Vázquez-Morillas, A. (2020). *Dataset of quantification and classification of microplastics in Mexican sandy beaches*. Data in Brief, 33, 106473. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106473>

Álvarez-Zeferino, J., Ojeda-Benítez, S., Cruz-Salas, A., Martínez-Salvador, C., & Vázquez-Morillas, A. (2020). *Microplastics in Mexican beaches*. Resources, Conservation and Recycling, 155, 104633. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104633>

Amaya, A. (2016). *Evaluación de los microplásticos en la laguna arrecifal de Puerto Morelos, Quintana Roo, México, y sus efectos en la biota tomando como ejemplo*

una especie de invertebrado béntico: Ophiacoma echinata. (Maestría) Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

Andrady, A. (2011) *Microplastics in the marine environment.* Marine Pollution Bulletin, 62 (8), 1596 – 1605. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

Armstrong-Altrin, J. S. Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A., García, D., Eby, G.G, Balaram, V. & Cruz-Ortíz, N.L. (2012). *Geochemistry of beach sands along the western Gulf of Mexico, Mexico: Implication for provenance.* Chemie der Erde - Geochemistry, 72 (4), 345-362. DOI: 10.1016/j.chemer.2012.07.003

Armstrong-Altrin, J. S., & Nataly-Pineda, O. (2013). *Microtextures of detrital sand grains from the Tecolutla, Nautla, and Veracruz beaches, western Gulf of Mexico, Mexico: implications for depositional environment and paleoclimate.* Arabian Journal of Geosciences, 7(10), 4321–4333. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1088-x>

Barnes, D. K. A., Galgani, F., Thompson, R. C. & Barlaz, M. 2009 *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments.* Phil. Trans. R. Soc. B 364, 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

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. DOI: 10.1021/es201811s

Buchanan, J. B. (1971). *Pollution by synthetic fibres.* Marine Pollution Bulletin, 2(2), 23. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>

Carpenter, E. J., Anderson, S. J., Harvey, G. R., Miklas, H.P. & Bradford, B. P. (1972). *Polystyrene spherules in coastal waters*. Science 178, 749 – 750. <http://doi.org/10.1126/science.178.4062.749>

Carranza-Edwards, A. (1975). *Unidades morfo-tectónicas continentales de las costas mexicanas*. Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 2(1). 81-88. Obtenido de: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/centro/1975-1/articulo13.html> Consultado el 20 de mayo 2021.

Castañeda, R. A., Avlijas, S., Simard, A. M., & Ricciardi, A. (2014). *Microplastic pollution in St. Lawrence River sediments*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71, 1767-1771. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0281>

Castro, E. (2019). *Análisis cuantitativo de microplásticos de tamaño 0.5 mm a 5 mm en sedimentos costeros del norte del caribe mexicano* (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

CEC. (2021). *North American Atlas*. Obtenido de: <http://www.cec.org/files/atlas/?z=6&x=-87.7368&y=24.1167&lang=en&layers=polbounds&opacities=100&labels=false> Consultado el 31 de mayo 2021.

Cole, M. Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). *Microplastics as contaminants in the marine environment: A review*. Marine Pollution Bulletin, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Colton, J. B., Burns, B. R., & Knapp, F. D. (1974). *Plastic Particles in Surface Waters of the Northwestern Atlantic*. Science, 185(4150), 491–497. <https://doi.org/10.1126/science.185.4150.491>

CONABIO. (s.f.). *Procesos oceanográficos. Caracterización y regionalización de los procesos oceanográfico de los mares mexicanos*. Obtenido de: http://www.conabio.gob.mx/gap/index.php/Procesos_oceanogr%C3%A1ficos Consultado el 12 de mayo 2021.

CONABIO. *Río Tecolutla*. Obtenido de: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_076.html. Consultado el de 2 de junio 2021.

CONAGUA (2015). *Estadísticas del agua en México*. Obtenido de: <http://www.conagua.gob.mx/ConsultaPublicaciones.aspx> Consultado el 30 de septiembre 2021.

Consejo de recursos minerales. (1994). *Monografía Geológico - Minera del Estado de Veracruz, México*. Secretaría de Minas e Industria Paraestatal.

Córdoba, L. (2011). *Análisis granulométrico y geoquímico de arenas recientes en tres playas de México (Tecolutla, Bahía Kino y San Carlos): Implicación de procedencia*. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Díaz, J. A. N. (2016). *Globalización, desarrollo local y el modelo turístico adecuado en Tecolutla*. UVserva, (2). Obtenido de: <https://uvserva.uv.mx/index.php/Uvserva/article/view/2378/4219> Consultado el 27 de mayo 2021.

Domínguez, E. (1975). *Tectónica de una parte de la zona de Poza Rica entre el antiguo continente de Oaxaca y la plataforma Tecolutla-Tuxpan*. Bol. Soc. Geol. Mexicana 36(1). Recuperado de: [http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca03/3601/3601-\(3\)Reyes.pdf](http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/vols/epoca03/3601/3601-(3)Reyes.pdf)

Duane, D. B. (1964). *Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico, Sound, North Carolina*. Jour. Sediment. Petrol., v. 34, pp. 864-874.

Endo, S., Takizawa, R., Okuda, K., Takada, H., Chiba, K., Kanehiro, H., Date, T. (2005). *Concentration of polychlorinated biphenyls (PCBs) in beached resin pellets: Variability among individual particles and regional differences*. Marine Pollution Bulletin, 50(10), 1103–1114. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.030>

Eriksson, C. & Burton, H. (2003) *Origin and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island*. Ambio 32, 380 – 384.

Estrada-Omaña, J.C., (2007). *Características granulométricas y geoquímicas de arena de playa de Tecolutla, Veracruz, México: Implicaciones de procedencia y ambientes sedimentarios de depósito*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Fischer, V., Elsner, N. O., Brenke, N., Schwabe, E., & Brandt, A. (2015). *Plastic pollution of the Kuril–Kamchatka Trench area (NW pacific)*. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 111, 399–405. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2014.08.012>

Fischer, K. E., Paglialonga, L., Czech, E., & Tamminga, M. (2016). *Microplastic pollution in lakes and lake shoreline sediments - A case study on Lake Bolsena and Lake Chiusi (Central Italy)*. Environmental Pollution, 213, 648-657. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.012>

Folk R. L. & Ward, W. C. (1957). *Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters*. Jour. Sediment. Petrol., v.34, pp. 777-813.

Frias, J., Pagter, E., Nash, R., O'Connor, I., Carretero, O., Filgueiras, A., Viñas, L., Gago, J., Antunes J., Bessa, F., Sobral, P., Goruppi, A., Tirelli, V., Pedrotti, M.L., Suaria, G., Aliani, S., Lopes, C., Raimundo, J., Caetano, M., Palazzo, L., de Lucia, G.A., Camedda, A., Muniategui, S., Grueiro G., Fernandez, V., Andrade, J., Dris, R., Laforsch, C., Scholz-Böttcher, B.M., Gerds, G. (2018). *Standardised protocol for monitoring microplastics in sediments*. JPI-Oceans BASEMAN project, 24 pp.

Friedman, G. (1961). *Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics*. *Journal of sedimentary Petrology*, 37(2), 327-354.

Friedman, G. M. (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37 (2), 327-354.
<http://dx.doi.org/10.1306/74D716CC-2B21-11D7-8648000102C1865D>

Galgani, F., Leaute, J., Moguedet, P., Souplet, A., Verin, Y., Carpentier, A., Nerisson, P. (2000). *Litter on the sea floor along european coasts*. *Marine Pollution Bulletin*, 40(6), 516–527. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00234-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00234-9)

Gregory, M. R. (1978) *Accumulation and distribution of virgin plastic granules on New Zealand beaches*. *N. Z. J. Mar. Freshwat. Res.* 12, 339 – 414.

Gregory, M. R. (2009). *Environmental implications of plastic debris in marine settings--entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>

Habib, D., Locke, D. C., & Cannone, L. J. (1998). *Water, Air, and Soil Pollution*, 103(1/4), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1004908110793>

Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). *A Global Perspective on Microplastics*. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125, e2018JC014719. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>

Hammer, J., Kraak, M. & Parsons, J. (2012) *Plastics in the marine environment: the dark side of a modern gift*. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. DOI: 10.1007/978-1-4614-3414-6_1

Harper, P. C. & Fowler, J.A. (1987) *Plastic pellets in New Zealand storm-killed prions (Pachyptila spp.)*, 1958 – 1977. *Notornis* 34, 65 – 70.

Harris, P. T. (2020). *The fate of microplastic in marine sedimentary environments: A review and synthesis*. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111398. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111398>

Hermenegildo, N. (2019). *Geoquímica y geocronología de U-Pb en circones de playa Chachalacas, estado de Veracruz, Golfo de México: Implicaciones de procedencia*. Tesis de licenciatura

Horikawa, K., & Shen, H. W. (1960). *Sand movement by wind action. On the characteristics of sand. Beach erosion board*. Technical Memorandum. 10-30.

INEGI. (2021). *Clima de Veracruz de Ignacio de la Llave*. Obtenido de: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/territorio/clima.aspx?tema=me&e=30> Consultado el 4 de junio 2021 Consultado el 5 de junio 2021

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos: Tecolutla, Veracruz de Ignacio de la Llave, México*. Recuperado de: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/30/30158.pdf

INEGI (2021). *Tecolutla, Veracruz Ignacio de la Llave*. Obtenido de: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=tecolutla#tabMCcollapse-Indicadores> Consultado el 8 de mayo 2021

Inman, D.L. (1949). *Sorting of sediments in the light of fluid sediments*. Journal Sediments Petrol. V.19, pp. 10-30.

Inman, D.L., & Nordstrom, C.E. (1971). *On the tectonic and morphologic classification of coast*. Journal of Geology, 79(1). 1 – 21. Obtenido de: www.jstor.org/stable/30060828

Kenyon, K. W. & Kridler, E. (1969) *Laysan Albatrosses swallow indigestible matter*, *The Auk*, 86. 339–343. <https://doi.org/10.2307/4083505>

Kusui, T., & Noda, M. (2003). *International survey on the distribution of stranded and buried litter on beaches along the Sea of Japan*. Marine Pollution Bulletin, 47(1-6), 175–179. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00478-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00478-2).

Laglbauer, B., Franco-Santos, R., Andreu-Cazenave, M., Brunelli, L., Papadatou, M., Palatinus, A., Grego, M. & Deprez, T. (2014). *Macrodebris and microplastics from beaches in Slovenia*. Marine Pollution Bulletin, 89(1–2), 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.036>.

LaMourie, M. J., Geyer, R. A. & Broadus, J. M. (2020). *Gulf of Mexico*. *Encyclopedia Britannica*. Obtenido de: <https://www.britannica.com/place/Gulf-of-Mexico> Consultado el 17 de mayo 2021

Limón-Hernández, R. A., (2019). *Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Tesis de especialidad. Universidad Veracruzana.

Lots, F., Beherens, P., Vijver, M., Horton, A. & Bosker, T. (2017). *A large scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment*. Marine Pollution Bulletin, 123(1), 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.057>

Martin, J., Lusher, A., Thompson, R. C., & Morley, A. (2017). *The Deposition and Accumulation of Microplastics in Marine Sediments and Bottom Water from the Irish Continental Shelf*. Scientific Reports, 7(1). <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-11079-2>

Martínez-López, B. & Parés-Sierra, A. (1998). *Circulación del Golfo de México inducida por mareas, viento y la corriente Yucatán*. Ciencias Marinas, 24 (1) pp 65-93. <https://doi.org/10.7773/cm.v24i1.740>

McDermid, K. J., & McMullen, T. L. (2004). *Quantitative analysis of small-plastic debris on beaches in the Hawaiian archipelago*. Marine Pollution Bulletin, 48(7-8), 790–794. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.10.017>

Mendieta-Lora, M., Mejía-Ledezma, R.O., Kasper-Zubillaga, J.J., Arellano- Torres, E. & Álvarez-Sánchez, L.F. (2018). *Mineralogical and geochemical implications of weathering rates in coastal dunes and beach sands close to a volcanic rock source in the western Gulf of Mexico, Mexico*. Chemie der Erde, 38(1), 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2018.06.004>

Monreal-Gómez, M.A., Salas-de-León, D. A., & Gracia-Gasca A. (2004). *Golfo de México, circulación y productividad*. Ciencias, 76, 24 – 33. Recuperado de: <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/76/CNS07604.pdf>

Moore, C., Moore, S., Leecaster, M., & Weisberg, S. (2001). *A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre*. *Marine Pollution Bulletin*, 42(12), 1297–1300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00114-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00114-X)

Moore, S., Gregorio, D., Carreon, M., Weisberg, S., & Leecaster, M. (2001). *Composition and Distribution of Beach Debris in Orange County, California*. *Marine Pollution Bulletin*, 42(3), 241–245. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00148-X](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00148-X)

Moreles, E., Zavala-Hidalgo, J., Martínez-López, B., & Ruiz-Angulo, A. (2021). *Influence of stratification and Yucatan Current transport on the Loop Current Eddy shedding process*. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (126). <https://doi.org/10.1029/2020JC016315>

Moreno-Casasola, P., Lithgow, D., Martínez, M.L., Martínez-Martínez, R.E., Silva, R., Vázquez, G., López-Portillo, J., Mendoza, E., Monroy-Ibarra, R., Boy-Tamborell, M., Cáceres-Puig, J.I. & Ramírez-Hernández, A. (2020). *La zona costera del municipio Tecolutla*. INECOL. 77pp.

Moving Mountains Journal (2019). *Abundancia de microplásticos en playas y zona marina de Mazatlán*. Recuperado de: <https://www.icmyl.unam.mx/Pdf/Home/2019/ultima%20version.%20microplasticos%20VoBo.pdf>

National Geographic (2019). *Microplastics*. Recuperado de: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/microplastics/>

Nipper, M., Sanchez, J., & Tunnell, J. (2009). *General facts about the Gulf of Mexico*. Gulf Base. Obtenido de: <http://web.archive.org/web/20091210103009/http://www.gulfbase.org/facts.php>

Ng, K. L., & Obbard, J. P. (2006). *Prevalence of microplastics in Singapore's coastal marine environment*. *Marine Pollution Bulletin*, 52(7), 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>

NOAA (2021). *Gulf of Mexico Regional Climatology, Surface salinity*. Obtenido de: <https://www.ncei.noaa.gov/access/gulf-of-mexico-climate/bin/gomregclfig.pl>
Consultado el 28 de mayo 2021

NOAA (2021). *Gulf of Mexico Regional Climatology, Surface temperature*. Obtenido de: <https://www.ncei.noaa.gov/access/gulf-of-mexico-climate/bin/gomregclfig.pl>
Consultado el 28 de mayo 2021

Nunn, J.A., Scardina, A.D. & Pilger R.H. (1984) *Thermal evolution of the north central Gulf Coast*. *Tectonics*. 3(7), 723-740.

Oey, L.Y., Ezer, T. & Lee, H.C. (2013). *Loop Current, Rings and Related Circulation in the Gulf of Mexico: A Review of Numerical Models and Future Challenges*. *Geophysical Monograph Series*, 31–56. <https://doi.org/10.1029/161GM04>

Ortega -Gutiérrez, F., Ruiz, J., & Centeno-Gracia, E. (1995). *Oaxaquia, a Proterozoic microcontinental accreted to North America during the late Paleozoic*. *Geology*, 23(12), 1127-1130.

Ortiz-López, D. (2013). *Diagnóstico del Impacto del ecoturismo sobre los manglares del municipio de Tecolutla, Veracruz*. Tesis de diplomado. Universidad Veracruzana.

Ortiz-Lozano, L., Arceo-Briseño, P., Granados-Barba, A., Salas-Monreal, D. & Jiménez-Badillo, M. (s.f.). *Zona costera. Patrimonio cultural*. Obtenido de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/9651/05COSTASB.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Consultado el 27 de mayo 2021

Ortuño-Arzate, S., Ferket, H., Cacas, M.C., Swennen, R., Roure, F. (2003). *Late Cretaceous carbonate reservoirs in the Cordoba Platform and Veracruz basin, eastern Mexico*. AAPG, 79, 476 – 514.

Padilla, R. (2007). *Evolución geológica del suroeste mexicano desde el mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexica. 59(1), 19-42. <https://doi.org/10.18268/bsgm2007v59n1a3>

Paulin, T. (2020). *Geoquímica y geocronología de U-Pb en circones de la playa Miramar sur, estado de Tamaulipas, Golfo de México, México: Implicación de procedencia*. Tesis de licenciatura.

Pazos, R.S. (2021). *Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur)*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de La Plata.

Piñon-Colin, T., Rodriguez-Jimenez, R., Pastrana-Corral, M., Rogel-Hernandez, E., & Wakida, F. (2018). *Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico*. Marine Pollution Bulletin, 131, 63–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.055>

Pérez-Rojas, A. & Márquez-García, A. (2017). *Sedimentología*. Universidad Nacional Metropolitana. 1-59. Recuperado de: <http://publicacionescbs.izt.uam.mx/DOCS/SEDIMENTOL.pdf>

Plastics Europe (2016). *Plastics – The Fact 2016. An analysis of European plastics production, demand and waste date*. Recuperado de: https://www.plasticseurope.org/application/files/8016/1125/2189/AF_Plastics_the_facts-WEB-2020-ING_FINAL.pdf

Plastics Europe (s.f.) *Historia del plástico*. Plasticseurope.org. Recuperado de: [https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history#:~:text=El%20policloruro%20de%20vinilo%20\(PVC,fabricado%20en%20serie%20realmente%20sint%C3%A9tico.](https://www.plasticseurope.org/es/about-plastics/what-are-plastics/history#:~:text=El%20policloruro%20de%20vinilo%20(PVC,fabricado%20en%20serie%20realmente%20sint%C3%A9tico.)

Powers, M. C. (1953). *A new roundness scale for sedimentary particles*. *Journal of Sedimentary Research*, 23. <https://doi.org/10.1306/D4269567-2B26-11D7-8648000102C1865D>

Reddy, M. S., Shaik Basha, Adimurthy, S., & Ramachandraiah, G. (2006). *Description of the small plastics fragments in marine sediments along the Alang-Sosiya ship-breaking yard, India*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 68(3-4), 656–660. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.03.018>

Retama, I., Jonathan, M., Shruti, V., Velumani, S., Sarkar, S., Roy, P., & Rodríguez-Espinosa, P. (2016). *Microplastics in tourist beaches of Huatulco Bay, Pacific coast of southern Mexico*. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), 530–535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.053>

Rodríguez, S.R. & Morales-Barrera, W. V. (2010). *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural del estado de Veracruz*. Tomo I (pp. 43-64).

Román, T., (2017). *Análisis de Ciclo de Vida de un producto, qué es, objetivo, origen, cómo se realiza, beneficios*. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-ciclo-vida-producto/>

Ryan, P.G., Moore, C.J., van Franeker, J.A., Moloney, C.L., 2009. *Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment*. *Philos. Trans.R. Soc., B. Biol. Sci.* 364, 1999 – 2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>

Sánchez, L. J. (2018). *Evaluación de la presencia de microplásticos en peces comerciales, agua y sedimento del Estuario de Tecolutla*. (Maestría) Universidad Autónoma Metropolitana.

SECTUR. (2021). *Atractivos turísticos, Tecolutla*. Obtenido de: <https://veracruz.mx/attractivos.php?Municipio=158> Consultado el 9 de mayo 2021.

SECTUR. (2021). *Tecolutla*. Obtenido de: <https://veracruz.mx/destino?Municipio=158> Consultado el 7 de mayo 2021.

SEFIPLAN. (2016). Sistema de información municipal, Tecolutla. Recuperado de: <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2016/05/Tecolutla.pdf>

Segura, D., Noguez, R. & Espin, G. (2007) *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. *Biotecnología*, 14 (1).

Servicio Geológico Mexicano (2021). *GeoInfoMex, Geología*. Obtenido de: <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/> Consultado el 28 de abril 2021.

Shaw, D. G., & Day, R. H. (1994). *Colour and form dependent loss of plastic microdebris from the North Pacific Ocean*. *Marine Pollution Bulletin*, 28(1), 39–43. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90184-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90184-8)

Shealvy, S. & Register, K. 2007 Marine Debris & Plastics: Environmental concerns, sources, impacts and solutions. *J Polym Environ* (2007) 15:301–305. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0074-3>

Shepard, F.P. (1973). *Submarine geology*. Harper and Row. pp. 517

Strand, J., & Tairova, Z. (2016). *Microplastic particles in North Sea sediments 2015*. Scientific Report from DCE–Danish Centre for Environment and Energy, (178). Recuperado de <https://dce2.au.dk/pub/SR178.pdf>

Tecolutla, Veracruz. (2021). *Nuestro municipio*. Obtenido de: <https://tecolutlaveracruz.mx/Nuestro%20Municipio> Consultado el 6 mayo 2021

Téllez, V. (2019). *Contaminación por microplásticos en la zona sur y centro de las costas de Quintana Roo* (Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Thompson, R. C. (2004). *Lost at Sea: Where Is All the Plastic?* *Science*, 304(5672), 838–838. DOI: 10.1126/science.1094559

Tubau, X., Canals, M., Lastras, G., Rayo, X., Rivera, J., & Amblas, D. (2015). *Marine litter on the floor of deep submarine canyons of the Northwestern Mediterranean Sea: The role of hydrodynamic processes*. *Progress in Oceanography*, 134, 379–403. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.03.013>

Uribe-Martínez, A., Aguirre-Gómez, R., Ressler, J., Cuevas, R. & Zavala-Hidalgo, J. (2019). *Oceanographic units of Gulf of Mexico and adjacent areas: The monthly integration of surface biophysical features*. *Geofísica Internacional*. 58. 295-315. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2019.58.4.2059>

Van Franeker, J. A. & Bell, P. J. (1988). *Plastic ingestion by petrels breeding in Antarctica*. *Marine Pollution Bulletin*, 19(1), 672 – 674. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90388-8](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90388-8)

Weather & Climate. *Average day and night temperature in Veracruz*. Obtenido de: <https://weather-and-climate.com/average-monthly-Rainfall-Temperature-Sunshine,veracruz,Mexico> Consultado el 4 de junio 2021.

Winker C.D. & Buffler R.T. (1998). *Paleogeographic evolution of early deep-water Gulf of Mexico and margins, Jurassic to Middle Cretaceous (Comanchean)*. The American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 72, 318 – 346.

Woodall, L., Gwinnett, C., Packer, M., Thompson, R. C., Robinson, L. F., & Paterson, G. (2015). *Using a forensic science approach to minimize environmental contamination and to identify microfibrils in marine sediments*. Marine Pollution Bulletin, 95(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.044>

Woodall, L. C, Sánchez-Vidal, A., Canals, M., Paterson, G. L. J., Coppock, R., Sleight, V., & Thompson, R. C. (2014). *The deep sea is a major sink for microplastic debris*. Royal Society Open Science, 1(4),

WWF (2021). *¿Qué comen las tortugas marinas? Bolsas de plástico, desafortunadamente*. Obtenido de: <https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/que-comen-las-tortugas-marinas-bolsas-de-plastico-desafortunadamente> Consultado el 7 de junio 2021.

Yáñez-Arancibia, A. & Day, J. W. (2004). *Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool*. Ocean & Coastal Management, 47(11-12), 727–757. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.12.010>

Yang, Y., Liu, W., Zhang, Z., Grossart, H. P. & Gadd, G. M. (2020). *Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments*. Applied Microbiology and Biotechnology. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10704-x>

Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L., & O'Brien, J. J. (2003). *Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model*. J. Geophys. Res., 108, 3389. <https://doi.org/10.1029/2003JC001879>

Zavala-Hidalgo, J., Romero-Centeno, R. & Mateos-Jasso, A. (2014). *The response of the Gulf of Mexico to wind and heat flux forcing: What has been learned in recent years?* *Atmósfera* 27(3), 317-334. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71119-1](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71119-1)

Zingg, T. (1935). *Beitrage zur Schotteranalyse*. Schweizerische Mineralogische and Petrographische Mitteilungen. (15)39-140 <https://doi.org/10.3929/ethz-a-000103455>