

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERIA**



EVALUACIÓN DE MICROPLASTICOS EN SEDIMENTOS DEL RIO TECATE

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ ESTEPHANI

DAMIAN PÉREZ DANA FERNANDA

DIRECTOR DE TESIS

DR. FERNANDO T. WAKIDA KUSUNOKI

M.C TERESITA DE JESUS PIÑON COLIN

Tijuana, Baja California

Junio 2018

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

FOLIO No.25

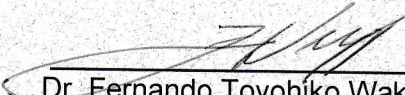
Tijuana, B. C., a 18 de Abril de 2018

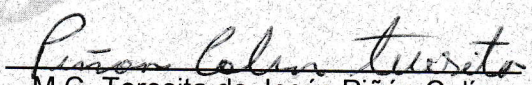
C. Estephani Hernández Hernández
C. Dana Fernanda Damián Pérez
Pasantes de Ingeniero Químico
Presente

El tema de trabajo y/o tesis para su examen profesional, en la
Opción Tesis

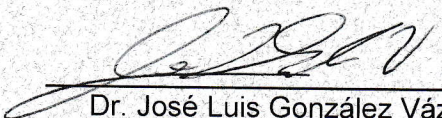
Es propuesto, por el Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki y la M.C. Teresita de Jesús Piñón Colín quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que ustedes presenten, referido al tema “Evaluación de Microplásticos en Sedimentos del Río Tecate”, el cual deberán desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I.- RESUMEN
- II.- INTRODUCCIÓN
- III.- PARTE EXPERIMENTAL
- IV.- DISCUSIÓN Y RESULTADOS
- V.- CONCLUSIONES
- VI.- REFERENCIAS
- VII. ANEXOS


Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Director de Tesis


M.C. Teresita de Jesús Piñón Colín
Co-Directora de Tesis


Dr. Luis Enrique Palafox Maestre
Director


Dr. José Luis González Vázquez
Subdirector

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Maribel Hernández Martínez y José Juan Hernández Chávez porque todo lo que hoy soy es gracias a ellos. Hoy sé muy bien que no existe papel ni tinta en este mundo que me alcance para terminar de agradecerles por todo su esfuerzo, su dedicación, sus enseñanzas, su apoyo, sus cuidados y el gran amor que me han brindado.

A mis hermanos Yarely y Roberto porque confío completamente en ustedes y sé que lograrán todo lo que se propongan y llegaran muy lejos al ver su dedicación a sus estudios.

A mi novio Arturo por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas, su paciencia, comprensión y todo su amor.

A mi hija Isabella porque aunque en este momento no entiendas mis palabras, eres la razón de que me levante cada día a esforzarme por el presente y el mañana y sé que algún día llegarás muy lejos y ahí estaremos apoyándote a cumplir todos tus sueños, porque nada es imposible.

Al Dr. Fernando Wakida, Mtra. Teresita de Jesús Piñón Colín y profesor Rubén Rodríguez por su inmensa ayuda y por la confianza que tuvieron en todo momento.

Estephani Hernández Hernández

A Dios por ser una mujer tan bendecida en todos los aspectos de mi vida y convertirme de su mano en un profesionista; gracias a nuestro tutor que nos apoyó y guio en este camino de aprendizaje, el Dr. Fernando Wakida por su paciencia, motivacion, patrocinio, consideración, aliento y la confianza, ya que sin usted esto no hubiera sido posible.

Gracias a los profesores que nos brindaron su asesoría y consejos especialmente a Teresita de Jesús Piñón Colín cuya colaboración en este trabajo fue imprescindible, ya que hubiera sido más complicado y tedioso sin su presencia; gracias también por ese carisma que siempre la caracterizo al dirigirse a nosotros. También a Rubén Rodríguez por brindarnos la asesoría y guía cuando acudimos por su apoyo.

Por encima de todo, ya que sin ustedes yo no hubiera sido la mujer que soy hoy en día a mis padres Rosa Martha Tatiana Pérez Campos y José Ramiro Damián Zúñiga por siempre darme lo mejor para mi educación y apoyarme en la decisión de estudiar en otra ciudad, la libertad y confianza que siempre se me dio; por el apoyo económico brindado en mi carrera a mi tía Martha Eugenia Pérez Campos , transformación que me dio el valor que necesitaba para realizar una investigación sin tener el conocimiento requerido para llevarla a cabo, simplemente la actitud y hambre de aprender y crecer.

Y finalmente a mis compañeros Estephani y Miguel por que formamos este equipo de trabajo sin pensar hasta donde lo podríamos llevar, gracias por su apoyo a lo largo de toda la carrera, por sus palabras de aliento cuando sentía que ya no podía dar más de mí, por estar presentes y mostrarme su mejor versión.

Dana Fernanda Damián Pérez

INDICE

1.- Introducción	8
2.- Marco Teórico	10
2.1 Características Químicas	11
2.2 Biodegradación y persistencia	12
2.3 Microplásticos	13
2.4 Clasificación de Microplásticos	15
2.4.1 Microplásticos Primarios	15
2.4.2 Microplásticos Secundarios	15
2.4.3 Alternativas a los microplásticos	16
2.5 Fuentes y Transferencia de microplásticos al ambiente marino	16
2.6 Impacto de los microplásticos	18
2.6.1 Ingestión de microplásticos	18
2.6.2 Transferencia en los organismos marinos	19
2.6.3 Riesgos Físicos	20
2.7 Microplásticos Flotantes	22
2.8 Acumulación de microplásticos en el fondo del mar	22
2.9 Industria del plástico	23
2.10 Reciclaje y Bioplástico	23
2.11 Estudios Realizados	25
2.12 Soluciones	29
2.12.1 Principales convenios y acuerdos globales relacionados con la Actividad de la basura marina.	30

2.12.1.1 United Nations (UN) Convention on the Law of the Sea.	30
2.12.1.2 Agenda 21 and Johannesburg Plan of implementation.	30
2.12.1.3 Global Program of Action (GPA) for the Protection of The Marine Environment from Land-based Activities.	31
2.12.2 Desechos plásticos de las playas	31
2.12.3 Residuos plásticos de sitios industriales y reproducción	32
2.12.4 Educación y Conciencia Pública	33
3.- Descripción de los sitios de muestreo	34
3.1. Rio Tecate	34
4.- Metodología	41
4.1 Metodología de Muestreo	41
4.2 Preparación, extracción e identificación de las muestras	42
5.- Resultados y discusión	43
5.1 Cuantificación de microplásticos	43
5.2 Identificación de microplásticos por FT-IR	44
6.- Conclusión	48
7.- Referencias	59
8.- Anexos	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Área de estudio, mostrando los sitios de muestreo.	35
Figura 3.2	Sitio de muestreo CEART (S1)	37
Figura 3.3	Sitio de muestreo Los Rosales (S2)	37
Figura 3.4	Sitio de muestreo Estadio (S4)	38
Figura 3.5	Sitio de muestreo Los Encinales (S5)	38
Figura 3.6	Sitio de muestreo PTAR (S6)	39
Figura 3.7	Sitio de muestreo Las Ladrilleras (S7)	39
Figura 3.8	Sitio de muestreo La Presa (S8)	40
Figura 3.9	Sitio de muestreo Cruz Roja (S9)	40
Figura 3.10	(a) Toma de muestra en el sitio La Puerta (S3) y (b) Campos de Beisbol (S10)	41
Figura 5.1	Microplástico granulo anaranjado encontrado en el sitio de muestreo Las ladrilleras con su respectivo espectro, posible polietileno.	44
Figura 5.2	Espectro Infrarrojo del Polietileno de referencia.	45
Figura 5.3	Microplásticos fibra roja encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.	46
Figura A.1	Microplásticos fibra verde encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.	52
Figura A.2	Microplástico granulo transparente encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.	53
Figura A.3	Microplásticos película rosa encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.	54
Figura A.4	Poster presentado en Congreso Interamericano de Ingeniería Química	55
Figura A.5	Certificado de Expositor en Congreso de Ingeniería Química	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Descripción de los sitios de muestreo.	36
Tabla 5.1 Concentración de microplásticos (partículas/kg) en los sitios Muestreados.	43
Tabla 5.2 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de Referencia y microplástico granulo anaranjado del sitio las ladrilleras.	45
Tabla 5.3 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de Referencia y microplástico fibra roja del sitio las ladrilleras.	46
Tabla A.1 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de Referencia y microplástico fibra verde del sitio las ladrilleras.	52
Tabla A.2 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de Referencia y microplástico granulo transparente del sitio las ladrilleras.	53
Tabla A.3 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de Referencia y microplástico película rosa del sitio las ladrilleras.	54

1. INTRODUCCIÓN

Los microplásticos son partículas plásticas de menos de 5 mm de largo, que pueden provenir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño; de productos de cuidado de belleza, como pasta de dientes, cremas faciales y exfoliantes o de prendas de vestir al ser lavadas. Los microplásticos pueden entrar al medioambiente debido a las actividades humanas como la pesca, el turismo, descargas de industrias y de plantas tratadoras de aguas residuales, así como escurrimiento pluviales [1]. Los ríos y efluentes han sido identificados como un importante medio de transporte de microplásticos terrestres hacia los océanos [2]. Más aún se han encontrado microplásticos en lagos con diferentes dimensiones y en ubicaciones remotas. Sin embargo la contaminación por microplásticos se ha enfocado primordialmente a los ecosistemas marinos. Debido a su tamaño pueden ser ingeridos por organismos, de esta manera ingresan a la cadena alimenticia en la cual el hombre esta enlazado como consumidor final, con potenciales riesgos a la salud de la población, además de alterar los ciclos biológicos. La ingesta de microplásticos es ampliamente reconocida entre vertebrados. Cerca de 250 especies se han reportado que son impactados por la ingestión de plásticos [3]. Un reporte técnico acerca de los contaminantes en los ecosistemas marinos revelo que arriba del 80% están correlacionados con plásticos, mientras que el porcentaje restante con los microplásticos [4]. Por lo que estos últimos ocupan el mismo tamaño que los organismos planctónicos, aumentando su biodisponibilidad a un gran rango de organismos, incluyendo al ser humano. Los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos situados bajos en la cadena trófica en suspensión, organismos filtradores, detritívoros y planctívoros [5].

Los microplásticos se dividen en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se fabrican en primera instancia para tener dimensiones pequeñas como es el caso de aquellos usados en productos de higiene. Por otra parte los microplásticos secundarios se forman

cuando los artículos plásticos de mayor tamaño se fragmentan. La velocidad a la que se produce la fragmentación es altamente dependiente de las condiciones del medio ambiente, especialmente de la temperatura y la cantidad de luz UV disponible. Es sabido que las concentraciones de microplásticos aumentan en zonas industriales, urbanas y en plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. MARCO TEÓRICO

Los plásticos han existido por más de un siglo. Su versatilidad ha llevado a un aumento significativo en su uso en los últimos 30 años y se han convertido rápidamente en una parte importante de nuestra vida cotidiana. En general los plásticos son ligeros, duraderos, fuertes y baratos, por lo tanto, son adecuados a una amplia gama de procesos de fabricación.

Debido al crecimiento de la población, aumenta la demanda del uso de materiales plásticos. Asimismo, la elección de materiales para plásticos aumenta, aumentando el número de resinas de embalaje. Correspondientemente, se prevé que el componente plástico aumentara a lo largo de los años [6]. Además, el consumo de material de plástico es una tendencia cada vez mayor, creciendo a tasas alarmantes.

La necesidad de proteger al medio ambiente de los peligros que plantea la contaminación plástica ha sido ignorada por mucho tiempo. Solo en el último par de décadas ha comenzado a ser reconocido como un problema serio que pide soluciones urgentes. Los plásticos también son flotantes, por lo que una carga creciente de desechos plásticos puede ser transportada a largas distancias y establecerse en entornos donde puede persistir por siglos [7].

La mayoría de los residuos de plásticos y otros residuos sintéticos se producen en los países industrializados más desarrollados. Por lo contrario, los menos desarrollados generaron una cantidad mucho menor. Es probable, sin embargo, que a medida que las naciones menos desarrolladas se vuelvan más prosperas y entren en etapas del consumismo masivo, ellas también llegarían a contribuir cada vez más a la basura plástica, implicando aún más el problema y la amenaza al ecosistema marino [8].

La basura plástica es una gran amenaza para el medio marino, especialmente para la fauna. Los desechos plásticos pueden atraer organismos incrustantes y pueden ser fácilmente ingeridos o enredados por varios organismos marinos, provocando lesiones incluso la muerte a la fauna, esto principalmente por asfixia y ahogamiento [9]. Otros efectos causados por la contaminación plástica incluyen los impactos estéticos, las repercusiones de la pesca fantasma y las preocupaciones de las consecuencias sobre la actividad económica costera.

2.1 Características y Propiedades de los microplásticos

Los polímeros o Plástico (el término común) es el nombre designado para una amplia familia de materiales orgánicos de peso molecular alto, aptos para la fabricación de productos farmacéuticos, alimenticios e industriales. Los plásticos son derivados sintéticos de los combustibles fósiles o celulosa, esto quiere decir que se obtienen transformando las sustancias a través de diversos procesos químicos. La descomposición térmica de dicha materia prima conduce a la extracción de monómeros y es seguida por un proceso de polimerización. El tipo de plástico producido dependerá de las alteraciones de los monómeros durante el proceso de polimerización.

El proceso de polimerización puede conducir a la creación de enlaces Carbono – Hidrogeno débiles o fuertes. El más débil de los dos, característico de la estructura amorfa, que aparece como una pila suelta y cuerdas enredadas. Los enlaces más fuertes son típicos de la estructura cristalina [10]. Después de la polimerización, los polímeros están en su mayoría en polvo o en forma de bulto, por lo tanto, usualmente se procesan en gránulos para facilitar su manipulación. Los productos finales se procesan por ejemplo por moldeo en varias formas. [11].

Además existen otra clasificación de los plásticos dos grupos de plásticos, de los cuales se mencionan: termoplásticos y termoestables. El primer grupo puede ser ablandado térmicamente repentinamente y endurecido por enfriamiento, lo que significa que estos tipos de plásticos se pueden volver a replegar y reutilizar prácticamente por tiempo indefinido. Por esta razón, la mayoría de los productos termoplásticos son adecuados para una amplia gama de propósitos, como envases, recipientes para alimentos y otros productos del hogar. Los termoplásticos son más duraderos y resistentes al calor se utilizan en automóviles, maquinaria y productos eléctricos. Los plásticos termoestables, por otro lado, se endurecen permanentemente después de ser calentados. Debido a sus altos puntos de fusión, se utilizan principalmente para productos resistentes al calor.

2. 2 Biodegradación y persistencia de los plásticos

Los plásticos persisten en el ambiente marino y contribuyen significativamente al aumento de la carga de desechos en el océano. Las características físicas de la mayoría de los microplásticos muestran una alta resistencia al envejecimiento y una biodegradación mínima [13]. Los plásticos pueden romperse en presencia de radiación solar ultravioleta, sin embargo, si los plásticos contienen un estabilizador de luz eficiente, puede reducir fácilmente la eficiencia de la fotodegradabilidad. Por lo tanto, la luz solar no tiene de un efecto en este proceso. Otro factor que contribuye a la foto degradación es la oxidación lenta del plástico, con oxígeno y aire facilitando la ruptura. Por lo tanto no existe un mecanismo eficaz y confiable para contribuir fácilmente a la biodegradación de los plásticos en el medio marino.

Se cree que los microplásticos en general son resistentes a la biodegradación, la acción mecánica puede fragmentarlos gradualmente. El tiempo final y exacto de la biodegradación de los plásticos en el medio marino sigue siendo desconocido [6]. La biodegradabilidad a

largo plazo significa que los plásticos persistirán en el medio ambiente durante mucho tiempo, por lo que constituyen un problema ambiental global.

Si son ingeridos por un animal, el material pasara a través de este prácticamente sin cambios. Las preocupaciones residen en la toxicidad de los plásticos se centran más bien en la presencia de diversos aditivos, así como en la capacidad de los plásticos para absorber, concentra y transportar sustancias nocivas y no tóxicos presentes en el agua del mar [6] y a las comunidades de organismos que los subsisten del consumo de los productos del mar.

2.3 Microplásticos

Estudios han demostrado que la gran parte de la contaminación marina es debido a partículas pequeñas de desperdicios. La contaminación en el estuario de Tamar en el Reino Unido tiene más del 80% de plásticos trenzado. Esta información refleja cómo se ha aumentado la producción de plástico y podría ser una gran herramienta para tener un panorama más amplio y determinar cuál sería el alcance de volumen total de microplásticos en un futuro [14].

El término “microplásticos” se ha utilizado a lo largo del tiempo desde que se descubrió la contaminación marina, sin embargo, al no estar familiarizados con el termino el transporte de las fuentes de ingreso eran desconocidas. El taller internacional de investigación sobre la ocurrencia, los efectos y el destino de los desechos marinos microplásticos en septiembre de 2008 definió a los microplásticos como “partículas de plástico menores a 5 mm” [15]. La definición no incluye el borde inferior de la partícula, sin embargo, el tamaño va de 5mm a 33 μ m. Se amplió el rango debido al tamaño de las redes de malla de neuston utilizadas para capturar el plancton y desechos de baja densidad.

Actualmente no existe un procedimiento de muestreo en las aguas marinas, ya que es difícil establecer el rango de límite inferior. Se estableció el límite superior porque se quiere aumentar el alcance de los efectos ecológicos, ya que van más allá de los efectos gastrointestinales. El límite superior utilizado en la definición puede confundirse con el término micro, el cual es utilizado para partículas que no son visibles para el ojo humano. Debido a que el rango utilizado es amplio, puede haber confusiones en la determinación de plásticos pequeños y microplásticos, por ello el Comité Directivo de la comunidad investigadora optó por ampliar el alcance de los compuestos incluidos debido a la fase de la investigación separándose los dos anteriores cuando se realizara una investigación más avanzada sobre el tema. Esta separación muestra como los aspectos físicos y químicos de los plásticos son afectados con la disminución del tamaño.

De acuerdo a estudios recientes se ha encontrado que depende de las costas en las que se haga la investigación, varía el rango de microplásticos encontrados, por ejemplo, en estudios recientes en playas de Hawái el rango de tamaños oscila de 0.8 a 6.5 mm, mientras que en estudios de aguas costeras de Singapur reportan partículas de menos de 1.6 μm .

Los gránulos se pueden encontrar en diversas partes en el ambiente marino, tanto como en las costas de las áreas industriales, en donde podría esperarse encontrar este tipo de contaminación, así como en las residenciales ya que se utilizan muchos productos en la vida cotidiana los cuales están hechos de polímeros. Pueden estar en las orillas o flotando en la superficie marina, también en columnas de agua y en el fondo marino, esto fue respaldado por Richard Thompson, un importante investigador de microplásticos en el ambiente del Mar Norte [16].

2.4 Clasificación de Microplásticos

2.4.1 Microplásticos Primarios

Los polímeros que fueron diseñados para tener un tamaño microscópico son los microplásticos primarios, en la década de los 80 fueron patentados, son utilizados en limpiadores, cosméticos (por ejemplo: exfoliantes, jabones,) entre otros. Mientras que su uso en el área de la medicina va en aumentos. Los exfoliantes (microplásticos) utilizados en limpiadores de manos y exfoliantes fáciles, han remplazado los componentes naturales como los granos de almendras, avena entre otros que eran anteriormente utilizados. Estos varían en forma, tamaño y composición , también están presentes en la tecnología de ablación por aire (air blasting). Este proceso tiene como fin eliminar el óxido y la pintura en maquinaria, motores y cascos de barcos, utilizando microplásticos de acrílico, melanina o poliéster. Debido a que estos depuradores son utilizados hasta que su tamaño y forma disminuye estos se contaminan con metales pesados.

2.4.2 Microplásticos Secundarios

Los microplásticos que provienen del rompimiento de grandes porciones de basura de plásticos son los denominados microplásticos secundarios, ya sea en el mar o la superficie terrestre. Cuando estos se someten a exposición solar, la radiación los degrada debido a que los rayos ultravioleta (UV) oxidan la matriz del polímero ocasionando el rompimiento de los enlaces. En el ambiente marino, esta foto-oxidación no es posible debido a sus condiciones salinas, sin embargo, estos contaminantes se encuentran expuestos a altas concentraciones de oxígeno y una exposición directa de luz solar, por lo tanto, se van a degradar con el tiempo volviéndose frágiles, crackelados y se pueden tornar amarillos. Debido a la pérdida de su integridad estructural se vuelven más propensos a la fragmentación debido al movimiento de

las olas y turbulencia. Este proceso está ocurriendo, los plásticos que ingresan a los mares se vuelvan más pequeños hasta convertirse en microplásticos y después nanoplásticos, aunque estudios recientes demuestran que las partículas más pequeñas encontradas son de 1.6 μm .

2.4.3 Alternativas a los microplásticos

La utilización de plásticos biodegradables siempre es una buena opción para reemplazar los plásticos tradicionales. Estos podrían ser una fuente para crear microplásticos. Los plásticos biodegradables están compuestos de polímeros sintéticos y almidón, aceites vegetales y químicos especiales que aceleran los tiempos de degradación. Sin embargo esta descomposición es solo parcial, mientras que los componentes del almidón del bioplástico se descomponen, dejan en abundancia los polímeros sintéticos. La descomposición en el ambiente marino relativamente a bajas temperaturas, sin microbios terrestres, los tiempos de descomposición aumentan, prolongando el tiempo de exposición a la suciedad y reduciéndose así la penetración de los rayos ultravioleta (UV) por la que ocurre el proceso de degradación. Una vez finalizada la descomposición, los microplásticos se liberan al ambiente marino.

2.5 Fuentes y transferencia de microplásticos al ambiente marino

La basura marina se debe al depósito indiscriminado de residuos directa o indirectamente a los cuerpos de agua (ríos, mares y océanos). Los residuos plásticos provenientes de fuentes terrestres contribuyen al 80% de la contaminación marina. Estos incluyen microplásticos primarios utilizados para higiene personal y los que son utilizados en “air blasting” utilizados inapropiadamente. Aproximadamente la mitad de la población mundial se encuentra cerca de las costas, estos tipos de plásticos tienen una alta probabilidad de llegar al ambiente marino mediante ríos y sistemas de aguas residuales o por medio de vientos. Pueden llegar desde

áreas de drenaje de zonas industriales o residenciales, mientras que en sistemas de aguas residuales las partículas pueden ser tan pequeñas que traspasan los sistemas de filtración.

Los plásticos que llegan por medio de los ríos pueden entrar directamente o junto con efluentes de aguas residuales. Gran cantidad de estudios han comprobado como el alto flujo unidireccional de sistema de agua dulce impulsa el movimiento de los desechos plásticos en los océanos. Otros fenómenos que favorecen al transporte son los climas extremos, tales como las inundaciones y huracanes, estos podrían ser un medio de contaminación terrestre de tierra a mar. El equipo de pesca es uno de los utensilios más notorios como contaminación plástica. Fragmentos o pérdidas de estos utensilios incluyen monofilamentos plásticos, redes de nylon son de baja densidad, más sin embargo pueden encontrarse en profundidades variantes.

Existe otra fuente importante de desechos proviene de la industria de plásticos que utilizan gránulos y pequeñas astillas de resina, mejor conocidos como “plumones”, como su materia prima. Los derrames accidentales durante su transportación, en tierra y mar, la utilización errónea del material de embalaje y salida directa de las plantas de procesamiento son formas por las que pueden entrar en los ecosistemas acuáticos.

2.6 Impacto ambiental de los microplásticos

El consumo de productos plásticos sigue aumentando al igual que la basura plástica en el ecosistema marino [7]. Con los años los impactos de la micro y macro basura marina han sido evaluados en base a las nuevas evidencias y hallazgos, esta basura en general afecta a 267 especies en todo el mundo, incluyendo el 86% a todas las especies de tortugas marinas, el 44% a todas las aves marinas y el 43% a mamíferos marinos [17].

Los microplásticos en mejillones tiene consecuencias en los depredadores, incluyendo aves, cangrejos, estrellas de mar y seres humanos [18]. Algunas partículas de plástico más grandes y microplásticos de poli estireno han sido encontradas en pescados los cuales son fuente de alimento para seres humanos, por lo tanto la contaminación de microplásticos puede formar parte del organismo humano. Existen estudios sobre hámsteres los cuales fueron inyectados con partículas de poliestireno de 60 nm, con esto se demostró que estas partículas pueden inducir a una trombosis, debido a que microplásticos en el sistema sanguíneo pueden impedir el flujo sanguíneo y los cambios en la actividad cardíaca [17].

2.6.1 Ingestión de microplásticos

Los procesos de ingestión y translocación son afectados por las propiedades físicas y químicas, así como la forma (por ejemplo, fibras, esferas, fragmentos irregulares), el tipo de polímero y la carga de las partículas. A medida que las partículas de plástico se degradan disminuyen en tamaño y sus propiedades superficiales también cambian. Los efectos de la ingestión de microplásticos por los organismos marinos fueron identificados y divididos en tres modos de acción. La primera está relacionada con el daño al tracto digestivo, el segundo con la lixiviación de componentes químicos de plástico en los organismos después de la

digestión, el último se refiere a la ingestión y acumulación de sustancias químicas absorbidas por el organismo [15].

La ingestión de microplásticos facilita el transporte de productos químicos hacia la vida silvestre. Los microplásticos son portadores de contaminantes, como los COP y metales pesados [19]. Estos tienen una relación área superficial / volumen mucho mayor en comparación con los microplásticos, por lo que el potencial de transporte de diferentes compuestos es significativo [14]. Los efectos toxicológicos sobre los organismos que han ingerido esas partículas dependerán en gran medida de las concentraciones de los contaminantes, sin embargo todavía no se sabe hasta qué punto los microplásticos pueden transportar esos contaminantes y si tal transporte aumentaría la amenaza al medio ambiente.

2.6.2 Transferencia en los organismos marinos

La ingestión de microplásticos facilita el transporte de productos químicos en la vida silvestre. Los microplásticos pueden verse como los portadores de contaminantes, como los contaminantes orgánicos persistentes (COP) y los metales pesados de los organismos invertebrados. Los microplásticos tienen una relación área superficial / volumen mucho mayor que los macroplásticos, por lo que el potencial de transporte de diferentes compuestos es significativo. Algunos aditivos y los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son peligrosos y si se absorben a microplásticos, los efectos toxicológicos sobre los organismos que han ingerido esas partículas dependerán en gran medida de las concentraciones de los contaminantes.

Hasta ahora se han identificado dos vías de transferencia. La primera son los compuestos de liberación de procesos de fabricación como plastificantes y antimicrobianos. Esta ruta también se refiere a varios aditivos plásticos nocivos y otros productos químicos sintéticos

contenidos en resinas plásticas. La segunda se origina a partir de la liberación de los contaminantes orgánicos persistentes (COPs) y otros compuestos dispersos en el ambiente y sorbidos a residuos plásticos debido a la baja polaridad de los contaminantes orgánicos persistentes (COPs).

2.6.3 Riesgos Físicos

Otra manera en la que este tipo de contaminantes pueden afectar a los organismos marinos es el aspecto físico. Como se ha mencionado la ingesta de afecta en el bloqueo en intestinos, secreción de enzimas gástricas, disminución de apetito, disminución de niveles de hormonas, fallas en el sistema reproductor. Estos riesgos físicos son la causa de serios problemas en sus metabolismos hasta causar la muerte. Aunque también estudios han comprobado que no siempre se tienen que presentar escenarios así, ya que en algunas ocasiones los organismos pueden ingerir estos contaminantes sin tener efectos secundarios, ya que son expulsados junto con otra materia sólida.

Gran parte de los organismos marinos que ingieren microplásticos son los peces y las aves de mar. Sin embargo estudios demuestran que depende de la especie marina los efectos que causan en ellos, la disminución del apetito es otro efecto que tiene la ingesta de plásticos. Las aves marinas que rara vez expulsan materia sólida pueden tener problemas como el bloqueo intestinal, problemas mecánicos y de alimentación. El hambre y la saciedad de las aves es controlado por el hipotálamo, ya que recibe señales del sistema nervioso central cuando se encuentra satisfecho y es cuando el ave sabe cuándo comer o dejar de alimentarse.

Los problemas con hambre podría causar deshidratación y distensión (acumulación de sustancias, como aire y otros fluidos en el área abdominal causando inflamación) en el estómago o intestinos, mientras que problemas relacionados con el apetito causan

contracciones por estómago vacío y bajas temperaturas. Sin embargo, cuando se tiene una gran contaminación por plásticos dentro del organismo no manda señales de saciedad al hipotálamo. Mientras que en las aves marinas disminuye la secreción de enzimas gástricas o la disminución de comida del intestino grueso al delgado.

Las partículas de cloruro de polivinilo se han encontrado en las heces fecales de roedores y humanos teniendo estas una dimensión de menos de 230 μm . Se especula que del Sistema digestivo se pueden transferir al Sistema circulatorio reteniéndose en el Sistema sanguíneo, pudiendo ocurrir esto también en las especies marinas. Sin embargo, esto requiere otro tipo de investigaciones en las cuales se basarían en la densidad de los tipos de micro plásticos que pueden ingresar a los organismos, para poder determinar el comportamiento que se tienen ya que se toman en cuentas las características químicas y físicas de los polímeros.

Experimentos en el tejido de colon en ratas demuestran que las partículas pequeñas se pueden transferir más rápido que las partículas grandes. Aun no se puede saber con certeza que las partículas se pueden transferir del Sistema digestivo al circulatorio pero es más probable que esto ocurra con los microplásticos que con los plásticos de mayor dimensión.

“La proporción de volumen físico de partículas grandes ingeridas es relativamente bajo, sin embargo, el riesgo físico disminuye con la disminución del tamaño de las partículas de plástico, mientras que el riesgo químico parece aumentar con el tamaño de las partículas disminuidas” [14] esta afirmación puede servir para futuras investigaciones en las que se quiera llegar al fondo de los riesgos físicos en los organismos, ya que es de suma importancia saber diferenciar entre los plásticos pequeños y los microplásticos.

2.7 Microplásticos Flotantes

Las partículas de plásticos flotan sobre o cerca de la superficie del agua, están suspendidas a medias profundidades o se hunden hasta el fondo de un cuerpo de agua, dependiendo del tipo de polímero y de los aditivos del elemento plástico, así como de la densidad del agua receptora [9]. Muchos plásticos son menos densos que el agua y flotan, donde los COP pueden concentrarse hasta 500 veces más que en la columna de agua subyacente [20]. Los microplásticos pueden proporcionar un mecanismo para el transporte de COP a lugares remotos debido al hecho de que son flotantes y puede ser transportados a lugares lejanos. La introducción de especies exóticas puede perturbar gravemente los ecosistemas marinos y amenazar seriamente su biodiversidad nativa [7].

Además, los plásticos junto con otros desechos marinos flotantes pueden causar serios problemas de calidad de agua, inhibir el crecimiento de la vegetación acuática, disminuir los hábitats de peces y otros organismos [9].

2.8 Acumulación de microplásticos en el fondo del mar

Otro peligro potencial para los ecosistemas marinos existe debido a la acumulación de desechos plásticos en el fondo marino. Según el informe del PNUMA (2005), hasta el 70 por ciento de la entrada total de basura marina se hunde en el lecho marino en las partes superficiales y profundas de los océanos. La mayoría de los plásticos de consumo son neutrales flotantes, por lo tanto los granos de arena atrapados en su materia de ensuciamiento o las costuras hacen que muchos plásticos se hundan en el fondo marino [21].

2.9 Industria del plástico

En la actualidad se extraen grandes cantidades de recursos para producir plásticos que a su vez se desechan en aproximadamente un año después de la producción. El objetivo a largo plazo debe, por lo tanto, preocuparse del aumento del periodo de uso y, en la última instancia, reducir la demanda. La culpa no puede ser dirigida a una unidad, sino más bien a todos nosotros como un todo. La industria del plástico, el gobierno y los consumidores deberían ser responsables de este cambio. La cooperación de todos los actores involucrados es necesaria para llevar el cambio, una solución final son embargo para disminuir los desechos plásticos reside en producir y usar menos. Por lo tanto, el cambio del comportamiento de los consumidores y los productores debe reforzarse mediante un sistema eficiente que se ocupe de los residuos de los residuos de plástico que se adhieren al principio de que quien contamina paga. La industria del plástico debe ser responsable de la vida útil final de sus productos.

2.10 Reciclaje y bioplásticos

Existen expectativas y esperanzas de reciclaje como las soluciones más importantes a largo plazo para reducir la basura plástica. El reciclaje podría apoyarse en los sistemas de depósito y reembolso de material. Los residuos plásticos pueden utilizarse adicionalmente para otros fines si se resuelven los problemas con la baja calidad del material plástico reciclado. Por ejemplo, “los residuos plásticos se pueden utilizar para la generación de energía como sustituto de la energía de los combustibles fósiles” [13].

En cuanto a los bioplástico, la comunidad investigadora es más cauta. Incluso si se realizan investigaciones científicas y avances tecnológicos, la aplicación de material totalmente bioplástico será limitada. Parte de los nuevos productos, debido a su aplicación, todavía estará compuesto por los plásticos no biodegradables. La responsabilidad de la industria del

plástico debe residir en la reinvención del diseño de los plásticos, no solo el reciclaje y los bioplástico deben recibir atención, sino también los aditivos no tóxicos deben reemplazar a los tóxicos con el bifénol.

Numerosas cuestiones técnicas y económicas ocurren cuando reciclaje plástico desperdicios marinos. Cuestiones económicas incluyen falta de reciclaje, dificultad en mantener un suministro constante de desperdicios marinos plásticos, requiere tiempo y esfuerzo (es decir, coste adicional) y experiencia para separar plásticos reciclables y no reciclables, para ordenar plástico en diferentes tipos y para desenredar y eliminar objetos extraños [25]. Los costos operacionales y el precio de un producto reciclado a menudo son superior a los precios de la resina de plástico virgen. Además, para algunos plásticos, el costo del transporte es alto. Otros métodos de tratamiento son a menudo desperdiciadores de tiempo y costosos [25].

El plástico es difícil de purificar debido principalmente a la penetración de contaminantes en la matriz del polímero. La dificultad viene también con la separación de compuestos y residuos plásticos mixtos, así como con el requisito de las diferentes tecnologías de reprocesamiento. Además, ciertos contaminantes no son conducidos durante la fabricación debido a sus específicas propiedades de fusión (derretimiento por encima del punto de ebullición de agua). Además, ciclos cerrados de reciclado son a menudo imposibles debido a la contaminación del producto. Por ejemplo, una capa de plástico virgen es con frecuencia necesaria para agregar a la resina de plástico reciclada para aplicaciones en contacto con alimentos. Debido a las complicaciones para reciclaje de plástico y a pesar de los esquemas de separación para los hogares, sólo el 5% de los plásticos en los Estados Unidos es reciclado, y la mayoría de plástico termina como vertederos [13].

2.11 Estudios realizados

Un gran problema que causa su tamaño tan pequeño, es que las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales no las capturan ni procesan; por esto, acceden y se dispersan en el ambiente. En el 2014, Magnusson & Norén realizaron un estudio en Långeviksverket, una planta de tratamiento de aguas residuales que descarga al mar, localizada en la ciudad de Lysekil (Suecia), para determinar el rol de este tipo de facilidad en la entrada de microplásticos al ambiente marino. Para esto utilizaron un filtro con tamaño de malla de 300 μm y tomaron muestras del agua que entraba a la planta (influyente), del agua que salía (efluente) y del contenido de estos en los lodos resultantes del proceso de remoción de sólidos. Encontraron que el influente contenía un promedio de 15,000 microplásticos de tamaño igual o mayor a 300 micrómetros por metro cúbico ($\mu\text{m}/\text{m}^3$), es decir, entraban 3,200,000 de microplásticos/hora. El 99% de estos quedaba atrapado en los lodos, teniendo entonces el efluente una concentración de 1,770 microplásticos/hora. Concluyeron entonces, que la aportación al mar del efluente conteniendo microplásticos, es sustancial. Sobre el mismo asunto, en muestras tomadas a las aguas de 34 plantas de tratamiento de aguas residuales del estado de Nueva York (EE.UU.), el 74% contenían micropartículas.

Recordemos que el tipo de tratamiento que proveen estas plantas, está diseñado para cumplir con las regulaciones ambientales ya establecidas. Actualmente, tanto en los Estados Unidos de América como en México, las microesferas o micropartículas no están en la lista de contaminantes regulados de la Agencia de Protección Ambiental federal (EPA, por sus siglas en inglés) ni las agencias gubernamentales concernidas han establecido un límite para su cantidad en el ambiente.

Estudios realizados para determinar la presencia de los microplásticos en el agua o en el sedimento de su fondo, incluyen:

1. En muestras tomadas al agua del Lago Michigan (EE.UU.), buscando partículas plásticas cuyo tamaño fuere igual o mayor a 1/3 mm, se encontró un promedio de 17,000 pedacitos plásticos o “bits” por kilómetro cuadrado (km²). Igual estudio se realizó en el Lago Ontario, encontrándose hasta 1.1 millón de pedacitos plásticos/km².
2. En el 2014, El Dr. A. Ricciardi, y estudiantes universitarios, de la Universidad McGill (Montreal) en conjunto con el Gobierno de Canadá, establecieron 10 estaciones donde tomaron muestras del sedimento del fondo del Río San Lorenzo, localizado entre el Lago San Francis y la Ciudad de Quebec, cubriendo un área de 320 kilómetros (km). En ocho de los diez lugares, encontraron hasta 1,000 microesferas por litro de sedimento, cuyo tamaño estaba entre 0.40 mm a 2.16 mm. Según el punto de fusión observado, concluyeron que la mayor parte de estas, se componían de polietileno.

Asimismo, según se conocen los resultados de los distintos estudios realizados por la comunidad científica, aumenta la preocupación relacionada a la entrada de estas micropartículas a la cadena alimentaria, una vez los peces y otros invertebrados las consumen como alimento. Entre esos estudios están:

1. En el 2008, Browne et al. Estudiaron mejillones de la especie *Mytilus edulis*, recolectados en la costa de Cornwall, Reino Unido, para evaluar la ingesta y acumulación de microplásticos (de tamaño entre 3 a 9.6 µm) por este organismo. Encontraron que no solo se acumuló este material en su intestino sino que tres (3)

días después, fueron detectados en su sistema circulatorio, donde se mantuvo por más de 48 horas.

2. Cole et al. (2011) evaluaron la presencia de micropartículas, en 26 organismos pertenecientes al zooplancton (que incluye el grupo de los copépodos). Encontraron que la mayoría pudo ingerir las de tamaño muy pequeño, lo que alteró su dieta y salud. Además, encontraron que estos materiales se adhieren a su cuerpo y apéndices (por ejemplo, antenas y patas) lo que puede afectar su capacidad de movimiento.
3. Rochman et al. (2013) expusieron peces, de la especie *Oryzias latipes*, durante dos (2) meses, a una mezcla de fragmentos de polietileno de baja densidad (LDPE) con PAH's, PCB's y PBDE's, que son otros compuestos químicos presentes en el ambiente marino. Encontraron que una vez los consumieron, los peces absorbieron y bioacumularon esta mezcla, lo que les causó daño a su hígado. Otro grupo de peces, expuestos solamente a fragmentos de polietileno, también se enfermaron, aunque de una forma menos severa.
4. En el 2015, Rochman et al. Analizaron la presencia de microplásticos (de 0.5 mm o más) en el sistema digestivo de peces y mariscos utilizados para consumo humano, obtenidos en Macasar (Indonesia) y California (EE.UU.). En Indonesia analizaron 76 peces de 11 especies distintas, encontrando que el 28% de estos tenían microplásticos en su sistema digestivo. En EE.UU., analizaron 64 peces de 12 especies distintas y 12 ostras de la misma especie, encontrando que el 25% de los peces y el 33% de las ostras tenían pedazos pequeños de fibra sintética (plástico) o natural (algodón). Concluyeron que estos residuos, de origen humano, están presentes en la cadena alimentaria.

5. En el 2014, Hoellein et al. Estudiaron los ríos urbanos de Illinois (EE.UU.). Descubrieron que las plantas de tratamiento de efluentes constituían una fuente de emisión de microplásticos en el 80 por ciento de los ríos. Los investigadores dijeron que esto era cierto en forma uniforme sin importar el tamaño del río, o la dimensión y tipo de la planta de tratamiento de efluentes. Se encontraron microplásticos hasta 2 kilómetros (1,24 millas) aguas abajo de una planta de tratamiento. Esto apoya la suposición de que los ríos tienen la capacidad de transportar partículas plásticas y los patógenos que ellas albergan durante largas distancias. También encontraron más restos plásticos en los sedimentos del río que en el agua en sí misma.
6. En 2011, Brown et al. Analizaron aguas residuales provenientes lavado de ropa sintética, tales como polares o camisas, contienen más de 100 fibras por litro de agua, en promedio unas 1.900 fibras de microplásticos pueden ser liberadas en un solo lavado. Fibras similares se han observado en los efluentes de aguas residuales y de lodos de costas cercanas a grandes centros urbanos.

Los estudios anteriores nos presentan un posible ciclo de vida de los microplásticos, en primer lugar los microplásticos provienen de los hogares, cuando se lava ropa, o se usan productos que los contienen, el agua residual termina en la planta tratadora, pero los microplásticos no son retirados del agua como contaminantes, son llevados por las descargas de estas plantas tratadoras a los ríos, donde una cantidad de los microplásticos se queda en los sedimentos de los mismos y otra llega hasta océanos y mares donde es consumida por ciertos organismos (peces y moluscos) e introducida a la cadena alimenticia, donde el consumidor final es el ser humano.

2.12 Soluciones

Hasta ahora, se ha ilustrado el papel de la amenaza que los desechos plásticos supone para el medio marino, y como presenta un problema significativo que es difícil de resolver. Debido a la enorme diversidad de residuos de desechos plásticos, su origen y composición, las soluciones a este tipo de problema de contaminación, tienen que ser también diversos. Actualmente, ninguna legislación vigente relacionada con la contaminación del agua ha incluido microplásticos dentro de su ámbito. El tema en sí mismo es un problema reconocido recientemente y la investigación sobre el tema está actualmente en su infancia. Sin embargo, talleres como el International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and fate of Microplastic Marine Debris y artículos científicos están aumentando la conciencia sobre el problema de microplásticos y poner al relieve la necesidad de más investigación sobre sus impactos sobre el medio marino. También hay que mencionar, que no hay una forma aun económicamente viable de remover la basura plástica de los mares.

Esto deja la opción para la prevención en lugar de la mitigación. Las Políticas más bien deben centran su atención sobre las causas y fuentes de la contaminación plástica a través del ciclo de vida del material con enfoque en la eliminación y reciclaje. Sin embargo, aunque la cantidad de carga de basura a los océanos se reduzca en primer lugar, debido a las características persistentes de plásticos, el problema de la basura iba a durar por muchos años. La cooperación y colaboración a nivel local, regional, nacional e internacional es necesaria para poder empezar a combatir el problema. La Educación en combinación con instalaciones para la disposición de desechos adecuadas y el cumplimiento de la legislación es necesaria para abordar los desperdicios marinos de plástico. La clave principal para el control de

desechos marinos es abordarlo en la fuente; una opción de manejo económicamente sostenible que cumple con el criterio de precaución [22].

Se reconoció en la primera Conferencia Internacional sobre residuos plástico - "Desechos plástico, de ríos al mar" que las principales acciones relativas a la contaminación de desechos plásticos deben unirse a los siguientes: mejor coordinación, mayor investigación, disminución de desperdicios, mejor gestión de los residuos, logrando cero descarga en la producción plásticos y disminución del producto y residuos de envases [9], combinado educación, provisión de servicios adecuados de residuos y cumplimiento de la legislación son los temas claves para virar los desperdicios marinos.

2.12.1 Los Principales convenios y acuerdos globales relacionados con la actividad de la basura marina.

2.12.1.1 United Nations (UN) Convention on the Law of the Sea

Define los derechos y responsabilidades de las Naciones Unidas en el uso de los océanos del mundo, establecer las directrices para empresas, el medio ambiente y la gestión de los recursos naturales marinos. Esas directrices obligan a las Naciones a utilizar su autoridad y jurisdicción para evitar la degradación del medio marino.

2.12.1.2 Agenda 21 and Johannesburg Plan of implementation

Un plan de acción completo para ser tomado globalmente, y a nivel local por el sistema de las organizaciones de las Naciones Unidas, en cada zona en la que impactos humanos en el medio ambiente. Medio Establece las reglas respecto a La Dirección De Sonido de Residuos Sólidos Desolados y Cuestiones relacionadas

2.12.1.3 Global Program of Action (GPA) for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities

El programa identifica nueve categorías de fuentes contaminantes como los desechos marinos. Da recomendaciones para posibles acciones nacionales, regionales e internacionales.

2.12.2 Desechos plásticos de las playas

Los residuos plásticos pueden eliminarse eficientemente durante los programas de limpieza y vigilancia de playas, actualmente llevado a cabo en diferentes países a través de una mezcla de trabajo voluntario y la financiación del gobierno. Un ejemplo de un proyecto educativo fue el holandés "Coastwatch" llevada a cabo por Stichting De Noordzee. Limpieza de playa por grupos cívicos conciencia entre el público del problema de desechos plásticos [13].

Además, en el ámbito local, programas de limpieza están "ejercicio de la participación pública excelente" para ayudar a aumentar la atención del público al problema de desechos marinos, así como crear un sentido de responsabilidad ambiental [22].

Como podemos ver, el reto no refiere a la conciencia o la falta de datos de diversas regiones. En cambio, se relaciona con la falta de estandarización y compatibilidad entre métodos y resultados de varios proyectos de hacer la comparación y evaluación general de las operaciones de limpieza de playa es difícil [23].

Las autoridades locales, organizaciones no gubernamentales y numerosos voluntarios contribuyen a la limpieza en todo el mundo.

Debe mencionarse, que el costo de limpiezas de playa puede ser alto. Informes de PNUMA (2005) que sólo en 1998 durante la limpieza de playa que abarca 164 comunidades locales

de mar del norte, se gastaron 6 millones de dólares. Este número se eleva cada año (PNUMA, 2005), por lo que este problema debe tomarse en cuenta al hablar de las mejoras para las políticas sobre los desechos marinos.

Uno de los programas de limpieza global incluye International Coastal Cleanup (CPI). Un programa durante todo el año había coordinado por la ONG, la de participación de 104 países diferentes. ICC recoge información sobre la basura recogida a nivel mundial y por lo tanto es una importante base de datos sobre los desechos marinos [24].

2.12.3 Residuos plásticos de sitios industriales y preproducción

La industria del plástico debe asumir una responsabilidad no sólo de los productos, sino tal vez aún más importante, los productos de desecho. Resinas de plástico desde la preproducción (gránulos, polvos y desechos de producción, esmerilado, corte y fragmentos de transformación de plásticos) y aditivos utilizados para colorear o crear una característica específica de transformados plásticos pueden entrar en los cursos de agua durante el transporte, embalaje y procesamiento cuando las prácticas de gestión se manejan inadecuadamente. Estos residuos también pueden liberarse de mecanismos de transporte en el sitio. Junto con tormenta y el viento pueden contaminar cerca de las vías navegables y más de playas y mares. Según Moore (2008), los desechos plásticos accidentalmente lanzados contribuyen aproximadamente el 10% del problema de desechos plásticos. Estados Unidos encarga de este problema mediante el uso de una "Operation Clean Sweep" (OCP), intento de la industria del plástico para educar a los involucrados en la producción y procesamiento sobre disposición de pellets de resina adecuado [13].

2.12.4 Educación y Conciencia Pública

A pesar de las restricciones proporcionadas por la Convención MARPOL, cada año, las encuestas muestran un aumento de la basura a lo largo de las costas producida en mayor parte de los plásticos.

Por lo tanto, para lidiar con los desechos marinos que se originó de las naves es un tema de educación va junto con estrictas directivas marinas [9]. Por lo tanto es importante que las partes interesadas y público en general sean correctamente educados. Por ejemplo, la educación en las escuelas puede ser útil no sólo para los niños, sino por difundir los conocimientos y hábitos aprendidos, a sus familias [7]. Un ejemplo de estas campañas es la australiana "mantener libre de plástico el mar" [8].

No se debe subestimar la importancia de la educación. Puede ser más eficaz que las prohibiciones y leyes estrictas. Especialmente en términos de contaminación de microplásticos, donde la legislación recién está empezando a notar los desechos marinos como una seria amenaza ambiental.

La combinación de la legislación y la creación de conciencia ecológica a través de la educación junto con la actitud de "pensar global, actuar local", deben ser soluciones fundamentales a largo plazo para abordar los problemas de basura plástica. En general todo el mundo, comenzando con el público, a través de todos los involucrados en los sectores de plásticos, debe compartir la responsabilidad de garantizar que los gobiernos y las empresas cambian sus actitudes hacia el problema de la basura plástica [7].

3. DESCRIPCION DE LOS SITIOS DE MUESTREO

3.1. *Rio Tecate*

El río Tecate es uno de los principales tributarios del río Tijuana (Figura 3.1). La cuenca del río Tijuana está compartida por los Estados Unidos y México. La cuenca del río Tijuana cuenta con una superficie de 4,430 km², de los cuales aproximadamente el 70% se encuentran en México. Esta corriente tiene su nacimiento en territorio en los Estados Unidos con una elevación inicial de 1380 metros sobre el nivel del mar, inicia su recorrido de suroeste tomando el nombre de Miller y cambiado posteriormente al nombre de Campo, hasta recorrer aproximadamente 40 Km. desde su nacimiento hasta el cruce por la ciudad de Tecate, B.C., donde cambia a una dirección oeste donde toma el nombre de Tecate, recorre 39.3 Km. adicionales para llegar hasta la ciudad de Tijuana donde toma el nombre de Alamar. En condiciones naturales el río Tecate es una corriente efímera, es decir, solo fluye agua en episodios de alta precipitación pluvial. Sin embargo, las descargas de plantas tratadoras de agua residuales localizadas en Tecate han producido una corriente perenne de agua de baja calidad.

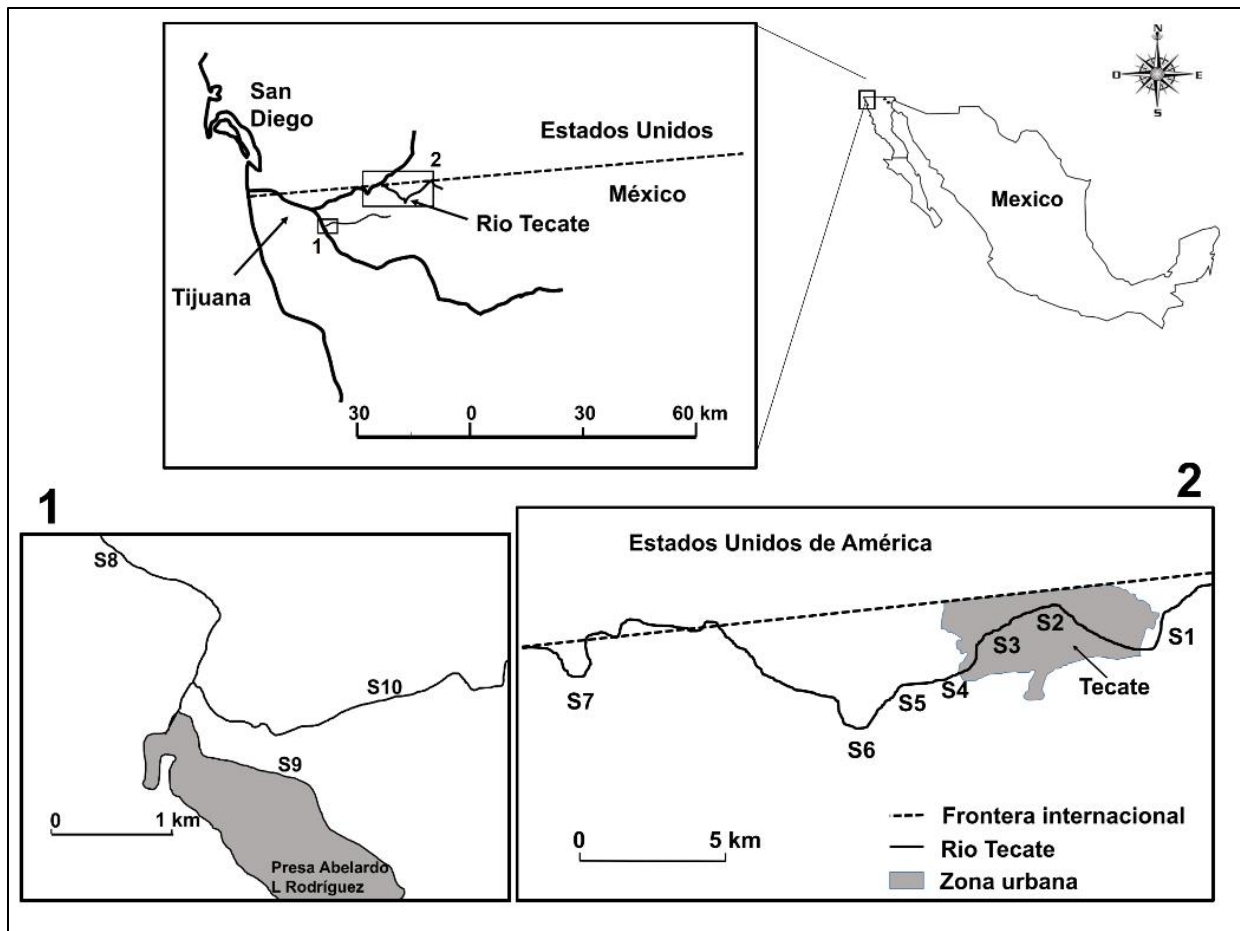


Figura 3.1. Área de estudio, mostrando los sitios de muestreo.

La Tabla 3.1 muestra la descripción de los sitios de muestreo del estudio, en la cual se muestra que siete sitios fueron en la vertiente del Rio Tecate y Alamar y tres sitios en la vertiente del Rio Tijuana- Las Palmas. En las Figuras 3.2 a 3.9 se muestran imágenes de los sitios de muestreo.

Tabla 3.1 .Descripción de los sitios de muestreo.

Sitio	Ciudad	Localización	Características del sitio
CEART (S1)	Tecate	32.564196,-116.641382	El arroyo pasa por debajo de un puente, enfrente de este se encuentra el Centro Estatal de las Artes Tecate. El lecho se encontraba seco.
Los Rosales (S2)	Tecate	32.563660,-116.580421	El arroyo pasa por debajo de un puente, a un costado se encuentra el sitio denominado los Rosales, la muestra se tomó en un lecho seco.
La Puerta (S3)	Tecate	32.546584,-116.673872	El arroyo pasa por debajo del puente llamado La Puerta, la muestra se tomó en un lecho húmedo
Estadio (S4)	Tecate	32.570694,-116.625308	La muestra se tomó en un lecho seco, enfrente del canal del rio, hay un McDonald's.
Los Encinales (S5)	Tecate	32.550442, -116.798814	La muestra se tomó en lecho húmedo en un pequeño cuerpo de agua creado por los dueños del lugar para que el ganado beba agua.
PTAR (S6)	Tecate	32.552238, -116.651171	La muestra se tomó en lecho húmedo a aproximadamente 20 metros del efluente de la planta de tratamiento de agua que desemboca en el arroyo.
Las Ladrilleras (S7)	Tecate	32.320661,-116.4130	La muestra se tomó en lecho húmedo, en el lugar colindante existe una ladrillera.
La Presa (S8)	Tijuana	32.440838,-116.903299	La muestra se tomó en un lecho húmedo, terminando la cortina de la presa.
Cruz Roja (S9)	Tijuana	32.447625,-116.885258	Es una zona industrial, a un costado se encuentra la Av. De los Insurgentes, la muestra se tomó en un lecho húmedo.
Campo de Béisbol (S10)	Tijuana	32.530867, -116.894976	La muestra se tomó en lecho húmedo, antes de que comience el canal de concreto para el arroyo Alamar.



Figura 3.2 Sitio de muestreo CEART (S1), donde podemos observar una mancha rojiza provocada por una descarga de una empresa aledaña al arroyo.



Figura 3.3 Sitio de muestreo Los Rosales (S2), cuando se hizo la toma de muestra el cauce estaba seco.



Figura 3.4 Sitio de muestreo Estadio (S4) en el cauce seco.



Figura 3.5 Sitio de muestreo Los Encinales (S5).



Figura 3.6 Sitio de muestreo PTAR (S6).



Figura 3.7 Sitio de muestreo Las Ladrilleras (S7).



Figura 3.8 Sitio de muestreo La Presa (S8), cuando la muestra fue tomada, el nivel de la presa era menor y la muestra se tomó de los sedimentos en la orilla.

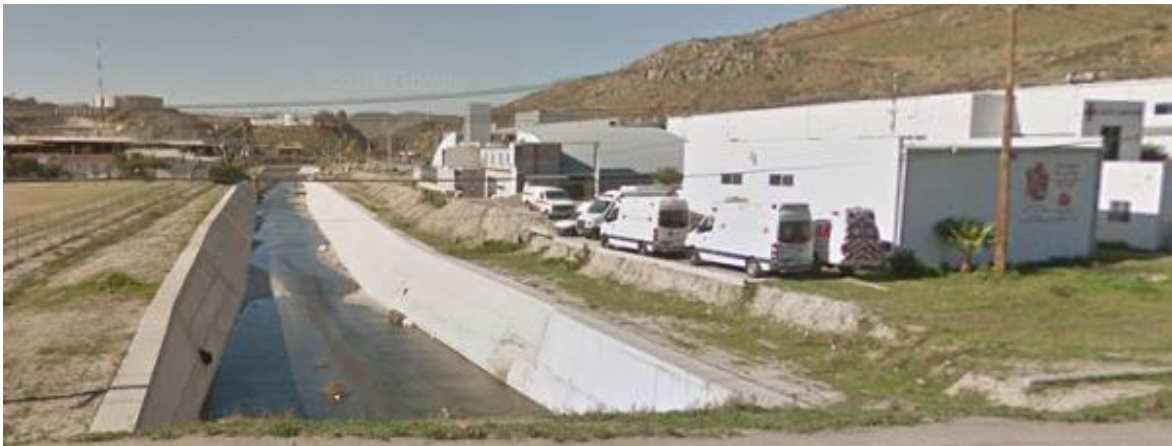


Figura 3.9 Sitio de muestreo Cruz Roja (S9), la muestra se tomó en lecho húmedo sobre el canal del río Alamar.

4. METODOLOGIA

4.1 Metodología de Muestreo

Se muestrearon diez sitios a través del río Tecate durante noviembre del 2015 (Figura 3.10 Y 3.11). Las muestras se tomaron cuando fue posible del sedimento dentro del cauce del arroyo o en la orilla del mismo. Se tomaron dos muestras compuestas por sitio.

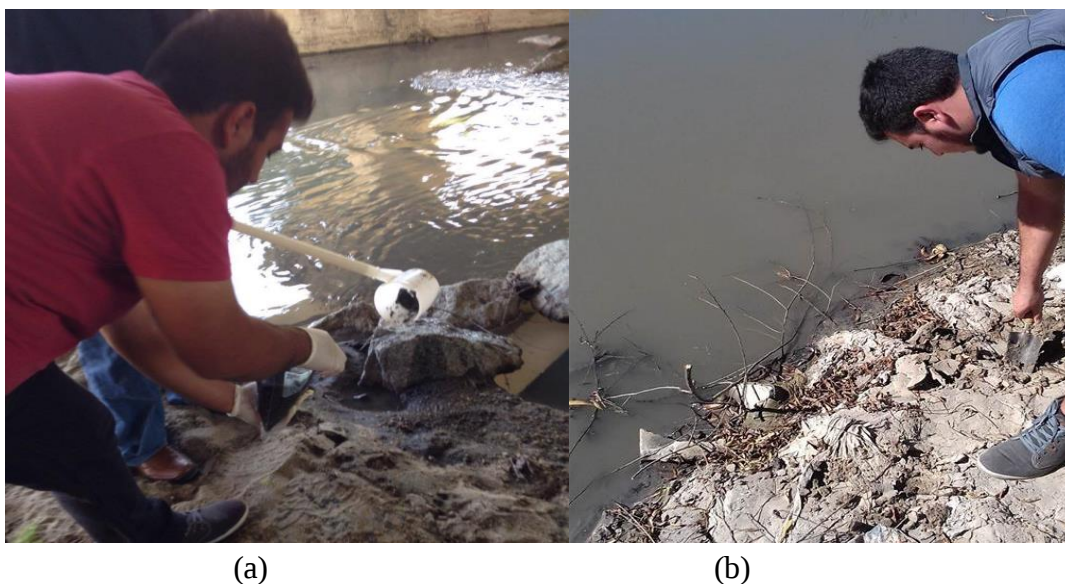


Figura 3.10 (a) Toma de muestra en el sitio La Puerta (S3) y (b) Campos de beisbol (S10).

4.2 Preparación, extracción e identificación de las muestras

Las muestras de sedimento se colectaron mediante un muestreador de acero inoxidable en dos partes del arroyo (en medio y en la rivera). En cada sitio se tomaron dos muestras, las cuales se colocaron en recipientes de vidrio y transportadas al laboratorio para su posterior análisis.

Las muestras se secaron a una temperatura aproximada de 40 °C durante un día. Debido a que las muestras eran ricas en arcilla, estas se tuvieron que moler para reducir su tamaño en un mortero, eliminándose las piedras y trozos de vegetales presentes. Una vez realizado esto, las muestras se tamizaron a través de una malla de 1 mm. Se coloca un kilogramo de la muestra tamizada, en un recipiente de 4 litros de vidrio y se agrega tres litros una solución concentrada de NaCl (120 gr por litro), se agitan por cinco minutos y se deja reposar por un día debido a la gran cantidad de limo y arcilla. Y después se hizo pasar el líquido a través de una malla de 34 μm , la cual se lavó con agua destilada y se transfirió a un vaso de precipitado, este filtrado se pasa a través de un filtro de fibra de vidrio 0.4 μm de tamaño de poro. El filtro se seca a baja temperatura, durante 5 horas. Una vez seco el papel filtro, se coloca entre dos placas de vidrio de 15 cm x 15 cm rotuladas en nueve cuadrantes de 5 cm x 5 cm para su cuantificación en un microscopio óptico.

Las partículas seleccionadas de identificaron por medio de espectroscopia de infrarrojo por medio de un espectrofotómetro Thermo Scientific Nicolet iS5 Fourier Transform Infrared (FT-IR) con un adaptador de Attenuated total reflection (ATR). Las mediciones se llevaron a cabo en modo de reflexión en un intervalo de 400-4000 cm^{-1} , con 50 barridos a una resolución de 10 cm^{-1} .

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 Cuantificación de microplásticos

La Tabla 5.1 muestra las concentraciones de microplásticos en los sitios muestreados. Se observa que el promedio más alto fue en el sitio S3 (391 partículas/kg), seguido del sitio S6 (240 partículas/kg).

Tabla 5.1 Concentración de microplásticos (partículas/kg) en los sitios muestreados

Sitio	Partículas/kg	Sitio	Partículas/kg
S1a	95	S6a	270
S1b	115	S6b	210
S2a	107	S7a	70
S2b	64	S7b	135
S3a	232	S8a	355
S3b	550	S8b	93
S4a	83	S9a	102
S4b	35	S9b	78
S5a	185	S10a	143
S5b	160	S10b	93

La alta concentración de microplásticos en el sitio S3 puede tener su origen en las descargas de una planta cervecera, además de descargas industriales no controladas identificadas en el sitio. En cuanto al sitio S6, se observa que la concentración de microplásticos va en aumento conforme avanza las descargas de la PTAR de la ciudad de Tecate, lo cual indica un posible de transporte de sedimentos a través del río.

5.2 Identificación de microplásticos por FT-IR

Los fragmentos fueron clasificados e identificados mediante la comparación de los espectros de IR en diversas fuentes bibliográficas especializadas. En su mayoría se identificaron como: Poliacrilamida y polietileno (PE). De las fibras obtenidas se puede decir que en su gran mayoría son restos de poliacrilamidas, de diversas fuentes, como telas. Cabe aclarar algunas de las señales o picos, se desplazaron ya que se propone que la degradación de los microplásticos promueve que las bandas sufran modificaciones en su desplazamiento.

A continuación se presenta la descripción de los microplásticos más representativos encontrados en los sedimentos.

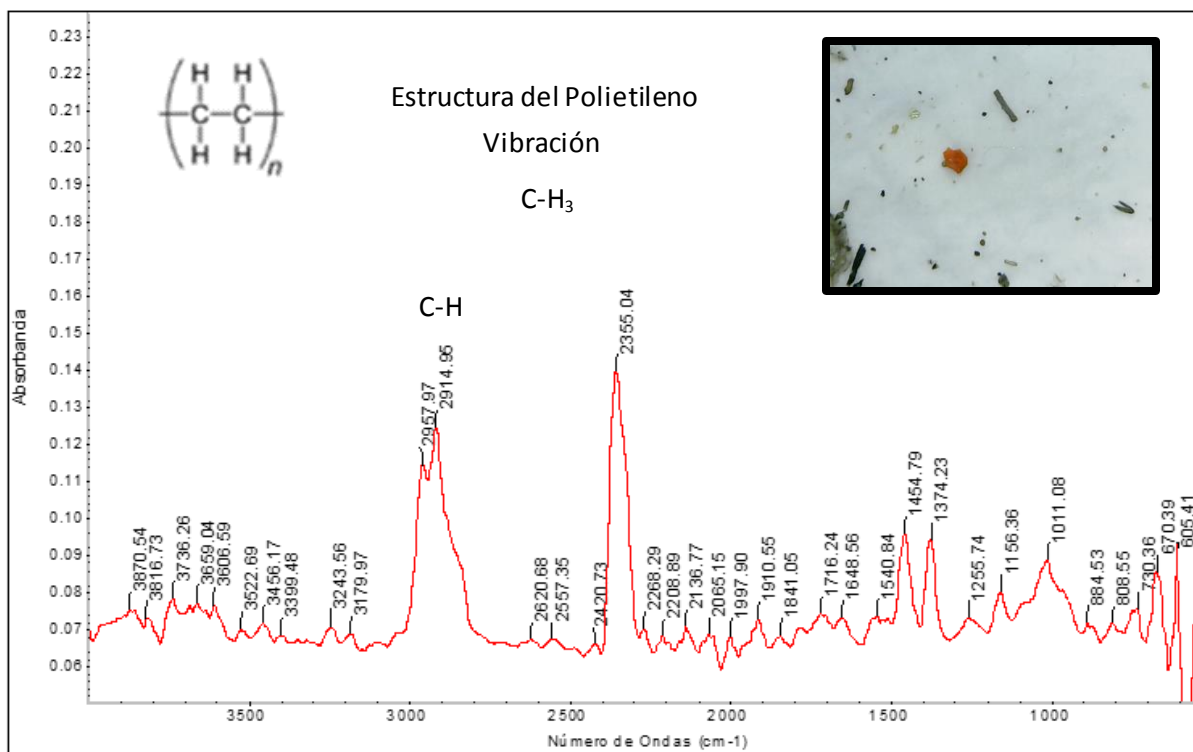


Figura 5.1 Microplástico granulo anaranjado encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible polietileno.

Las principales señales en el espectro IR para el granulo anaranjado encontrado en el sitio de muestreo Las Ladrilleras se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.2 Grupos Funcionales y numero de onda para el polímero de referencia y microplástico granulo anaranjado del sitio las ladrilleras.

Grupo funcional o enlace	Numero de onda (cm ⁻¹) de referencia	Numero de onda de la muestra
CO ₂	2380	2355
C-H estiramiento	2850-2970	2958, 2915
C-H ₃	1450-1500	1455

Como podemos ver en la tabla 5.1, los números de onda de los picos principales del polietileno son muy cercanos a los del espectro estándar. Las frecuencias de vibración correspondientes a 2957 cm⁻¹, 2914 cm⁻¹, pertenecen al estiramiento del CH.

En 1454 cm⁻¹ está la parte de flexión asimétrica de intensidad media del CH₃; esta banda coincide con la flexión del CH₂. La flexión simétrica aparece a 1375 cm⁻¹. Las bandas que comprendidas entre 1156 cm⁻¹ y 809 cm⁻¹ corresponden a la vibración del esqueleto del CH₃.

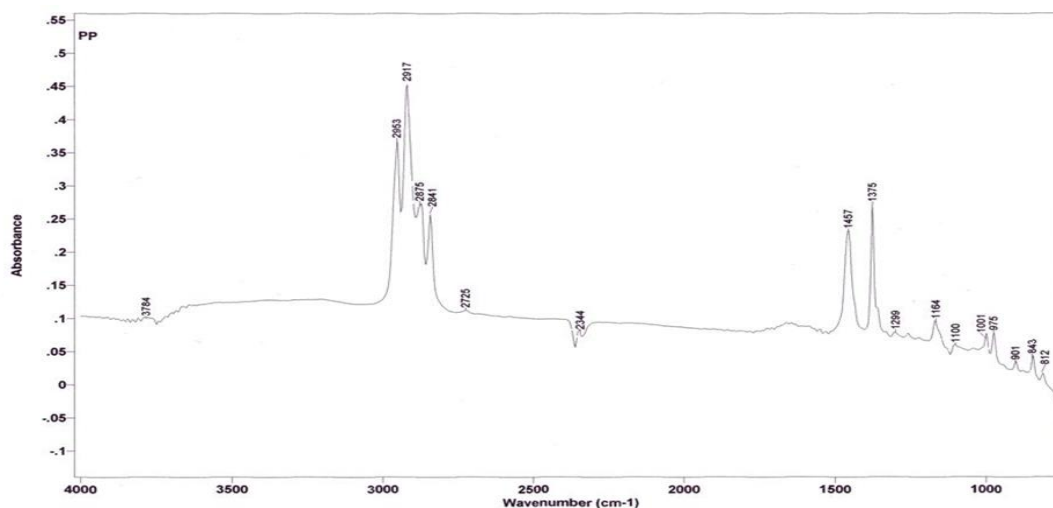


Figura 5.2 Espectro Infrarrojo del Polietileno de referencia.

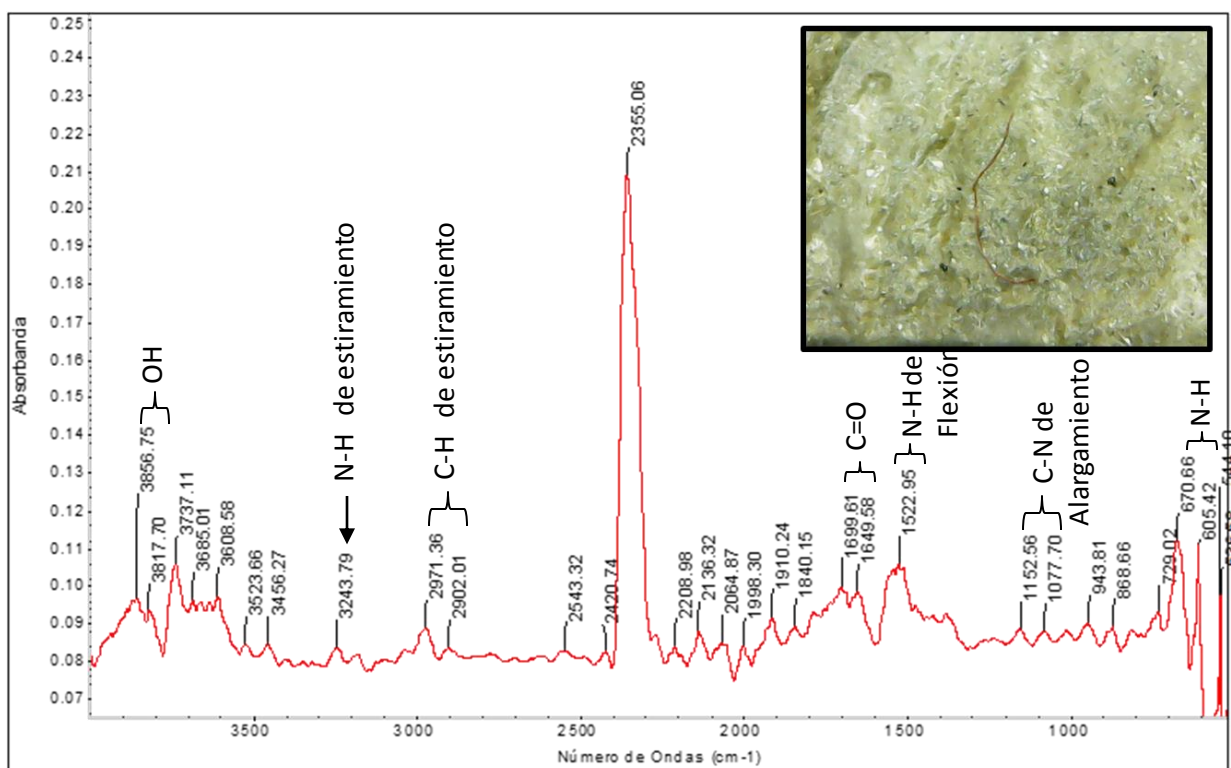


Figura 5.3 Microplásticos fibra roja encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con Su respectivo espectro, posible poliacrilamida.

Las principales señales en el espectro IR para la fibra roja encontrada en el sitio las Ladrilleras se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.3 Grupos Funcionales y numero de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra roja del sitio las ladrilleras.

Grupo funcional o enlace	Numero de onda (cm ⁻¹) de referencia	Numero de onda de la muestra
CO ₂	2380	2355
C-H estiramiento	2850-2970	2971, 2902
N-H estiramiento	3500-3000	3244
N-H de flexión	1640-1520	1523
C=O alargamiento amida	1690-1630	1700 , 1650
C-N alargamiento	1200-1000	1153 , 1078
N-H flexión fuera del plano	600-700	671, 606
OH Humedad de la muestra	3750-3300	3857

La banda a 3244 cm^{-1} perteneciente a la vibración N-H estiramiento, característico del alargamiento acoplado de las amidas primarias, con un pico en la banda gráfica, con intervalo de referencia de $3500\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$. La señal a 1523 cm^{-1} se observa un enlace N-H de flexión donde el intervalo de referencia es de $1640\text{-}1520$. Aparece también dos señales a 671 y 606 cm^{-1} que es la correspondiente a la señal de enlace N-H de flexión amplia fuera del plano con intervalo de $600\text{-}700\text{ cm}^{-1}$, aunada a una señal con intervalo de $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ perteneciente al enlace C-N que aparece en este caso en 1153 cm^{-1} . Las bandas que aparecen en 1700 , se atribuyen a vibraciones del grupo carbonilo C=O para amida.

Las bandas que aparecen en un intervalo de $3800\text{-}3300$ nos hacen referencia a posible humedad en la muestra.

6.- CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en los análisis realizados en el Río Tecate nos demostraron que presenta contaminación de microplásticos, los cuales se identificaron obteniendo los espectros de IR de cada partícula, fibra o gránulo encontrados en las áreas de muestreo. Se compararon con espectros de plásticos para ver similitudes y siendo determinantes las características esenciales de cada compuesto para determinar cuál era el compuesto activo del mismo. Basándonos en bibliografías de polímeros la gran parte de las partículas estudiadas se identificaron como poliacrilamida y polietileno.

Las investigaciones que hasta la fecha se han realizado acerca de la contaminación ecosistemas por microplásticos se han realizado en litorales y mares, más sin embargo, al realizar un análisis en ríos se puede predecir que los contaminantes que este contiene de alguna manera llegaran al mar y así afectar a la fauna, flora y medio ambiente que rodea ese ecosistema. El alcance de este documento es la detección de contaminación por microplásticos, mas sin embargo, alguno de los vacíos que presenta esta investigación es el estudiar las posibles causas de la contaminación del mismo, afectaciones a corto, mediano y largo plazo para el medio ambiente y las posibilidades de llegar a descontaminarlo.

7.- REFERENCIAS

- [1] Andrady, A.L (2011). Microplastics in the marine environment. Marine Pollution Bulletin 62: 1596-1605.
- [2] Fendall, L.S., Sewell, M.A (2009). Contributing to marine pollution by washing your face: Microplastics in facial cleansers. Marine Pollution Bulletin 58: 1225-1228.
- [3] Laist, D.W. (1997). Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. En J. M. Coe, D.B. Rogers (Eds.), Marine Debris-sources, Impacts and Solutions, Springer-Verlag New York Inc., New York (1997), pp. 99-139.
- [4] GEF (2012). Secretariat of the Convention on Biological Diversity and Scientific and Technical Advisory Panel GEF, Impacts of Marine Debris on Biodiversity: Current Status and Potential Solutions, vol 67 (2012) p.9. Montreal.
- [5] Browne et al., 2008; Graham and Thompson, 2009; Murray and Cowie, 2011; Thompson et al., 2004.
- [6] Andrady A. L., "Plastics in the Marine Environment: A Technical Perspective" Plastic Debris, Rivers to Sea Conference, September 7-9, 2005 City of Redondo Beach, California.
- [7] Derraik J. G. B., "The pollution of the marine environment by plastic debris: A review" Marine Pollution Bulletin 44, pp. 842-852, 2002.
- [8] Allsopp, M., Walters, A., Santillo, D., Johnston, P., "Plastic Debris in the World's Oceans", Greenpeace Report, Netherlands, 2006.
- [9] Gordon, M., "Eliminating Land-based Discharges of Marine Debris", In: "California: A Plan of Action from The Plastic Debris Project", California State Water Resources Control Board, Sacramento, CA, 2006.

- [10] Harper C. A., “Modern Plastic Handbook” McGraw-Hill Handbooks, 2000.
- [11] NOWAP “Recycling Plastic Marine Litter”, Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment regional Activity Centre of the Northwest Pacific Action Plan. Retrieved 11.05.2009 from <http://www.cearac-project.org/>, Japan, 2007.
- [12] Berins M. L., “SPI Plastics Engineering Handbook of the Society of Plastic Industry, Inc”, 5th Ed., Springer –Verlag, 1991.
- [13] Moore, C. J., “Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat” *Environmental Research* 108, pp. 131-139, 2008.
- [14] Thompson R., Browne M. A, Galloway T., “Microplastic – an emerging contaminant of potential concern?” *Integrated environmental assessment and Management* 3(4), pp. 559-561, 2007.
- [15] Arthur C. A., Baker J., Bamford H. (eds.), “Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine Debris”, September 9-11, 2008 Washington, NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30, 2009.
- [16] Betts, K., “Why small plastic particles may pose a big problem in the oceans”, *Environmental Science and Technology* 42 (24), pp.8995-8995, 2008.
- [17] Thompson R., Browne B., Dissanayake A., Galloway T., Lowe D., “Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus edulis* (L.)”, *Environmental Science and Technology*, 42 (13), pp. 5026–5031, 2008.
- [18] Petraitis, P. S., “Immobilisation of the predatory gastropod, *Nucella lapillus*, by its prey, *Mytilus edulis*”, *Biological Bulletin* 172 (3), pp. 307-314, 1987.
- [19] Gregory, M. R., “Plastic ‘Scrubbers in Hand Cleansers: a Further (and Minor) Source for Marine Pollution Identified”, *Marine Pollution Bulletin* 32 (12), pp. 867-871, 1996.

- [20] Teuten E. L., Rowland S.J., Galloway T. S., Thompson R. C., “Potential for Plastics to Transport Hydrophobic Contaminants”. *Environmental Science and Technology* 41 (22), pp. 7759-7764, 2007.
- [21] Moore, C. J., “Synthetic polymers in the marine environment: A rapidly increasing, long-term threat” *Environmental Research* 108, pp. 131-139, 2008.
- [22] Storrier, K. L., McGlashan, D. J., “Development and management of a coastal litter campaign: The voluntary coastal partnership approach”, *Marine Policy* 30, pp. 189–196, 2006.
- [23] OSPAR 2007, “Monitoring of marine litter in the OSPAR region”, OSPAR Pilot Project on Monitoring Marine Beach Litter, Biodiversity Series, Publication Number: 306/2007.
- [24] Sheavly, S. B., “Sixth Meeting of the UN Open-ended Informal Consultative Processes on Oceans & Law of the Sea. Marine Debris – an overview of a crucial issue for our oceans” June 6-10, 2005.
- [25] NOWAP “Recycling Plastic Marine Litter”, Special Monitoring and Coastal Environmental Assessment regional Activity Centre of the Northwest Pacific Action Plan. Retrieved 11.05.2009 from <http://www.cearac-project.org/>, Japan, 2007.

8.- ANEXOS

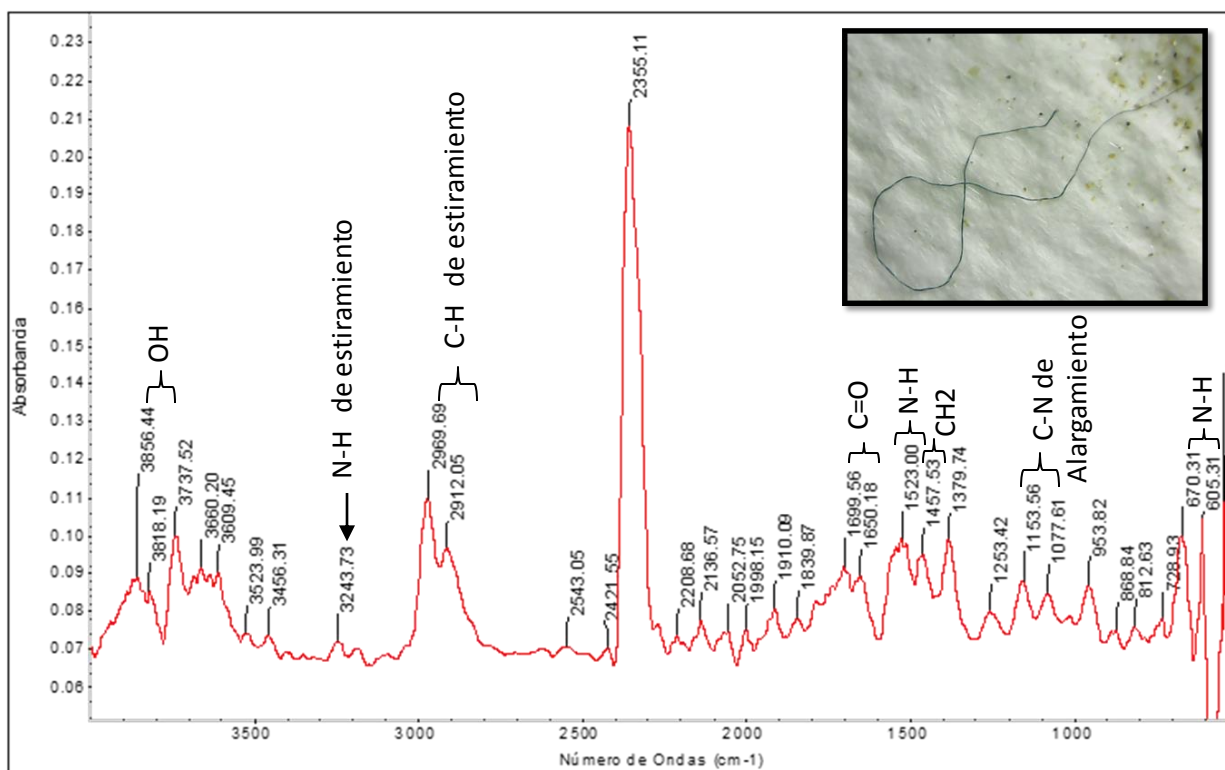


Figura A.1 Microplásticos fibra verde encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras
Con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.

Tabla A.1 Grupos Funcionales y numero de onda para el polímero de referencia y microplástico fibra verde del sitio las ladrilleras.

Grupo funcional o enlace	Numero de onda (cm ⁻¹) de referencia	Numero de onda de la muestra
CO ₂	2380	2355
C-H estiramiento	2850-2970	2970, 2912
N-H estiramiento	3500-30000	3244
N-H de flexión	1640-1550	1523
C=O alargamiento amida	1690-1630	1700 , 1650
CH ₂	1468	1458
C-N alargamiento	1200-1000	1154 , 1078
N-H flexión fuera del plano	600-700	670, 605
OH Humedad de la muestra	3750-3300	3857

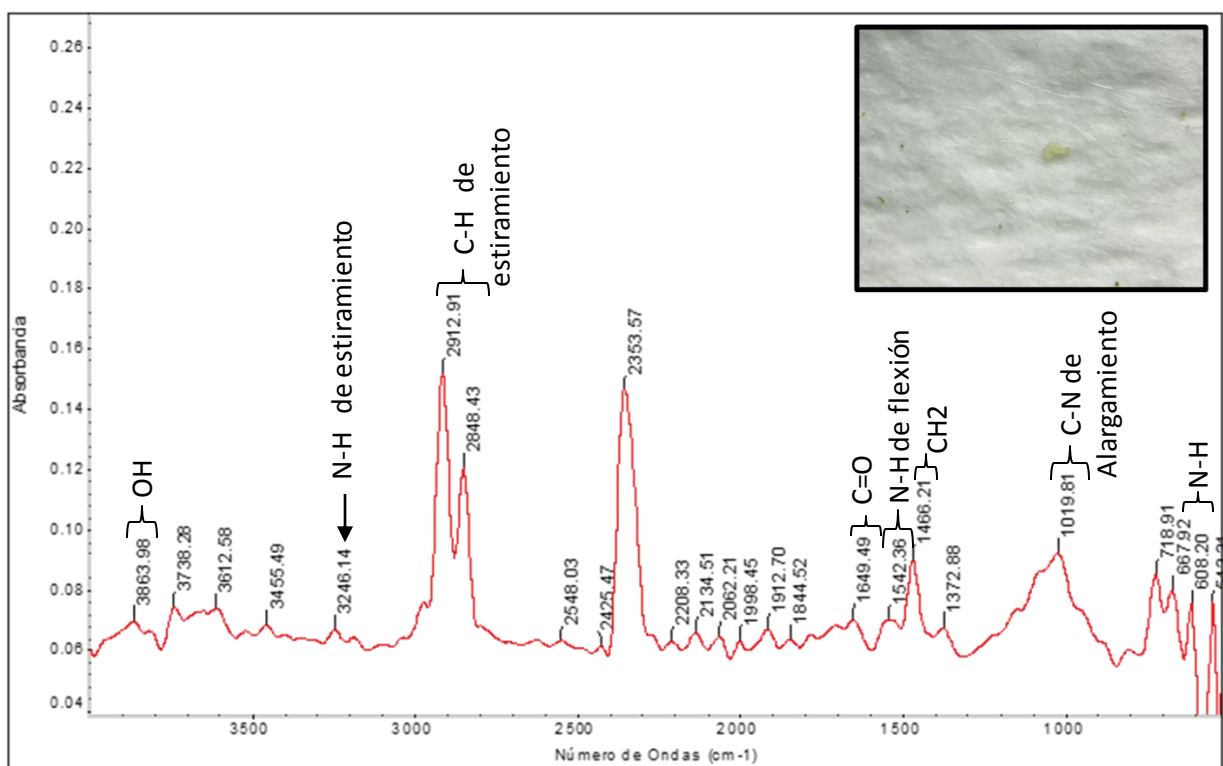


Figura A.2 Microplástico granulo transparente encontrado en el sitio de muestreo las Ladrilleras con su respectivo espectro, posible poliacrilamida.

Tabla A.2 Grupos Funcionales y número de onda para el polímero de referencia y microplástico granulo transparente del sitio las ladrilleras.

Grupo funcional o enlace	Numero de onda (cm ⁻¹) de referencia	Numero de onda de la muestra
CO ₂	2380	2353
C-H estiramiento	2850-29703	2848, 2913
N-H estiramiento	3500-3000	3246
N-H de flexión	1640-1550	1542
C=O alargamiento amida	1690-1630	1650
CH ₂	1468	1466
C-N alargamiento	1200-1000	1020
N-H flexión fuera del plano	600-700	668, 608
OH Humedad de la muestra	3750-3300	3864

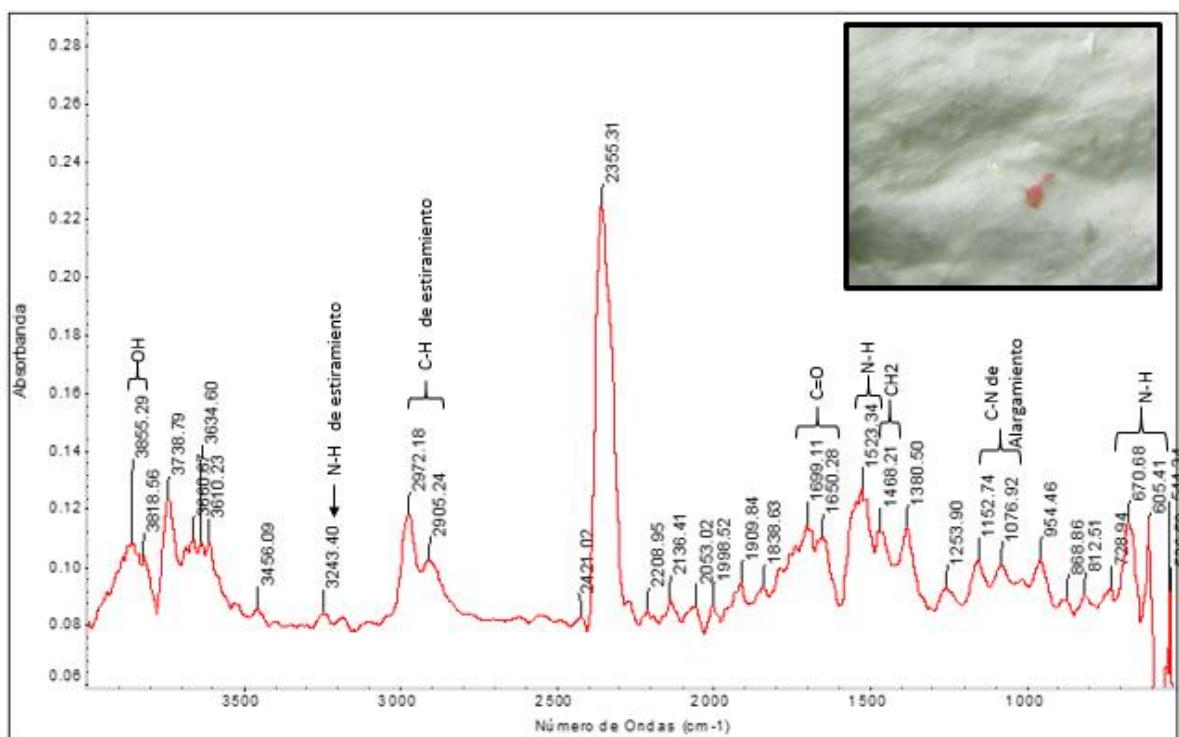


Figura A.3 Microplásticos película rosa encontrado en el sitio de muestreo Ladrilleras con Su respectivo espectro, posible poliacrilamida.

Tabla A.3 Grupos Funcionales y numero de onda para el polímero de referencia y microplástico película rosa del sitio las ladrilleras.

Grupo funcional o enlace	Numero de onda (cm ⁻¹) de referencia	Numero de onda de la muestra
CO ₂	2380	2355
C-H estiramiento	2850-2970	2972, 2905
N-H estiramiento	3500-3000	3243
N-H de flexión	1640-1550	1523
C=O alargamiento amida	1690-1630	1700, 1650
CH ₂	1468	1468
C-N alargamiento	1200-1000	1153, 1077
N-H flexión fuera del plano	600-700	671, 605
OH Humedad de la muestra	3750-3300	3855



EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN SEDIMENTOS DEL RIO TECATE, MÉXICO

Hernández Hernández Estephani, Chávez Flores Miguel Enrique, Damián Pérez Dana Fernanda, Wakida Kusunoki Fernando T., Piñón Colín Teresita de Jesús, Rodríguez Jiménez Rubén.
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma De Baja California, Tijuana B.C.

INTRODUCCIÓN

Los microplásticos son partículas plásticas de menos de 5 mm de largo, que pueden provenir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño o de productos de cuidado de belleza. Los microplásticos pueden entrar al medio ambiente por las actividades humanas, por plantas tratadoras de aguas residuales, así como escurrimiento pluviales. Sin embargo la contaminación por microplásticos se ha enfocado a los ecosistemas marinos y debido a su tamaño pueden ser ingeridos por organismos.

OBJETIVO

Cuantificar e identificar microplásticos en sedimentos del Río Tecate, México.

ZONA DE ESTUDIO

El Río Tecate es uno de los principales tributarios del Río Tijuana, cuenca compartida por los Estados Unidos y México. En condiciones naturales el Río Tecate es una corriente efímera, es decir, solo fluye agua en episodios de alta precipitación pluvial.

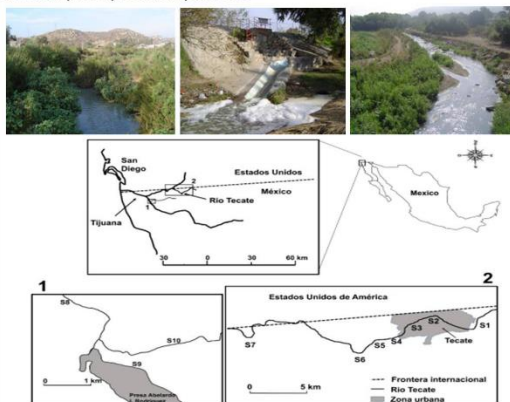


Figura 1. El área de estudio, mostrando los sitios de muestreo.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra las concentraciones de microplásticos en los sitios muestreados. Se observa que el promedio más alto fue en el sitio S3 (391 partículas/kg), seguido del sitio S6 (240 partículas/kg).

Tabla 1. Concentración de microplásticos en los sitios muestreados

Sitio	Partículas/kg	Sitio	Partículas/kg
S1a	95	S6a	270
S1b	115	S6b	210
S2a	107	S7a	70
S2b	64	S7b	135
S3a	232	S8a	355
S3b	550	S8b	93
S4a	83	S9a	102
S4b	35	S9b	78
S5a	185	S10a	143
S5b	160	S10b	93

Las fibras obtenidas son restos de poliamidas, de diversas fuentes, como telas. Por otra parte las esferas o gránulos se clasificaron como polietilenos en su mayoría.

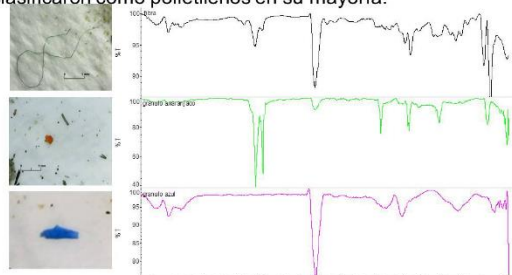


Figura 2. Espectros de FT-IR de a) Fibra negra, b) Gránulo anaranjado y c) Gránulo azul.

METODOLOGÍA



CONCLUSIÓN

Los sedimentos del Río Tecate tienen una alta de concentración de microplásticos resultado de las descargas de aguas residuales tratadas, estos se reflejan en los diversos parámetros encontrados (fibras, gránulos, esferas y películas) en los sitios muestreados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado con el apoyo de la Universidad Autónoma de Baja California.



Figura A.4 Poster presentado en Congreso Interamericano de Ingeniería Química Cusco-Perú 2017.



Figura A.5 Certificado de Expositor en Congreso Interamericano de Ingeniería Química.