

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



MICROPLÁSTICOS
EN LA CUENCA DEL RIO TIJUANA, B.C.
TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS
PRESENTA
TERESITA DE JESÚS PIÑON COLÍN

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA

Octubre 2021

Universidad Autónoma de Baja California

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA

COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Folio No. 308

Tijuana, B.C., a 07 de septiembre del 2021

C. Teresita de Jesus Piñon Colin

Pasante de: Doctorado en Ciencias

Presente.-

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

Opción: TESIS

Es propuesto, por los C. Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki y

Dr. Armando Toyokasu Wakida Kusunoki

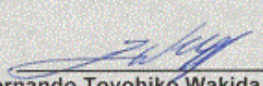
Quienes serán los responsables de la calidad del trabajo que usted presente, referido al tema: "Microplásticos en la cuenca del Río Tijuana",

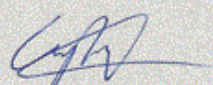
el cual deberá usted desarrollar, de acuerdo con el siguiente orden:

- I. Introducción.
- II. Marco teórico.
- III. Descripción del área de estudio.
- IV. Metodología.
- V. Resultados.
- VI. Conclusiones.

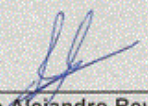


FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS E INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN


Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
Director de Tesis


Dra. Ana Alejandra Ramirez Rodriguez
Secretaria


Dr. Armando Toyokasu Wakida Kusunoki
Co-Director de Tesis


M.C. Roberto Alejandro Reyes Martinez
Director Provisional

RESUMEN

Los escurrimientos de aguas pluviales han sido identificados como una de las fuentes principales de contaminantes y transporte de microplásticos a los cuerpos de agua. Son muy pocos los estudios realizados de microplásticos en sedimentos de agua dulces. El propósito de este estudio fue cuantificar y analizar los microplásticos presentes en suelos, sedimentos y escurrimientos pluviales de la cuenca del Río Tijuana. Para el estudio de concentraciones de microplásticos en escurrimientos de aguas pluviales se muestrearon 5 sitios con diferentes usos de suelos en la Ciudad de Tijuana. En el caso del estudio de cuantificación en sedimentos y suelos, se seleccionaron 11 sitios en las vertientes del Río Tecate y Tijuana. La identificación de los polímeros se realizó mediante el uso de la Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier y Reflexión absoluta Atenuada (FTIR ATR)

Las medianas de la abundancia de los microplásticos encontradas en las muestras de escurrimientos pluviales fue entre 66 y 191 partículas L^{-1} , siendo la de mayor abundancia, aquella registrada en un sitio de uso de suelo industrial. Las cargas de los microplásticos totales anuales estimadas fueron entre 8×10^5 y 3×10^6 partículas ha^{-1} . La forma de los microplásticos más abundante y tipo de polímero identificado fueron fibras y polietileno, respectivamente. Los valores más altos de concentraciones se observaron en eventos con mayor precipitación.

En cuanto a suelos adyacentes a cauces y sedimentos, el total de microplásticos identificados en muestras de suelos fue de 4113 partículas kg^{-1} , con un rango de medianas entre 57 y 587 partículas kg^{-1} . Mientras que, para sedimentos, se identificaron un total de 4347 partículas kg^{-1} , con un rango entre 59 y 586 partículas kg^{-1} . No se encontró diferencia estadística significativa de las medianas entre las concentraciones de sedimentos y suelos. El polímero identificado con mayor frecuencia en las muestras de suelos y sedimentos fue el polipropileno con 45.7%, en segundo lugar, el polietileno con 34.3% y, en tercer lugar, el poliestireno con 11.4%. Estos resultados concuerdan con otros estudios publicados, siendo estos polímeros los de mayor producción a nivel mundial.

Los resultados han demostrado que la escorrentía de aguas pluviales y las descargas de aguas residuales son fuentes importantes de microplásticos para los cuerpos de agua. Además, los microplásticos son un importante riesgo al ambiente debido a que pueden ingresar a las cadenas alimenticias en la cual el hombre está enlazado como consumidor final, con potenciales riesgos a la salud.

Palabras clave Microfibras, Baja California, escorrentía urbana, microplásticos, carga contaminante, sedimentos en río.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.

A Dios por darme vida, salud y tiempo para dedicar a las cosas que amo.

A mi madre María Colín Zavala quien me enseñó a luchar en la vida por mis sueños.

A la familia Torres Chabert por su apoyo en el trayecto de mi carrera universitaria.

A todos mis maestros de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería que de alguna manera participaron en mi formación académica y forjaron en mí la ética y la honestidad además del conocimiento.

A los miembros del comité de tesis Dr. Eduardo Rogel Hernández, Dr. Enrique García

Flores, Miguel Angel Pastrana Corral ,Dr. Armando T. Wakida Kusunoki.

A la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería y al programa de Doctorado en Ciencias e Ingeniería por su apoyo a la realización de este proyecto.

Agradezco a CONACYT por la beca otorgada de Posgrado.

A mis hijos Fernando Ichiro y Melisa Akemi por su comprensión y amor.

A mi familia y amigos.

Por último, al Dr. Fernando T. Wakida Kusunoki mi supervisor de tesis en el proyecto a quien admiro, respeto y agradezco su tiempo, esfuerzo, dedicación, y compromiso.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación y uso de los resultados	2
1.3 Objetivo General	3
1.3.1 Objetivos específicos	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Microplástico en general	4
2.2 Legislación	5
2.3 Microplásticos en escurrimientos pluviales	6
2.4 Microplásticos en sedimentos de ríos	7
2.5 Microplásticos en plantas tratadoras de aguas	8
3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	10
3.1 Características de la Cuenca del Río Tijuana (CRT)	10
3.2 Sitios de muestreo de escurrimientos pluviales	12
3.3 Descripción de sitios de muestreo en sedimentos y suelos	20
4. METODOLOGÍA	30
4.1 Muestreo	30
4.1.1 Escurrimientos pluviales	30
4.1.2 Sedimentos y suelos de la ribera en la CRT	32
4.2 Método extracción de microplásticos en muestras de escurrimientos pluviales	32
4.3 Método de extracción de microplásticos en sedimentos y suelos	33
4.4 Identificación de microplásticos por medio de espectroscopia FTIR-ATR	34
5. RESULTADOS	35
5.1 Microplásticos en escurrimientos pluviales	35
5.1.1 Abundancia de los microplásticos en escurrimientos pluviales	35
5.1.2 Carga de los microplásticos en muestras de escurrimientos pluviales	39
5.1.3 Morfología y composición química de los microplásticos en escurrimientos pluviales con la técnica FTIR-ATR	41
5.1.4 Identificación de microplásticos por infrarrojo FT-IR ATR para escurrimientos pluviales	45
5.2 Microplásticos en sedimentos y suelos de los ríos de la CRT	55
5.2.1 Análisis granulométrico en sedimentos de la CRT	55
5.2.2 Abundancia de microplásticos en sedimentos de la CRT	56
5.2.3 Abundancia de microplásticos en la ribera de la CRT	58
5.2.4 Concentraciones de microplásticos encontradas en diferentes estudios	60

5.2.5 Formas y colores encontradas en las muestras de los suelos de la ribera de la CRT	61
5.2.6 Análisis de espectroscopia FTIR-ATR de microplásticos en sedimentos y suelos de la CRT	67
6. CONCLUSIONES	74
REFERENCIAS	75
ANEXOS	85
Anexo A Espectros para muestras de microplásticos encontrados en sedimentos y suelos de la ribera de la CRT	85
Anexo B Gráficas de cargas de escurrimientos pluviales	101
Anexo C Gráficas de análisis de granulometría	104
Anexo D Tablas de porcentajes de colores encontrados en la morfología en muestras de suelo por sitios	109
Anexo E Productos realizados durante el doctorado	111

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Formas de microplásticos encontradas en las muestras	5
3.1	Cuenca del Río Tijuana	11
3.2	Efluente de descarga de la Planta tratadora de agua de Tecate, que se une al Río Tecate.	11
3.3	Área de estudio	12
3.4	Localización de los sitios de muestreo de los escurrimientos pluviales	13
3.5	Sitio de muestreo denominado Alta Brisa	15
3.6	Sitio de muestreo Parte Baja	16
3.7	Sitio de muestreo Buena Vista	17
3.8	Sitio de muestreo 20 de noviembre	18
3.9	Sitio de muestreo industrial Otay	19
3.10	Mapa con los sitios del muestreo de sedimentos y suelos de la ribera de la CRT	20
3.11	Sitio de muestreo Los Rosales S1	22
3.12	Sitio de muestreo Estadio S2	23
3.13	Sitio de muestreo CEART S3	23
3.14	Sitio de muestreo PTAR S4	24
3.15	Sitio de muestreo La Puerta S5	25
3.16	Sitio de muestreo Las Ladrilleras S6	25
3.17	Sitio de muestreo Los Encinales S7	26
3.18	Sitio de muestreo Las Canchas S8	27
3.19	Sitio de muestreo La Presa S9	27
3.20	Sitio de muestreo Cruz Roja S10	28
3.21	Sitio de muestreo S Alamar	29
4.1	Muestras de escurrimientos pluviales	31
5.1	Carga de microplásticos por evento de lluvia	39
5.2	Cargas de microplásticos por sitio muestreado	40
5.3	Gráfica de los porcentajes de formas para los microplásticos de las muestras de escurrimientos pluviales de los 5 sitios muestreados	43
5.4	Fotos de formas y colores de partículas encontradas en las muestras de escurrimientos pluviales	43
5.5	Muestra los polímeros identificados en las muestras analizadas en escurrimientos pluviales	45
5.6	Gráfica polipropileno, fibra transparente del sitio Casa Birria primer muestreo	46
5.7	Gráfica polipropileno, fibra transparente del sitio Casa Birria primer muestreo	48
5.8	Gráfica poliamida tipo nylon, fragmento amarillo del sitio zona industrial primer muestreo.	49

5.9	Gráfica poliestireno, película azul del sitio casa birria primer muestreo	51
5.10	Gráfica tereftalato de polietileno, fibra roja del sitio Alta Brisa 2 cuarto muestreo	53
5.11	Gráfica de probabilidad de normalidad Kolmogorov-Smirnov para concentraciones de microplásticos en sedimentos peso seco de la CRT	56
5.12	Gráfica de probabilidad de normalidad Kolmogorov-Smirnov para concentraciones de microplásticos en suelos peso seco de la CRT	58
5.13	Gráfico de porcentajes de forma para microplásticos por sitio en suelo en la ribera de la CRT muestreo del 2018	62
5.14	Porcentajes de la morfología para microplásticos en las muestras de suelo de la CRT	63
5.15	Porcentajes de color en fibras	64
5.16	Gráfica de porcentajes de color en esferas	65
5.17	Porcentajes de color en fragmentos	66
5.18	Porcentajes de color en películas	66
5.19	Gráfica polietileno, esfera ámbar de la muestra de sedimentos del sitio PTAR 2, Río Tecate	68
5.20	Gráfica poliacrílica, fragmento amarillo de la muestra de sedimentos del sitio Estadio 2, Río Tecate	69
5.21	Gráfica polipropileno, película verde de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Rosales 2, Río Tecate	70
5.22	Gráfica poliamida tipo nylon, fragmento ámbar de la muestra de sedimentos del sitio Estadio 2, Río Tecate	71
5.23	Gráfica Tereftalato de polietileno, fibra negra de la muestra de sedimentos del sitio CEART 1, Río Tecate	72

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
3.1	Tabla de las características de los sitios de muestreo de escurrimientos pluviales	14
3.2	Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos	21
4.1	Características de los eventos de lluvia muestreados	31
5.1	Resultados estadísticos de los muestreos para escurrimientos pluviales	36
5.2	Concentraciones de microplásticos encontradas en estudios de ríos internacionales	37

5.3	Concentraciones de microplásticos encontradas en los influentes y efluentes de las plantas tratadoras de aguas internacionales.	38
5.4	Muestra la composición química del microplástico encontrado con su forma y color además el número de espectros realizados algunos repetidos en escurrimientos pluviales.	44
5.5	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia polietileno y la muestra microplástico fragmento transparente en escurrimientos pluviales	47
5.6	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia polipropileno y la muestra microplástico fragmento transparente en escurrimiento pluvial	48
5.7	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia poliamida tipo nylon y la muestra microplástico fragmento amarillo en escurrimiento pluvial	50
5.8	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia poliestireno y la muestra microplástico película azul en escurrimiento pluvial	51
5.9	Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia tereftalato de polietileno y la muestra microplástico fibra roja en escurrimiento pluvial	54
5.10	Granulometría para el suelo de la CRT	55
5.11	Resultados estadísticos para la abundancia de microplásticos en muestras de sedimentos de la CRT	57
5.12	Segundo muestreo del 2018, concentraciones en partículas kg ⁻¹ de la ribera de la CRT	59
5.13	Comparación de resultados estadísticos de los 2 tipos de muestreos para microplásticos en sedimentos y en suelos	60
5.14	Comparación de concentraciones de microplásticos encontradas en sedimentos de lagos, ríos y plantas tratadoras de aguas internacionales	61
5.15	Composición química de las distintas formas y colores de microplásticos encontradas en suelos de la ribera en CRT	67
5.16	Señales de referencia para polietileno y posible composición química de la muestra de suelo en el sitio PTAR 2, fragmento anaranjado.	69
5.17	Señales de referencia para poliacrílico y la muestra de suelo en el sitio Estadio 2, fragmento amarillo	70
5.18	Señales de referencia para polipropileno y la muestra de suelo en el sitio Rosales 2, película verde	71
5.19	Señales de referencia para poliamida tipo nylon y la muestra de suelo en el sitio Estadio 2, fragmento ámbar	72
5.20	Señales de referencia para tereftalato de polietileno (PET) y la muestra de suelo en el sitio CEART 1, fibra negra	73

1. INTRODUCCIÓN

En México se tienen muy pocos estudios acerca de los microplásticos y en la Cuenca del Río Tijuana (CRT), no se cuenta con estudios de este tipo, en los últimos años se han incrementado los desechos de plásticos y muchos de ellos van a parar al ambiente marino, por lo que es de suma importancia el estudio de las concentraciones de los microplásticos. En el presente trabajo se identificó y cuantificó los microplásticos en la CTR para esto se analizaron escurrimientos pluviales en la ciudad de Tijuana, así como muestras de sedimentos de diferentes puntos de la cuenca. Para los escurrimientos pluviales, se realizaron campañas de muestreo durante siete eventos de lluvia en el periodo de noviembre del 2017 a abril del 2018 en la ciudad de Tijuana, Baja California, México. Estas consistieron en la toma de muestras en cinco sitios con diferentes usos de suelo: industrial, residencial y comercial. Para los muestreos de sedimentos, 11 sitios fueron seleccionados y donde se tomó muestras por duplicado, una se tomó en el centro del río y el otro y la otra en la orilla del río. Como su nombre lo indica, los microplásticos son partículas plásticas cuya longitud es menor a 5mm de longitud, pero convencionalmente tienen una longitud entre 0.333 a 5mm. Los microplásticos pueden provenir de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño, de productos de cuidado de belleza o de prendas de vestir. Debido a su tamaño pequeño 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.

1.1 Planteamiento del problema.

Se tiene el conocimiento que la presencia de microplásticos en estuarios y ríos es global, es decir, se les ha encontrado hasta en los sitios más aislados. Los ríos son el medio de transporte de microplásticos al ambiente marino, de aquí la importancia de conocer las concentraciones de microplásticos en ellos. En México se tiene muy pocos estudios acerca de los microplásticos en el ambiente marino y terrestre. Además, los microplásticos han sido relacionados con impactos ecológicos, debido a su ingestión por parte de organismos marinos, la transferencia y bioacumulación de contaminantes orgánicos persistentes en la cadena alimenticia. La limpieza periódica de la basura de plásticos, (el reciclado de basura), podría solucionar el nivel de contaminación de microplásticos. Sin embargo, por su tamaño pequeño pueden ser transportados grandes distancias. Además de que por su característica hidrofóbicos también pueden adsorber sustancias tóxicas como los bifenilos clorados, ftalatos, entre otros y pueden permanecer en el

ambiente por largo tiempo. Cabe señalar que los microplásticos están presentes en productos de limpieza y belleza, en desinfectantes para manos con uso solo estético, en pastas de dientes con uso abrasivo (llamados microesferas, también se presentan en forma de fragmentos irregulares), en textiles son encontrados al tener origen sintético como tereftalato de polietileno en algunos casos, parte de estos microplásticos no son retenidos en el tratamiento de agua residuales, además la contaminación en los centros urbanos a través de los escurrimientos pluviales o vía descargas de plantas tratadoras de agua residuales pueden llegar a los ríos o la cuenca.

Los datos generados servirán para promover políticas concernientes al control y prevención de la contaminación de microplásticos, así como crear conciencia sobre el cuidado del medio ambiente y que puede ser la base para ciudades fronterizas con similares características.

1.2 Justificación y uso de los resultados

La contaminación de ríos y mar por plásticos y microplásticos es un problema ambiental que en los últimos años ha sido identificado como uno de los más importantes a nivel mundial. Se ha observado que estas partículas entran a la cadena alimenticia debido a la ingesta de estos por camarones, mejillones y otros organismos marinos pequeños. Estos pueden llegar a organismos que se sitúan más alto en la cadena alimenticia. Aunado a esto es conocido que estos materiales pueden lixiviar otros compuestos que se adicionan a los plásticos como los ftalatos y que pueden transportar compuestos orgánicos tóxicos a áreas diferentes de donde se originan, mediante los procesos de adsorción y desorción de los mismos. Son pocos los estudios en México sobre la presencia de microplásticos en los ríos, por lo cual es importante conocer la abundancia de estos contaminantes en el ambiente de la CRT de Baja California para concientizar a evitar el uso de ciertos productos de limpieza como exfoliadores y de cuidado de la belleza que son una de las fuentes de los microplásticos. En este estudio se obtendrán datos que servirán de base para la realización de otros proyectos relacionados en este campo, para poder evaluar el impacto ambiental de los microplásticos.

1.3 Objetivo general

Evaluar los niveles presentes de microplásticos en la Cuenca del Río Tijuana de Baja California, México.

1.3.1 Objetivos específicos:

1. Cuantificar microplásticos presentes en escurrimientos pluviales urbanos en la ciudad de Tijuana.
2. Cuantificar microplásticos en sedimentos y suelos de la ribera en la Cuenca del Río Tijuana por su morfología y composición.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Microplásticos en general.

La producción de polímeros sintéticos ha aumentado inicialmente de 1.7 millones de toneladas en 1959 a más de 311 millones de toneladas anuales en la actualidad (Eerkes-Medrano et al., 2015; Plastics Europe, 2016). Se estima que aproximadamente 1.15 a 2.41 millones de toneladas al año de desechos plásticos llegan a los océanos desde los ríos del mundo (Lebreton et al., 2017). Los plásticos constituyen el 10% de los residuos municipales del mundo (Barnes et al., 2009). Algunos autores han indicado que aproximadamente el 80% de los microplásticos en el medio marino son originados a partir de fuentes terrestres (Yonkos et al., 2014; Browne, 2015). Por ejemplo, se estimó que aproximadamente 4.8-12.7 millones de desechos plásticos ingresan al océano desde tierra por año. (Jambeck et al., 2015).

Se han hecho estudio que relacionan los microplásticos y la población (Browne et al., 2010; Browne, 2007; Depledge et al., 2013; Ballent et al., 2016a; Barnes, 2005), concluyendo que el 90% de la variación en desechos plásticos antropogénicos podría ser explicada por la densidad de población humana. Estas fuentes incluyen ríos, escorrentía de aguas pluviales, turismo, transporte de basura por el viento y descargas de aguas residuales (Avio et al., 2017).

Los microplásticos son definidos como partículas con tamaños menores que 5 mm (Wagner et al., 2014). Los plásticos ambientales son un grupo muy heterogéneo de basura, con frecuencia se clasifican de acuerdo con el tamaño, el origen, la forma y el tipo de polímero. Hasta ahora, no hay un sistema de clasificación común. Recientemente, el Grupo de trabajo europeo MSFD sobre buen estado ambiental (WG-GES) proporcionó una "Guía de monitoreo para la basura marina en mares europeos, que representa un paso importante hacia un muestreo y monitoreo estandarizado de microplásticos marinos. Algunos autores también han clasificado los microplásticos en fibras, fragmentos, películas y esferas. En la Figura 2.1 se muestran algunos ejemplos de microplásticos.

De acuerdo al tamaño de los plásticos (Wagner et al., 2014) se pueden clasificar en: (a) macroplásticos (> 25 mm), (b) mesoplásticos (5 a 25 mm), (c) microplásticos grandes (1 a 5 mm); (d) microplásticos pequeños (20 µm a 1 mm) y nanoplásticos (< 20 µm).

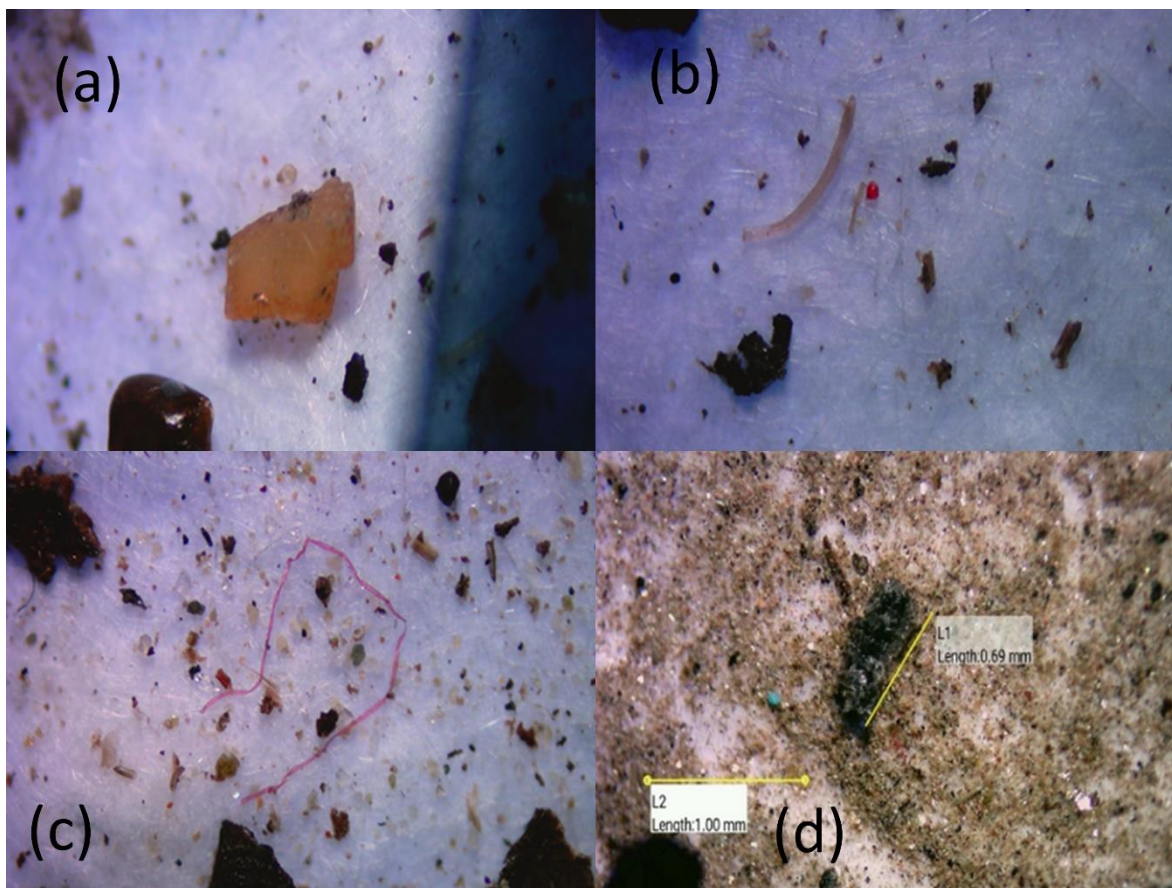


Figura 2.1 Formas de microplásticos encontradas en nuestras muestras. a) Fragmento, b) Esfera, c) Fibra y d) Película.

Otra clasificación de los microplásticos por su origen, es en microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos diseñados de tamaño pequeño para usos específicos. Por ejemplo las esferas usadas como materia virgen en procesos de modelación, esferas para granallado y productos cosméticos (Wilber, 1987; Eerkes-Medrano et al., 2015b; Gregory , 1996; Fendall and Sewell, 2009). Por otro lado, los microplásticos secundarios son aquellos resultado de la degradación ambiental y fragmentación de desechos plásticos más grandes (Cooper and Corcoran, 2010), por ejemplo: las películas producto de la fragmentación de bolsas y envolturas (Mohamed Nor and Obbard, 2014), las fibras generadas durante lavado de piezas de vestir hechas de fibras sintéticas.

2.2 Legislación.

Aunque aún no han realizado una legislación para regular internacionalmente los microplásticos, países, como Canadá y Estados Unidos, han prohibido la venta de productos cosméticos que los contienen

como polietileno (PE) y el polipropileno (PP), se han identificado regularmente en sedimentos sumergidos (Claessens et al., 2011; Vianello et al., 2013; Corcoran et al., 2015). La Ley de aguas libres de microesferas, adoptada en los Estados Unidos en 2015, prohíbe la fabricación de productos cosméticos que contengan microesferas a partir julio de 2017. En Canadá, las microesferas se encuentran en la lista de sustancias tóxicas en el Anexo 1 de la Ley de Protección Ambiental de 1999. Leslie (2014) informa que los MP utilizados en enjuagues faciales y pastas dentales, varían en forma de esféricos a amorfos, esto es quedan libres de la ley los gránulos o fragmentos irregulares, que en este estudio fueron la segunda forma más encontrada después de las fibras.

2.3 Microplásticos en escurrimientos pluviales.

La escorrentía de aguas pluviales es una fuente importante de contaminantes para el medio ambiente acuático y marino, transportando muchos contaminantes diferentes tales como metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, bacterias, nutrientes y microplásticos (Sansalone and Buchberger, 1995; Mijangos-Montiel et al., 2010; García-Flores et al., 2013) Uno de los principales contribuyentes de contaminantes a la escorrentía de aguas pluviales son los sedimentos depositados en carretera (RDS), por sus siglas en ingles). El tipo y la cantidad de contaminantes presentes en RDS dependen del uso del suelo donde se ubica la carretera (Trujillo-González et al., 2018; Zhang et al., 2018; Zhang et al., 2017; Quiñonez-Plaza et al., 2017). Dehghani et al. (2017) declararon que los RDS son una fuente importante de microplásticos en el entorno urbano, y que la ingestión de partículas microplásticas anual de los residentes de Teherán por año es entre 1063 y 3223 partículas. Otro estudio en un entorno urbano fue realizado por Dris et al. (2015) en París, quienes encontraron una precipitación atmosférica entre 29 y 280 partículas $\text{m}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

Moore et al. (2011) muestrearon tres ríos en el área de Los Ángeles, encontrando una densidad promedio de microplásticos (1 a 4.75 mm) entre 33 y 4330 artículos m^3 . El recuento promedio por día de los artículos (1 a 4.75 mm) en el muestreo de la estación de lluvias fue entre 66 y 300 veces mayor que el conteo promedio por día en la estación de estiaje. El recuento promedio de microplásticos (1 a 4.75 mm) por día de los tres ríos muestreados fue de aproximadamente 23.62×10^8 partículas m^{-3} , lo que indica la relevancia de la influencia de la escorrentía de aguas pluviales como fuente de microplásticos en ríos y océanos (Moore, et al., 2011) , se estimó que estos ríos descargaban más de un 1 billón de artículos microplásticos día^{-1} al Océano Pacífico..

Se ha encontrado que hay un incremento en la concentración de microplásticos en los ríos después eventos de lluvia. Cheung et al. (2019) declararon que la abundancia de microplásticos en un río en Hong Kong después de un evento de lluvia de 3 días fue casi el doble de la abundancia observada en el mar costero superficial en la misma zona. Además, encontraron que las abundancias de microplásticas disminuyeron en más de 10 veces dentro de las 2 horas posteriores al evento de lluvia, lo que implica que la abundancia de microplásticos depende altamente de los escurrimientos pluviales. Yonkos et al. (2014) encontraron que las concentraciones de microplásticos más altas en tres de los cuatro ríos estuarinos muestreados en la Bahía de Chesapeake, EE. UU. fue poco después de los principales eventos de lluvia. Otros autores han informado una relación similar en el caso de suspensión total de sólidos y otros contaminantes en la escorrentía de aguas pluviales (Birch et al., 2004; Mijangos-Montiel et al., 2010; García-Flores et al., 2013; Wang et al., 2013). Una de las fuentes potenciales son los RDS que se han identificado como la fuente principal de metales y HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) en escurrimientos pluviales urbanos (Brown y Peake, 2006). Dehghani et al., (2017) encontró una concentración entre 88 y 605 microplásticos por 30 g en polvo seco de la carretera Calles de Teherán, Irán. En un estudio preliminar para evaluar la abundancia de microplásticos en RDS en Tijuana, la abundancia en una muestra fue de 1116 microplásticos por 50 g de RDS seco, 48% de estos microplásticos están en la fracción $> 287 \mu\text{m}$ (Wakida, comunicación personal).

2.4 Microplásticos en sedimentos de ríos.

Los ríos y afluentes urbanos han sido reconocidos como importantes rutas de transporte de microplásticos al medio marino. (Browne, 2007; Depledge et al., 2013; Ballent et al., 2016b; Piñon-Colin et al., 2020). Los microplásticos en los sedimentos dependen principalmente de las cargas de las fuentes de origen. (Ballent et al., 2016b).

Lechner et al. (2014) encontraron concentraciones de 900 partículas de microplásticos por 1000 metros cúbicos en 2010 y de 50 partículas de plásticos por cada 1,000 metros cúbicos en el 2012 en el Río Danubio austriaco. Klein et al. (2015) analizaron los sedimentos de los Ríos Rhine y Main en Alemania que tienen una influencia de uso de suelo industrial encontraron 228–3763 partículas kg^{-1} . En otro estudio de microplásticos en la cuenca del Río Gallatin (Montana, E.U.), el 57% de las muestras con una media de 1.2 partículas L^{-1} . En general las partículas identificadas fueron fibras 80%, entre 0.1mm y 1.5mm de largo (Barrows et al., 2018). Las aguas residuales y los centros de población son fuentes de contaminación

de microplásticos. En otro estudio de sedimentos se encontró un promedio de 66 partículas por 100 g de sedimento en la Cuenca del Río Támesis (Reino Unido), 91% eran fragmentos en un sitio y en los otros 3 sitios, el resto fueron fibras que derivaban de pinturas termoplásticas para marcar la superficie de la carretera. Los polímeros más comunes identificados incluyeron polipropileno, poliéster y poliarilsulfona (Horton et al., 2017).

2.5 Microplásticos en plantas tratadoras de aguas.

Los microplásticos están presentes en las descargas de las PTARs (Browne et al., 2011), pueden llegar a ser peligrosos debido a la adsorción de agentes dañinos como los farmacéuticos (Ziajahromi et al., 2017), metales pesados (Turner and Holmes, 2015) y contaminantes orgánicos persistentes (Bakir et al., 2014). Se han encontrado microesferas en pastas de dientes (Vieira et al., 2016), la pasta de dientes libera alrededor de 4000 microesferas (Carr et al., 2016). En un solo uso, un lavado exfoliante puede liberar 4500-94500 microperlas (Napper et al., 2015). Las partículas pueden pasar a través de los sistemas de filtración de las plantas tratadoras de aguas y transportarlos al océano por los ríos (Browne et al., 2010; Thompson, 2006).

Una de las principales fuentes de microplásticos en forma de fibras y microesferas en efluentes de las plantas tratadoras de agua residuales, son las aguas residuales del lavado de ropa. (Browne et al., 2011; Hoellein et al., 2017; McCormick et al., 2016; Habib et al., 1996; Zubris y Richards, 2005). Es estimado que los efluentes de las lavadoras generan concentraciones mayores de 1900 fibras por lavado (Browne et al., 2011). Dris et al. (2018) encontraron concentraciones más altas en efluentes de lavadoras en la ciudad de París (8850 y 35500 fibras L^{-1}) para mezclas de lavado de ropa hechas por fibras naturales y sintéticas. (Dris et al., 2018a). De Falco et al. (2018) estimaron que una carga de ropa de 5 kg hecha de fibra de poliéster produce alrededor de 6,000,000 de fibras, que corresponden a aproximadamente 8000 fibras L^{-1} , mientras que la tela acrílica libera 700000 fibras (Napper and Thompson, 2016). En Finlandia un estimado anual de 154,000 411,000 kg de fibras de poliéster y algodón se generan en lavadoras. (Sillanpaa y Sainio, 2017). En casa las fibras se pueden reducir utilizando suavizantes (De Falco et al., 2018), utilizando filtros en las descargas de agua de lavadoras ejemplo Filtron 160 por Wexco (Browne et al., 2011). La concentración de microplásticos en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, varía ampliamente de 0.3 a 14000 partículas L^{-1} (Lin et al., 2018; Mintenig et al., 2017).

La concentración de aguas residuales para plantas tratadoras de agua ha sido reportada entre 180 a 248 partículas L^{-1} (Talvitie et al., 2017; Talvitie et al., 2015; Leslie et al., 2017). Recientemente, Ramírez-Álvarez et al., (2020) encontraron en efluentes de la PTAR de Ensenada, México, abundancias de microplásticos entre 81 y 1556 MP/ m^3 , siendo las más predominantes en morfología las fibras que representaron el 65% de los microplásticos identificados. Del 83-95% de los microplásticos son eliminados por las PTARs (Dris et al., 2015a). La arena y la grasa atrapan hasta un 45% de microplásticos, la sedimentación retiene alrededor de 34% (Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Muchos microplásticos son removidos durante el tratamiento primario (78-98%), el tratamiento secundario (7 al 20%), el terciario no tiene efecto sobre las concentraciones de microplásticos (Carr et al., 2016; Murphy et al., 2016; Talvitie et al., 2017). Alrededor del 80% de los microplásticos se deposita en los lodos generados en las plantas tratadoras de aguas residuales, los cuales se pueden aplicar en campos de cultivos como fertilizante, pudiendo conducir a la contaminación terrestre (Browne et al., 2011; Talvitie et al., 2017; Zubris y Richards, 2005). La escorrentía de aguas pluviales también se ha identificado como una importante fuente de microplásticos para los ríos. En Nueva Orleans se ha reportado haber retirado 46 toneladas de cuentas de plástico de Mardi Gras de los desagües pluviales (REUTERS, 2018).

3. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 Características de la Cuenca del Río Tijuana, (CRT).

La CRT se encuentra entre la frontera internacional Baja California, México y California, EU abarca un área de 4,430 km², aproximadamente dos tercios se encuentran en México y un tercio en Estados Unidos (Figura 3.1). La CRT tiene dos principales tributarios. El río Alamar cuya fuente esta en Laguna Mountains en los Estados Unidos, donde es conocido como Cottonwood Creek, después se une al río Tecate antes de cruzar la frontera entre Estados Unidos Y México formando el río Alamar, El otro principal tributario es el arroyo de Las Palmas, el cual tiene sus orígenes en las montañas al este de la Presa Abelardo L. Rodríguez. Debido las condiciones climáticas semiáridas del mediterráneo, la mayoría de los ríos son intermitentes, con caudales máximos entre noviembre y abril. En la CRT hay cuatro presas: Morena y Barrett en la parte alta de la cuenca, en el Condado de San Diego, las cuales capturan agua de lluvia; la presa Carrizo al suroeste de Tecate, almacena agua proveniente del acueducto del Río Colorado; y la Presa Abelardo L. Rodríguez en el sureste de Tijuana, que almacena escurrimientos pluviales (Ganster, 2005). El Río Tijuana y sus afluentes en condiciones naturales solo conducen agua en época de lluvia, sin embargo, descargas de plantas tratadoras de aguas residuales en Tecate y Tijuana han generado una corriente perene en muchos tramos de la cuenca (Figura 3.2).

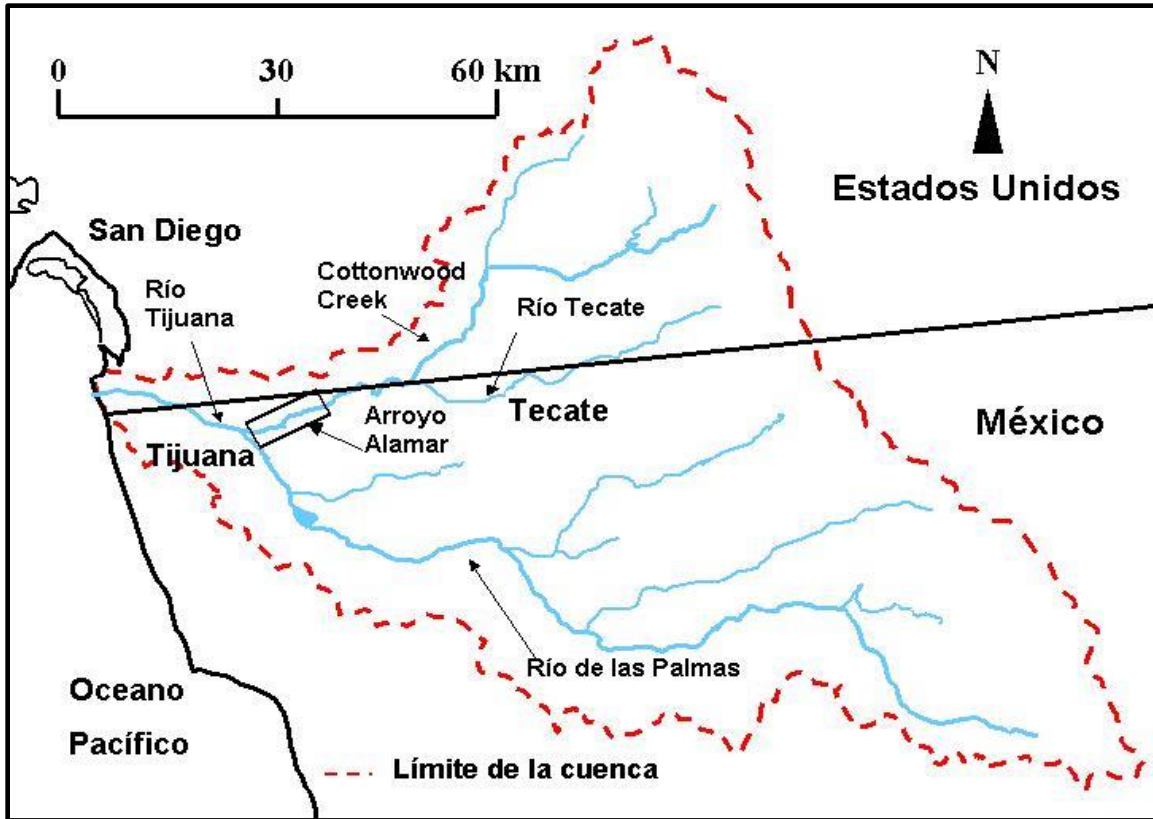


Figura 3.1 Cuenca del Río Tijuana.



Figura 3.2 Efluente de descarga de la Planta tratadora de agua de Tecate, que se une al Río Tecate.

3.2 Sitios de muestreo de escurrimientos pluviales.

El área de estudio se localiza en la parte Noroeste de México, en la ciudad de Tijuana (Figura 3.3). Esta se sitúa en la línea fronteriza entre Estados Unidos y México. La zona se caracteriza por tener un clima mediterráneo con veranos secos y calientes e inviernos húmedos. El 90% de la precipitación es entre octubre y marzo, con un promedio de precipitación de 200 mm y una temperatura media de 21°C (IMPLAN, 2010). Tijuana fue construida entre barrancos y mesetas, esto produce en algunas áreas flujos fuertes e inundaciones en algunas calles durante las tormentas. La parte central de la ciudad es el valle en donde se encuentra la canalización del Río Tijuana y en el norte de la ciudad está localizado un área alta en forma de mesa llamada Mesa de Otay (160 m arriba del nivel del mar), donde se encuentran localizados la mayoría de los sitios de muestreo. Gran parte de las industrias en Tijuana son de manufactura de dispositivos aeroespaciales, electrónicos, dispositivos de automóviles y médicos. Muchas de estas industrias por su régimen fiscal se encuentran en la categoría de “maquiladoras”, que son fábricas instaladas en México pertenecientes a empresas extranjeras, que fabrican sus productos en México y exportan la totalidad de sus productos al país de origen o a un tercer país, sin dejar alguna producción en México. El número de maquiladoras en Tijuana es la más altas en México con 603 maquiladoras (INEGI, 2019). En La Figura 3.4 se muestran los sitios de muestreo de este estudio.



Figura 3.3 Área de estudio.



Figura 3.4 Localización de los sitios de muestreo de los escurrimientos pluviales.

En la Tabla 3.1 se presentan las características generales de los sitios. El número de sitios de muestreo en cuanto a su uso de suelo fueron habitacional (2), habitacional y comercial (1), comercial (1) e industrial (1). El área de superficie y porcentaje de superficie permeable varía desde 3.8 a 175 ha y 8 a 25%, respectivamente. En la Figura 3.2 se muestra la localización de los sitios de muestreo. La mayoría de estos se encuentran ubicados en la denominada Mesa de Otay en la parte noreste de la ciudad.

3.1 Tabla de las características de los sitios de muestreo de escurrimientos pluviales.

Sitio	Área (ha) de la cuenca del sitio	% de superficie permeable	Promedio de la pendiente (%)	Uso de suelo	Coefficiente de escurrimiento.	Ubicación
Alta Brisa	13.9	17	3.2	Habitacional (alta densidad 63 por hectárea)	0.75	32°32'05.66''N 116°58'17.24''O
Parte Baja	3.8	25	12.2	Comercial y Habitacional (alta densidad 112 por hectárea)	0.8	32°31'44.80''N 116°59'32.91''O
Buena Vista	44.6	17	14	Habitacional (Densidad de población 64 por hectárea)	0.8	32°31'23.63''N 116°59'04.59''O
20 de noviembre	175	20	3	Comercial (densidad de población baja 27 por hectárea)	0.8	32°31'02.24''N 116°58'05.57''O
Industrial Otay	69.1	8	5.1	Industrial	0.8	32°31'40.50''N 116°54'48.00''O

A continuación, se describirán los sitios de muestreo de escurrimientos pluviales.

a) Altabrisa

El sitio de muestreo se encuentra en el Fraccionamiento Alta Brisa. El sitio se ubica atrás del Colegio Familia de Tijuana A.C. Las muestras se tomaron en la orilla de la Calle Elías Calles adyacente al Parque Otay Insurgentes cerca de un retorno de la misma calle. El sitio se encuentra en un área residencial de clase media, las calles se encuentran pavimentadas y presenta una inclinación ligera hacia el sitio de

muestreo de 3.2%. Sus coordenadas son $32^{\circ}32'05.66''\text{N}$, $116^{\circ}58'17.24''\text{O}$ con una altitud de 131 metros sobre el nivel del mar y tiene un área de cuenca de 13.9 hectáreas. En la Tabla 3.1 se puede apreciar más características a detalle del área de muestreo. Se observaron algunos comercios establecidos y ambulantes en la parte superior de la calle de la Independencia. En la estación de estiaje se apreció descargas ocasionales de aguas de lavado de ropa provenientes de las calles cercanas al sitio. En la Figura 3.5 se muestran el sitio de muestreo durante la lluvia y en la época de estiaje.



Figura 3.5. Sitio de muestreo Alta Brisa.

b) Parte Baja

El sitio de muestreo se encuentra localizado en la Colonia Río Parte Baja, en la esquina de las calles Rodolfo Gaona y Silvia de Maldonado. Sus coordenadas son $32^{\circ}31'44.80''\text{N}$, $116^{\circ}59'32.91''\text{O}$ con una altitud de 123 metros sobre el nivel del mar. Con un área de cuenca de aproximadamente de 3.8 hectáreas. Se encuentra en área con uso de suelo habitacional y comercial, se observan puestos de comida ambulantes al final de la calle. Tiene una pendiente de 12.2%. Además, semanalmente se instala un mercado sobre ruedas (tianguis en la zona de la cuenca), En la Figura 3.6 se muestra el sitio donde se colectó la muestra durante un evento de lluvia y en época de estiaje.



Figura 3.6 Sitio de muestreo Parte Baja.

c) Buena Vista.

El sitio se localiza en la esquina con el Bulevar De las Américas y la parte sur de la Calle Volcán de Toluca en la Colonia Buena Vista. Sus coordenadas son $32^{\circ}31'23.63''N$, $116^{\circ}59'04.59''O$ con una altitud de 67.7 metros sobre el nivel del mar. Las calles se encuentran pavimentadas con un uso de suelo habitacional de familias de bajos recursos y en la parte alta se instala una vez a la semana un mercado sobre ruedas (tianguis) al aire libre cada martes. Cuenta con una pendiente promedio de 14%. Con un área de cuenca de 44 ha. El sitio de muestreo se encuentra aproximadamente 10 metros en un canal pluvial que desemboca en un desarenador de la CESPT, este canal de concreto es paralelo a la calle Volcán de Toluca y recibe agua de la parte alta de la cuenca situada en la Colonia Tomas Aquino. Se observaron descargas de agua de lavado de las casas cercanas a la canalización en la estación de estiaje, así como basura tanto en el canal como en el desarenador. En la Figura 3.7 se puede observar el canal pluvial en el punto de muestreo, residuos sólidos urbanos y neumáticos de automóvil en el desarenador.



Figura 3.7 Sitio de muestreo Buena Vista.

d) 20 de noviembre.

El sitio de muestreo se localiza en la calle Baños de Agua Caliente, esquina con Avenida 20 de noviembre en la Colonia 20 de noviembre. Sus coordenadas son $32^{\circ}31'40.50''\text{N}$. $116^{\circ}54'48.00''\text{O}$ con una altitud aproximada de 44 metros sobre el nivel del mar. El área de cuenca de este sitio es el mayor de todos los demás sitios de muestreo, su área es 175 hectáreas. El sitio tiene un uso de suelo en su mayoría comercial. La muestra fue tomada de una abertura de un conducto pluvial cerrado. La calle es pavimentada pero donde se encuentra el sitio de muestreo es una zona de jardín a orillas de una avenida y las vías de ferrocarril. En la Figura 3.8 se observa el sitio de muestreo.



Figura 3.8 Sitio de muestreo 20 de noviembre.

e) Industrial Otay.

El sitio de muestreo se encuentra localizado en la zona industrial de la Mesa de Otay, cerca de la Colonia Murua, en la Calle Francisco I. Madero. Sus coordenadas son $32^{\circ}31'40.50''N$, $116^{\circ}54'48.00''O$ con una altitud aproximada de 68 metros sobre el nivel del mar. El sitio cuenta con un área de cuenca de 69.1 ha y tiene un uso de suelo industrial. El sitio de muestreo está ubicado en una calle de una pendiente alta (5%) al lado de industrias y una estación de distribución de gas. La muestra fue tomada directamente en la acera de la calle cerca de una reja de drenaje. Se observó que cuando llovía, las empresas aprovechaban para hacer descargas de agua residuales a la calle. En la Figura 3.9 se puede apreciar el sitio de muestreo.



Figura 3.9 Sitio de muestreo industrial Otay.

3.3 Descripción de sitios de muestreo en sedimentos y suelos.

El Río Tecate es uno de los principales tributarios del Río Tijuana, 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. En la Figura 3.10 se muestran los sitios de muestreo de sedimentos y suelo y en la Tabla 3.2 se da las características de dichos sitios de muestreo.

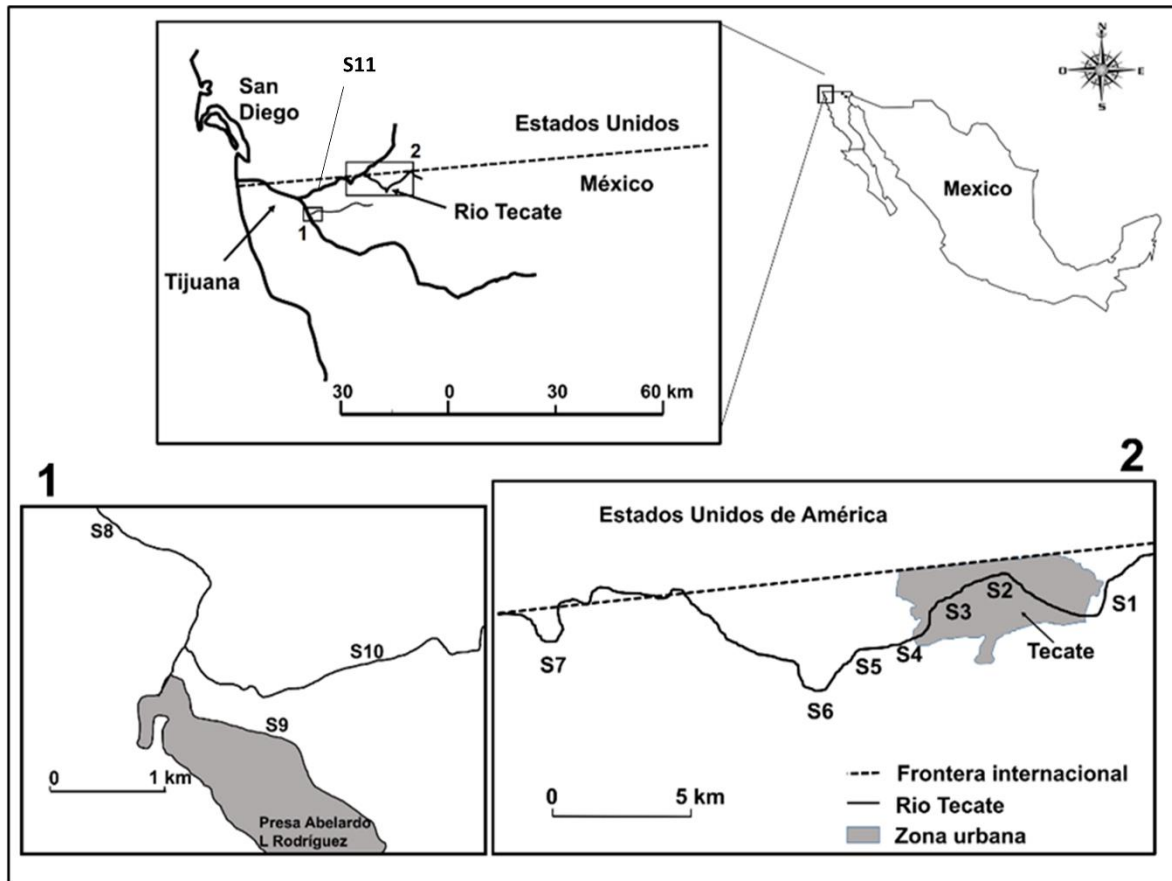


Figura 3.10 Mapa con los sitios del muestreo de sedimentos y suelos de la ribera de la CRT. S1 Rosales; S2 Estadio; S3 CEART; S4 PTAR; S5 La Puerta; S6 Ladrillera; S7 Los encinales; S8 canchas (beisbol); S9 Presa; S10 Cruz Roja; S11 Alamar.

Tabla 3.2 Descripción de los sitios de muestreo de sedimentos.

Ciudad	Sitio	Localización	Características del sitio.
Tecate	Los Rosales	32°33'49.17''N 116°34'4.95''O	El arroyo pasa por debajo de un puente, adyacente a este sitio se encuentra un vivero denominado Los Rosales, la muestra se tomó en la orilla de una corriente de aguas residuales.
Tecate	Estadio	32°34'14.49''N 116°37'31.10''O	El sitio se encuentra adyacente al estadio Manuel Ceseña. La muestra se tomó en el lecho seco del río.
Tecate	CEART	32°33'51.10''N 116°38'28.97''O	La muestra se tomó debajo de un puente, enfrente al Centro Estatal de las Artes Tecate. (Con flujo de agua de la PTAR de la Cervecería).
Tecate	PTAR	32°33'8.05''N 116°39'4.21''O	La muestra se tomó en lecho húmedo aproximadamente a 20m de la unión del efluente de la PTAR con el Río Tecate.
Tecate	La Puerta	32°32'47.70''N 116°40'25.93''O	La muestra se colectó debajo de un puente de la carretera federal Tijuana-Tecate, cercana al Rancho Tecate
Tecate	Las Ladrilleras	32°19'14.37''N 116°24'46.8''O	El sitio se encuentra en las cercanías de ladrilleras, en el sitio se observaron residuos sólidos urbanos y construcción en las cercanías del sitio. Sitio con mucha vegetación riparia.
Tecate	Los Encinos	32°33'1.59''N 116°47'55.73''O	La muestra se tomó en un lecho húmedo, en un pequeño cuerpo de agua, creado por los dueños del lugar, con el propósito de que el ganado tome agua.
Tijuana	Canchas	32°31'51.12''N 116°53'41.91''O	La muestra se tomó a la altura de unos campos de beisbol en la tercera etapa del Río Tijuana. Aguas debajo de la descarga de una planta tratadora de agua residuales.
Tijuana	La Presa	32°26'27.01''N 116°54'11.87''O	La muestra fue tomada en la rivera de la Presa Abelardo L. Rodríguez
Tijuana	Cruz Roja	32°26'51.45''N 116°53'6.92''O	Es una zona industrial, a un costado se encuentra la Av. De los Insurgentes, la muestra se tomó en la orilla del arroyo Florido.
Tijuana	Alamar		La muestra se tomó en las orillas del arroyo Alamar a la altura del Fracc. de Rivera del Bosque.

A continuación, se describirá con más detalle cada uno de los sitios de muestreo para sedimentos en este estudio.

a) Rosales.

El sitio se encuentra debajo de un puente de la carretera Tecate-Mexicali federal No 2, denominado Boulevard José María Morelos y Pavón. Al momento del muestreo el cauce se encontraba seco, pero en visitas posteriores se observó una corriente de aguas residuales proveniente de desarrollos habitacionales aguas arriba. El sitio tiene una altitud de 559 metros sobre el nivel del mar y la textura del sedimento era de arena gruesa con un diámetro medio de 0.60 mm (Tabla 5.9). En la Figura 3.11 se puede observar el sitio de muestreo visto desde el puente.



Figura 3.11 Sitio de muestreo Los Rosales S1.

b) Estadio.

El sitio se encuentra a un costado del puente localizado en el Bulevard Universidad, a un costado del estadio Manuel Ceseña, el cauce del río estaba seco al momento del muestreo. La altitud del sitio es de aproximadamente es de 514 m sobre el nivel del mar y la textura de los sedimentos es arena gruesa con diámetro medio de 0.68 mm (Tabla 5.9), al momento del muestreo no se observó vegetación riparia y poca basura. La Figura 3.12 se muestra el sitio de muestreo desde el puente.



Figura 3.12 Sitio de muestreo Estadio S2.

c) Centro Estatal de las Artes Tecate (CEART).

La muestra se colectó debajo del puente sobre el Bulevar Federico Benítez y adyacente al CEART. En el sitio se observa ya una corriente de agua de la descarga de agua de la PTAR de la planta cervecera de Tecate. En el sitio no se observó basura. Se encuentra aproximadamente a una altitud de 501 metros sobre el nivel del mar y la textura de los sedimentos y suelo es de arena gruesa con un diámetro promedio de 0.78 mm (Tabla 5.9). La Figura 3.13 se puede observar el sitio de muestreo.



Figura 3.13 Sitio de muestreo CEART S3.

d) Planta Tratadora de aguas residuales Tecate (PTAR).

El sitio se encuentra 20 metros aguas abajo de la descarga de la PTAR de la ciudad de Tecate. El sitio está rodeado de zona habitacional de clase media baja y al momento del muestreo se observó basura en los alrededores. El sitio tiene una altitud de 490 metros sobre el nivel del mar y su textura es de arena gruesa con un diámetro promedio de partícula de 0.86 mm (Tabla 5.9). La Figura 3.14 muestra el sitio de muestreo.



Figura 3.14 Sitio de muestreo PTAR S4.

e) La Puerta.

Este sitio está localizado al este de la ciudad, sobre la carretera Tecate-Tijuana abajo del puente en el lugar denominado Rancho La Puerta (Figura 3.15). La altitud es de 477 metros y es una zona suburbana con características de alta erosión y flujo constante de tráfico, además de que se cuenta adyacente a un abarrote.



Figura 3.15 Sitio de muestreo La Puerta S5.

f) Las ladrilleras.

El sitio se encuentra aproximadamente a 3 km al oeste de Tecate unos 2 km al oeste del sitio de la Puerta. Se encuentra en una zona suburbana y la característica principal es que se encuentra a unos 200 m de una ladrillera. En el sitio abunda la vegetación riparia y no se observó basura en el cauce. El sitio se encuentra a una altitud de 428 metros y la textura del sedimento es arena fina con un diámetro de partícula 0.39 mm. La Figura 3.16 muestra algunas imágenes del sitio de muestro.



Figura 3.16 Sitio de muestreo Las Ladrilleras S6.

g) Los Encinales.

El sitio se encuentra localizado sobre el kilómetro 141 de la carretera Tecate-Tijuana, llamado así por el número de estos árboles existentes en este sitio. Para llegar a esta ubicación se tiene que caminar unos 50 metros al norte de la carretera. En el sitio se encuentra gran cantidad de ganado. Su altitud es de 210 metros. La textura del sedimento colectado fue de arena fina limosa y un diámetro promedio 0.60 mm. La Figura 3.17 muestra el sitio de muestreo.



Figura 3.17 Sitio de muestreo Los Encinales S7.

h) Canchas de beisbol.

El sitio se encuentra ubicado cerca de unos campos de beisbol en la tercera etapa del Río Tijuana. Aproximadamente 400 m aguas debajo de la descarga de la PTAR Arturo Herrera. Se observó gran cantidad de residuos sólidos urbanos. Este sitio se encuentra a 66 metros de altitud y la textura del sedimento fue de arena fina con un diámetro promedio de 0.38 mm. A continuación, se muestra la Figura 3.18 del sitio.



Figura 3.18 Sitio de muestreo Las Canchas S8.

i) La Presa.

El sitio se ubica en la Presa Abelardo L. Rodríguez en la parte norte de la misma, aproximadamente 600 metros al este de la cortina de la presa. Su altitud aproximada del sitio de muestreo es aproximadamente 90 metros sobre el nivel del mar y la textura del sedimento en ese sitio era gravilla arenosa. En seguida se muestra la Figura 3.19 del lugar del muestreo



Figura 3.19 Sitio de muestreo La Presa S9, cuando la muestra fue tomada, el nivel de la presa era menor y la muestra se tomó de los sedimentos en la orilla.

j) La Cruz Roja.

El sitio se ubica en una zona industrial, a un costado se encuentra la Av. De los Insurgentes. La muestra se tomó en un tramo que no está revestido del Arroyo el Carrizo. La altura del sitio es de 105 metros y la textura del sedimento es arena fina con un diámetro promedio de partícula de 0.32 mm. En la Figura 3.20 se observa el sitio de muestreo.



Figura 3.20 Sitio de muestreo Cruz Roja S10.

k) Alamar.

El sitio se ubica a la altura del conjunto habitacional Ribera del Bosque, alrededor del sitio del muestreo se observó una gran cantidad de residuos sólidos urbanos, así como de residuos de muebles, entre otros. La altitud del sitio es aproximada de 73 metros sobre el nivel del mar y la textura del sedimento es arena fina con un tamaño de partícula de 0.22 mm. En la Figura 3.21 se muestra el sitio Alamar.



Figura 3.21 Sitio de muestreo S Alamar.

4 METODOLOGÍA.

4.1 Muestreo.

4.1.1 Esgurrimientos pluviales.

Siete eventos de lluvias fueron muestreados entre noviembre 2017 y abril 2018 en cinco sitios de la ciudad de Tijuana (Figura 3.2). Estos sitios fueron localizados en áreas con diferente tipo de uso de suelo. Tres de ellos con uso de suelo residencial, uno con predominancia de uso de suelo comercial y el último uso de suelo industrial. Las características de los eventos de lluvia y de los sitios muestreados se muestran en la Tabla 3.1 y 4.1, respectivamente. En cada sitio al menos tres muestras fueron colectadas en contenedores de vidrio de 1 L (Figura 4.1), estas muestras fueron colectadas al principio de cada evento de lluvia y aproximadamente de 10-30 minutos después de que la primera muestra fue colectada. Un total de 94 muestras recolectadas. Las muestras se tomaron con un recipiente metálico, que se enjuagó tres veces con la escurrentía antes de tomar las muestras. Las muestras fueron una combinación de sedimento y agua debido a la fuerza de las corrientes de escurrentía (turbidez del agua) en las calles o desagües pluviales. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en hieleras para su análisis. Todos los envases de vidrio se enjuagaron tres veces. Con agua desionizada, filtrada y cerrada para evitar la contaminación por microplásticos Se filtraron tres muestras de agua enjuagada utilizando un filtro de fibra de vidrio (Whatman 696) para garantizar la no presencia de microplásticos en los envases de vidrio, encontrando un promedio <3 microplásticos por lavado.

Todos los sitios de muestreo están ubicados en o cerca de un punto aguas debajo de una calle de alta densidad de tráfico (< 15000 vehículos por día). Sin embargo, a excepción del sitio de Altabrisa. Donde no hay calles de alta densidad de tráfico en su área de cuenca, el resto de los sitios tienen una avenida de alta densidad de tráfico (> 15000 vehículos por día) en su área de cuenca (Quiñonez-Plaza et al. 2017). Por ejemplo, hay dos avenidas de alta densidad de tráfico en el área de la cuenca del sitio 20 de noviembre, una carretera con aproximadamente 40000 vehículos por día y la otra con 23000 vehículos por día. El sitio industrial de Otay, tiene una avenida de alta densidad de tráfico en su cuenca (51400 vehículos por día), y los sitios de Buena Vista y Parte Baja tienen una avenida con aproximadamente 15500 vehículos por día (IMPLAN, 2019).

Tabla 4.1 Características de los eventos de lluvia muestreados.

Evento de lluvia	Fecha (mes-día-año)	Total de lluvia (mm).	Días secos previos al evento de lluvia (días)
1	11-07-2017	9	183
2	01-08-2018	1.7	61
3	02-14-2018	3.9	36
4	02-27-2018	7.2	12
5	03-03-2018	1.4	3
6	03-17-2018	7	13
7	04-30-2018	0.6	43

Fuente: Weather Underground (2018)



Figura 4.1 Muestras de escurrimientos pluviales.

4.1.2 Sedimentos y suelos de la ribera en la CRT.

Se tomaron dos muestras compuestas para sedimentos en cada sitio (n=22) y de la misma manera, dos muestras compuestas de suelo adyacente a la corriente en cada sitio de muestreo (n=22). Las muestras de suelo fueron tomadas en dos secciones de 10 m a menos de 1 m de la orilla en la que se tomaron múltiples muestras de 3 cm de profundidad por 5 cm x 5 cm hasta coleccionar aproximadamente 2 kg peso húmedo. En cuanto a las muestras de sedimentos, estas fueron tomadas a una profundidad aproximada de 5 cm, en varios puntos de las secciones de 10 m en el centro de la corriente.

Se muestrearon 8 sitios en la vertiente Río Tecate–Alamar (Los Rosales, Estadio, CEART, PTAR, La Puerta, Encinos, Alamar y Ladrillera), y tres en la vertiente Río Tijuana- Las Palmas (Canchas, La Presa, Cruz roja, Las canchas de beisbol).

4.2 Método extracción de microplásticos en muestras de escurrimientos pluviales.

La separación de los microplásticos de escurrimientos pluviales se realizó de la siguiente manera:

- 1.- Se hace pasar la muestra de 1L por un tamiz de tamaño de malla de 25 μm (0.010 pulgadas).
- 2.- El tamiz es lavado con agua desionizada (filtrada con 25 μm), se recoge el filtrado del tamiz con el agua de lavado, es contenido en un vaso de precipitado aproximadamente 100ml.
- 3.- El agua de lavado es filtrada a través de vacío, con un filtro de fibra de vidrio 696 (retención de partículas finas) y se hace 3 lavados o extracciones de los lodos, (con una solución de 120g L⁻¹ de NaCl) se llevó a cabo agitando la muestra y dejándola reposar para separar el sobrenadante por decantación, si no hay lodos, se pasa todo al filtro de fibra de vidrio directamente. (En las muestras en las que se observaba una gran cantidad de sedimentos (debido a la turbidez del agua, las muestras se hacían reposar toda la noche, y por decantación se filtraba el sobrenadante utilizando el método descrito anteriormente).
- 4.- El filtro se seca a 30°C toda la noche y se cuantifican las formas por medio de un estereoscopio óptico.
- 5.- El conteo visual fue llevado a cabo utilizando un microscopio estereoscópico óptico (Motic Digital Microscope DM143, NTSCe Sistema con lente W10 $\times$ 20). La partícula más pequeña detectada en este

estudio fue una partícula de 0.2mm. Se seleccionan las partículas con sus diferentes formas y colores para aislarlas e identificarlas con el apoyo de la Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier y Reflexión Total Atenuada. Los microplásticos se clasificaron en función de su forma como fibra, esferas, fragmentos y películas (Piñon-Colin et al., 2020).

Se realizaron tres extracciones en un blanco, lo que resultó en una abundancia de los microplásticos de fondo de tres fibras, la mayoría de las cuales eran fibras azules.

4.3 Método de extracción de microplásticos en sedimentos y suelos

1. Un kilogramo de muestra de sedimento o suelo es secado 24 h. A 40°C y tamizada con un tamiz < 1mm tamaño partícula y se transfiere a un recipiente de 2 litros de vidrio.
2. Se agrega 2 L de solución salina saturada (120 g de NaCl por litro).
3. Se agita por 15 minutos.
4. Se deja reposar por 1hr o toda la noche si se encuentra con turbidez (en este caso de estudio se deja reposar toda la noche).
5. El líquido se hace pasar por un tamiz de 25µm.
6. Al filtrado se hacen 3 extracciones (con agua destilada previamente filtrada con el mismo tamaño de tamiz aproximadamente 100ml se deja reposar para que sedimente la tierra 5 min.)
7. Se pasa a través de un mismo filtro de fibra de vidrio las 3 extracciones para partículas finas.
8. El filtro de fibra de vidrio con el filtrado final es colocado en el horno para secarse a 40°C durante 24hrs. Para eliminar humedad en la muestra y se procede a colocarla en placas de vidrio (previamente lavadas y enjuagas con agua destilada filtrada con tamiz de 25 micrómetros y puestos toda la noche en el horno para su secado y esterilización. Todo esto para eliminar riesgo de contaminación por fibras).
9. Se analizan las formas con un microscopio óptico binocular (W10 x 20). Y se identifica mediante E. infrarrojo (FTIR con ATR).

4.4 Identificación de microplásticos por medio espectroscopía FTIR ATR

La técnica de espectroscopía de infrarrojo permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto. Esto debido a que cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, la vibración intramolecular con frecuencia igual a la de la radiación, aumenta en intensidad, lo que genera señales con frecuencias que corresponden a la vibración de un enlace específico.

FTIR ATR (Reflexión Total Atenuada) es una técnica de análisis utilizada en el IR, la cual se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR transmisor y de alto índice de refracción. El cristal está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente sobre la superficie del cristal. Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en contacto íntimo con el cristal, registrándose el espectro de infrarrojo del analito.

Se realizó el análisis de espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier y reflexión total atenuada con 16 barridos y una resolución de 1.5 cm^{-1} con espectroscopia infrarrojo FTR-ATR. Se realizaron 35 espectros para las diferentes formas y colores encontrados.

5 RESULTADOS.

5.1 Microplásticos en escurrimientos pluviales.

5.1.1 Abundancia de los microplásticos en escurrimientos pluviales.

Los datos estadísticos de las abundancias de los microplásticos encontradas en muestras de escurrimientos pluviales se muestran en Tabla 5.1. Las medianas de las abundancias de microplásticos más altas se observaron en primer lugar en el sitio industrial Otay, sitio con uso de suelo industrial con 191 partículas L^{-1} , la mayoría de la superficie son calles con pendientes pronunciadas. Esto en concordancia con un estudio reciente realizado por Townsend et al., (2019) que declaró que las concentraciones de microplásticos en los sedimentos de los humedales urbanos en Melbourne, Australia se correlacionó con el porcentaje de área de uso de suelo industrial. La segunda mayor abundancia de microplásticos fue en un sitio con uso de suelo residencial llamado Altabrisa con una mediana de 190 partículas L^{-1} . Se observó que efluentes de lavadoras se descargan en las calles ubicadas en la cuenca de drenaje de este sitio durante la estación seca. Es una costumbre de algunas personas en México descargar agua de lavado de ropa en las calles, incluso cuando se cuenta con un sistema de drenaje sanitario. En tercer lugar, se encontró el sitio Parte Baja con una mediana de 131 partículas L^{-1} , y un uso de suelo habitacional y comercial, se observan puestos de comida ambulantes al final de la calle.

Se observó una gran dispersión en los valores de abundancia de microplásticos en todos los sitios, especialmente en los sitios de Altabrisa y Otay industrial. Esta variabilidad en abundancia puede ser el resultado de muchos factores, como el número y tipo de fuentes de microplásticos en la cuenca, cantidad e intensidad de lluvia y topografía del sitio. Por ejemplo, en el de Buena Vista cada semana, se instalan dos mercados callejeros en la parte superior de su cuenca, que manejan muchos productos de plástico y ropa de segunda mano, los cuales pueden contribuir a una mayor abundancia de microplásticos en la escorrentía pluvial de este sitio.

Tabla 5.1 Resultados estadísticos de los muestreos para escurrimientos pluviales.

Sitio	Número de muestras (n)	Media Partículas L^{-1}	Desviación estándar Σ	Mediana Partículas L^{-1}	Mínimo Partículas L^{-1}	Máximo Partículas L^{-1}
Altabrisa	19	186	101	190	63	256
Parte Baja	16	128	75	131	89	244
Buena Vista	20	275	549	60	18	1394
Industrial	19	180	104	191	50	289
Otay						
20 de nov.	19	88	42	84	18	139

La Tabla 5.2 y 5.3 muestra la abundancia de microplásticos reportados para ríos, tratamiento de aguas residuales plantas (PTAR) y escurrimientos pluviales. Los datos muestran que la abundancia de los microplásticos en escurrimientos pluviales en nuestra área de estudio es mayor que la abundancia de los microplásticos encontrada en París, Francia. Se espera que la concentración de contaminantes en la esorrentía de aguas pluviales en regiones semiáridas sea más alta que en áreas húmedas porque el período seco entre los eventos de lluvias es más largo (días sin llover), que puede aumentar la acumulación de contaminantes en la calle durante los eventos de lluvia debido al lavado de los mismos (Gautam et al., 2010). Otra razón de las mayores abundancias de los microplásticos en nuestro estudio que en los otros estudios, se puede deber a la falta de limpieza regular de calles y carreteras. Esto lleva a la presencia o acumulación de residuos plásticos que eventualmente se descomponen en fragmentos plásticos más pequeños, aumentando las concentraciones de los microplásticos en las carreteras y calles, que son transportados por la esorrentía en eventos de lluvia.

Tabla 5.2 Concentraciones de microplásticos encontradas en estudios de ríos internacionales.

Localización	Método de muestreo	Número de muestra, n	Abundancia	Unidades	Referencia
Río Marne en Francia	Red, malla 80 0.2-4 m ³	5	0.0057-0.398 (0.100)	Fibras L ⁻¹	(Dris et al., 2018, Dris et al., 2015)
Río Sena en Francia	Red, malla 80	19	3-108	Partículas·m ⁻³	(Dris et al., 2015)
Río Perla en China	Muestra de agua 60L, filtrado con 0.02mm	14 sitios	379-7924 (2724)	Partículas·m ⁻³	(Lin et al., 2018)
Los Angeles Ríos, Coyote Creek and San Gabriel California, USA.	Redes de mano (0.46 x 0.25 m) y red de arrastre de manta (0.9 x 0.15), malla de 0.333 a 0.800 µm	27 muestras fueron tomado en tres fechas de muestreo	1 -12932	Partículas m ⁻³	(Moore et al., 2011)
Estuario del río Yangtze China	Muestra de agua, red 0.032mm	14	500-10200 (4137)	Partículas m ⁻³	(Zhao et al., 2015)
Rio Danubio, Austria y checo	Redes de deriva cónicas estacionarias (0.5 m de diámetro, 1.5 m de largo, Malla de 500 µm)	No especificado, Tres a cuatro sitios de muestreo	En 2010, promedio 0.938 En 2012, 0.055	Partículas m ⁻³	(Lechner et al., 2014)
North Shore Channel, Chicago, Illinois. Estados Unidos	Redes de Neuston (0.92 × 0.42 m y 0.36 × 0.41 m) de 333 µm tamaño de malla	8 muestras (4 aguas arriba y 4 aguas abajo de una PTAR)	1.94 aguas arriba a PTAR 17,93 aguas abajo la PTAR	Partículas·m ⁻³	(McCormick et al., 2016)
Tributarios de los Grandes Lagos, Estados Unidos	Red Neuston (100 cm x 40 cm, 1.5 m de largo), malla de 333 µm	107 muestras de 29 afluentes	0.5–32	Particles·m ⁻³	(Baldwin, Corsi, and Mason, 2016)

Tabla 5.3 Concentraciones de microplásticos encontradas en los influentes y efluentes de las plantas tratadoras de aguas internacionales.

Efluentes de las plantas tratadoras de agua.					
Paris, Francia	Muestreador automático. Volumen muestreado 0.2 - 1.5L	3	14-50 6x10 ⁻⁵ - 3x10 ⁻⁴	Fibras L ⁻¹ Fragmentos L ⁻¹	(Dris et al., 2018)
Finlandia	Volumen filtrado (0.3 L de influyente y entre 2 a 285 L de efluente)	6 muestras por influyente y efluente	610 (180 fibras y 430 partículas influyente 13.5 (4.9 fibras y 8.6 partículas) Efluente	Partículas L ⁻¹	(Talvitie et al., 2015)
Guangzhou, China	Muestra de agua (15 L)	n=2 por cada planta	0.5-4.2 influyente 0.3-2.7 efluente	Partículas L ⁻¹	(Lin et al., 2018)
Países Bajos	Muestra aleatoria (2 L) de siete efluentes de PTAR	36	68-910 L ⁻¹ influyente 51-81 L ⁻¹ efluente	Microplásticos L ⁻¹	(Leslie et al., 2017)
Alemania	Bombeo de muestreo a través de un filtro de cartucho de acero inoxidable de 10 µm	12 PTAR efluente	0 -0.040 0.080 – 9.0 0.10-5.0	Mp >500 µm L ⁻¹ Mp <500 µm L ⁻¹ Fibras L ⁻¹ Mp L ⁻¹	(Mintenig et al., 2017)
Estados Unidos de América	Muestreo de la bomba a través de tamices Tyler con un caudal (12-18 L min ⁻¹ , 2 - 24 h)	90 muestras de 17 PTAR a través de los EE. UU.	0.004-0.195 (0.05 ± 0.024)		(Mason et al., 2016)
Escurrimientos pluviales					
Paris, Francia	Muestreador automático. Volumen 0.2 - 1.5 L	5 eventos de Lluvia muestreados	24-60 (40) <2	Fibras L ⁻¹ Fragmentos L ⁻¹	(Dris et al., 2018)
Dinamarca	Bombeo de muestreo con un dispositivo de filtrado de malla de acero inoxidable de 10 µm	7 se tomaron muestras del estanque de retención de aguas pluviales	0.49-22.9	Partículas L ⁻¹	(Liu et al., 2019)
Tijuana, Mexico	Muestras al azar (1 L)	7 eventos de lluvia, 5 sitios de muestreo n=35, triplicados	88 -275	Partículas L ⁻¹	(Piñon-Colin et al., 2020)This study

Mp, microplásticos.

5.1.2 Carga de los microplásticos en muestras de escurrimientos pluviales.

Las cargas de los microplásticos en escurrimientos pluviales se calcularon en base a la ecuación:

$$L = 10000 \times P \times RC \times 1000 \times SMA$$

Donde L es la carga de los microplásticos en partículas ha^{-1} , P es la profundidad de la lluvia en m, RC es coeficiente de escurrimiento y SMA es la abundancia media del sitio de los microplásticos en partículas m^{-3} . El RC utilizado es aquel estimado por Winckell y Le Page (2003) de 0.8 en las cuencas urbanas de Tijuana.

Las medianas de las cargas de los microplásticos para los diferentes eventos de lluvia y los sitios muestreados se muestran en las Figuras 5.1 y 5.2 a la respectivamente. Cabe señalar que en el primer evento de lluvia solo dos sitios fueron muestreados (Buena Vista y Altabrisa). La Figura 5.1 muestra que las cargas de microplásticos más altos se observaron en los eventos de lluvia con mayor precipitación (eventos de lluvia 1, 4 y 6), mostrando una relación directa entre la precipitación y la carga de los microplásticos en escurrimientos pluviales.

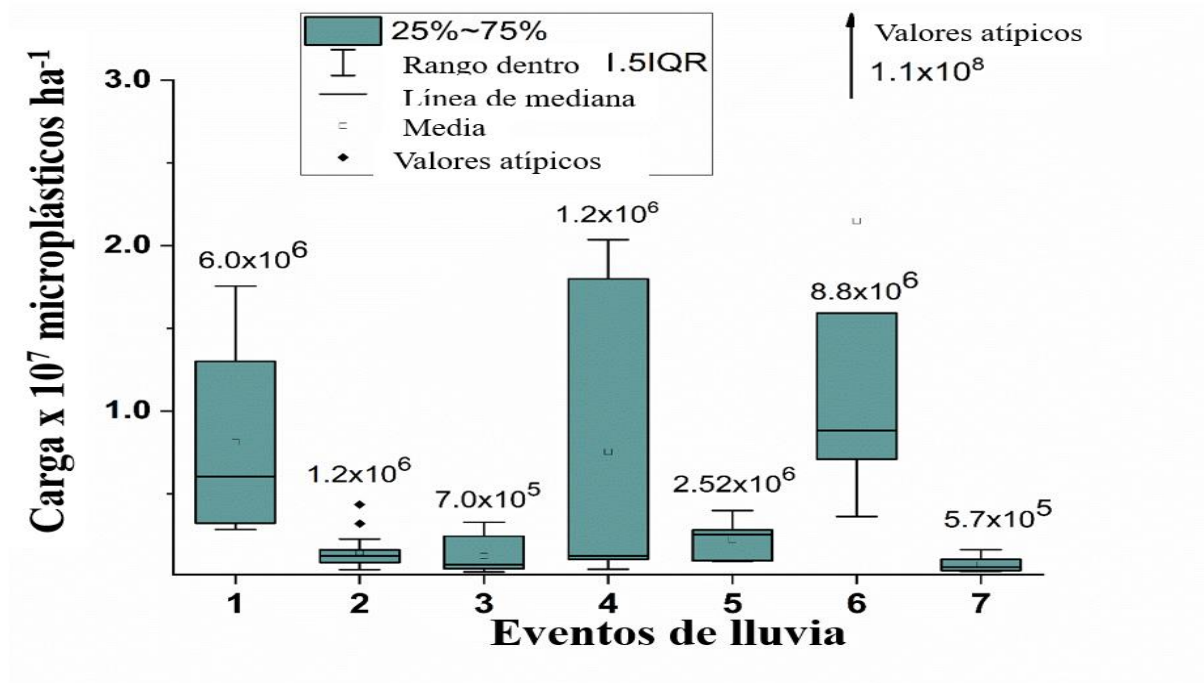


Figura 5.1 Carga de microplásticos por evento de lluvia.

La Figura 5.2 muestra las medianas de las abundancias por sitio de muestreo. La mediana de la carga de microplásticos más alta se observó en el sitio de uso de suelo industrial de Otay con un carga media de 3×10^6 microplásticos ha^{-1} . La segunda carga más alta fue en el sitio de Altabrisa con 2.8×10^6 microplásticos ha^{-1} , que tiene uso de suelo residencial. Como mencionamos antes, se observó que algunas personas descargan aguas residuales de lavado de ropa en la calle. Por otra parte, los autores observaron durante el muestreo que algunas instalaciones industriales aprovecharon la lluvia para descargar a las calles aguas residuales industriales de composición desconocida. Esta actividad puede contribuir a la abundancia de microplásticos en la calle, especialmente fibras, que son arrastradas por la escorrentía en eventos de lluvia. Kataoka et al. (2019) encontraron una correlación significativa entre la abundancia de microplásticos en un río en Japón y la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, nitrógeno total y fósforo total.

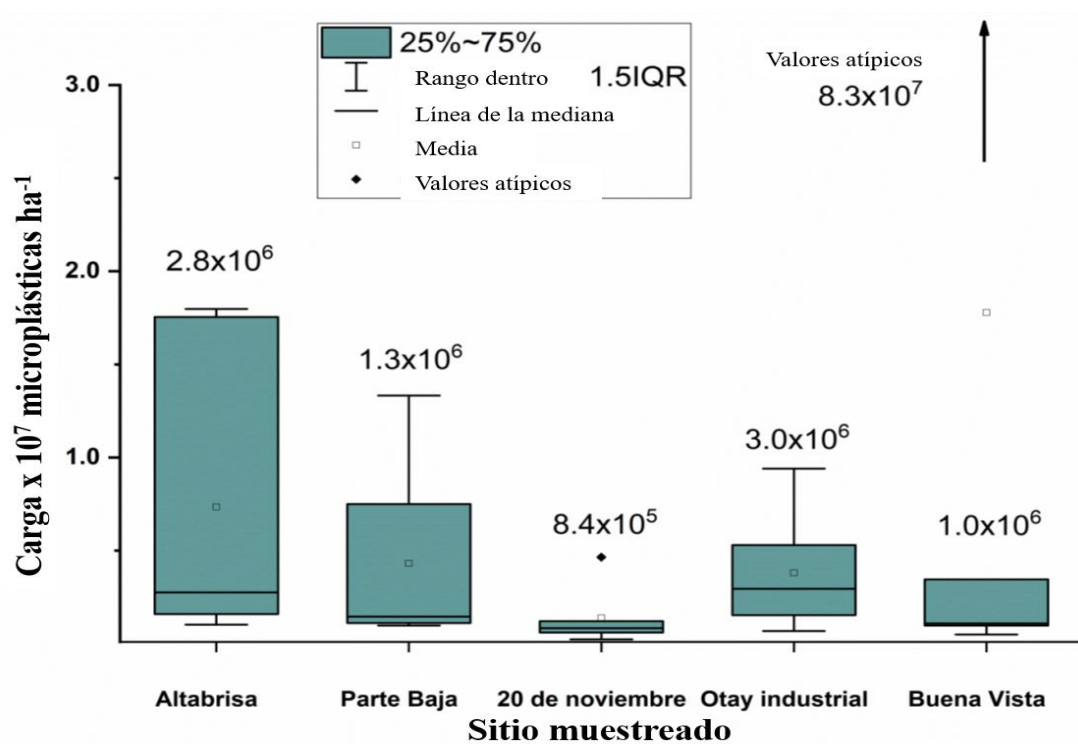


Figura 5.2 Cargas de microplásticos por sitio muestreado.

Esto implica que las áreas sin drenaje sanitario son fuentes importantes de microplásticos en ríos, y en eventos de alta precipitación cantidades de microplásticos llegaron a los ríos desde esta fuente no puntual de contaminación. El sitio de Buena Vista fue el único sitio muestreado que todavía tiene áreas sin drenaje sanitario que contribuyen a la abundancia de los microplásticos. Otra fuente potencial importante puede ser el desbordamiento de alcantarillado que se produce cuando el drenaje combinado de la ciudad no puede hacer frente al volumen adicional durante los eventos de alta precipitación. Las aguas residuales se pueden mezclar los escurrimientos pluviales aumentando los microplásticos en su abundancia, especialmente fibras. La cantidad total de microplásticos para cada muestreo fue determinada por el producto de la carga de los microplásticos, el área de la cuenca, y sumando las cantidades microplásticas de cada evento de muestreo. La cantidad anual de microplásticos liberados en los sitios muestreados en el período de muestreo varió de 1.8×10^7 microplásticos ha^{-1} a 1.5×10^9 microplásticos ha^{-1} . Estas cantidades de microplásticos son comparable a los valores de microplásticos liberados anualmente por las plantas tratadoras de aguas residuales reportadas en otros estudios (Mason et al., 2016; Löder et al., 2017). Sin embargo, el volumen anual total de efluentes de estas PTARs puede estar entre 5 y 10000- veces mayor que el volumen máximo calculado para los sitios de muestreo en este estudio y los microplásticos liberados por las PTAR dependen de la demografía y otros hábitos de la población conectada a esta red de drenaje sanitario. Además, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden reducir la concentración de microplásticos entre 95 y 98% (Carr et al., 2016), mientras tanto la escorrentía urbana no está sujeta a ningún tratamiento.

Mintenig et al. (2017) utilizaron el flujo de salida anual de una PTAR para calcular descargas anuales totales entre 9×10^7 y 4×10^9 microplásticos. En otro estudio en 19 PTAR's en los Estados Unidos, Mason et al., (2016) estimaron descargas anuales entre 1.97×10^7 y 5.44×10^9 microplásticos L^{-1} .

5.1.3 Morfología y composición química de los microplásticos en escurrimientos pluviales con la técnica FTIR-ATR.

La Figura 5.3 muestra el porcentaje de formas encontradas en los sitios de muestreo y la Figura 5.4 muestra algunos ejemplos de los microplásticos encontrados en las muestras. Estas formas se clasifican como fibras, fragmentos, películas y esferas. Las fibras fueron la forma más abundante encontrada en los

cinco sitios de muestreo, con porcentajes que oscilan entre 68 y 87%, el segundo más abundante fueron los fragmentos con un porcentaje entre 5 y 25%. Se encontraron bajos porcentajes de películas y esferas fueron encontrados, con rangos entre 4 y 8% y 0.4 y 4%, respectivamente. Esto en concordancia con el estudio realizado por (Kay et al., 2018), que encontró que las fibras, fragmentos y las películas eran las formas dominantes en una cuenca fluvial en el norte de Inglaterra que recibió efluentes de PTAR y cuyos usos del suelo son en parte urbanos. Del mismo modo, un estudio realizado en el Río Pearl, China (Lin et al., 2018), tomó muestras de agua superficial y sedimentos en áreas urbanizadas del río, encontrando que las fibras eran la forma más abundante en ambas matrices ambientales. Las proporciones de fibras, fragmentos y películas fueron 80.9%, 18.9% y 2.2%, respectivamente. Además, Dris et al., 2018 encontraron concentraciones de fibra entre 24 y 60 fibras L^{-1} en escurrimientos pluviales urbanos y 40 fibras L^{-1} en la precipitación en París. También encontraron que el número de fibras era sistemáticamente mayor que el número de fragmentos en las muestras analizadas. Las fibras en este estudio incluyeron poliamidas de tipo nylon, polietileno, tereftalato de polietileno y propileno.

El alto porcentaje de fibras implica que la descomposición de los textiles es una fuente clave, probablemente como resultado de los efluentes de lavadoras descargados a la calle o desagües pluviales, mientras la presencia de fragmentos implica que los microplásticos secundarios también son fuentes importantes de microplásticos en la escorrentía urbana en los sitios muestreados. Sesenta y ocho muestras de microplásticos fueron analizadas usando FTIR-ATR; el análisis abarcó diferentes morfologías de los microplásticos (forma y color). El porcentaje, la morfología y el color de los microplásticos analizados se muestran en la Tabla 5.4 Esta muestra abarca aproximadamente el 1.4% del total de microplásticos contados (4987 microplásticos). Algunos ejemplos de los espectros infrarrojos de los microplásticos analizados se muestran en la información suplementaria.

Se identificaron cinco polímeros principales, el polietileno (PE) es el polímero más común, que comprende el 45,2% de las muestras analizadas. El segundo polímero más abundante encontrado fue poliestireno (PS) con 27.4%, seguido de poliamida (nylon) (PA), con 16.1%, tereftalato de polietileno (PET) con 8.1% y propileno (PP) con 3.2%.

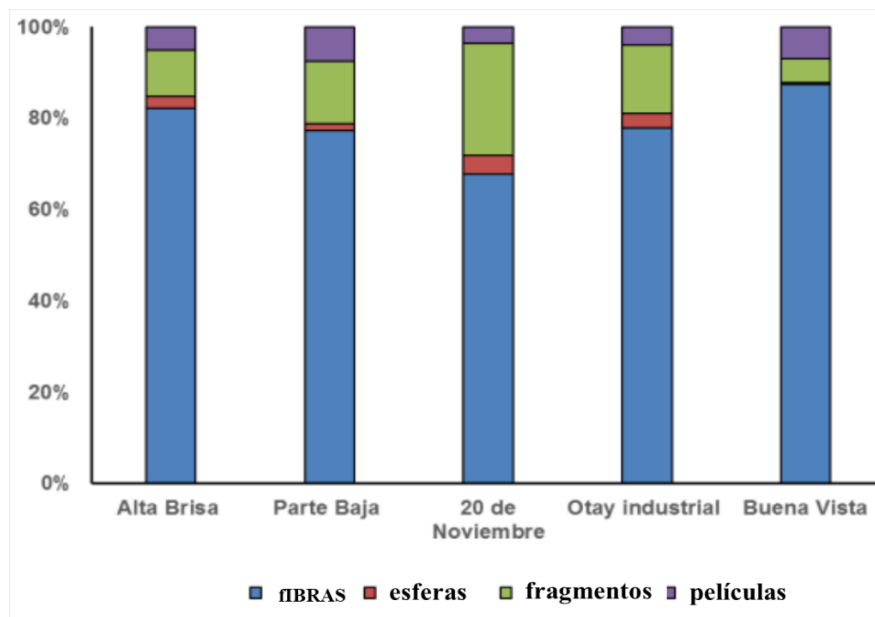


Figura 5.3 Gráfica de los porcentajes de formas para los microplásticos de las muestras de escurrimientos pluviales de los 5 sitios muestreados.

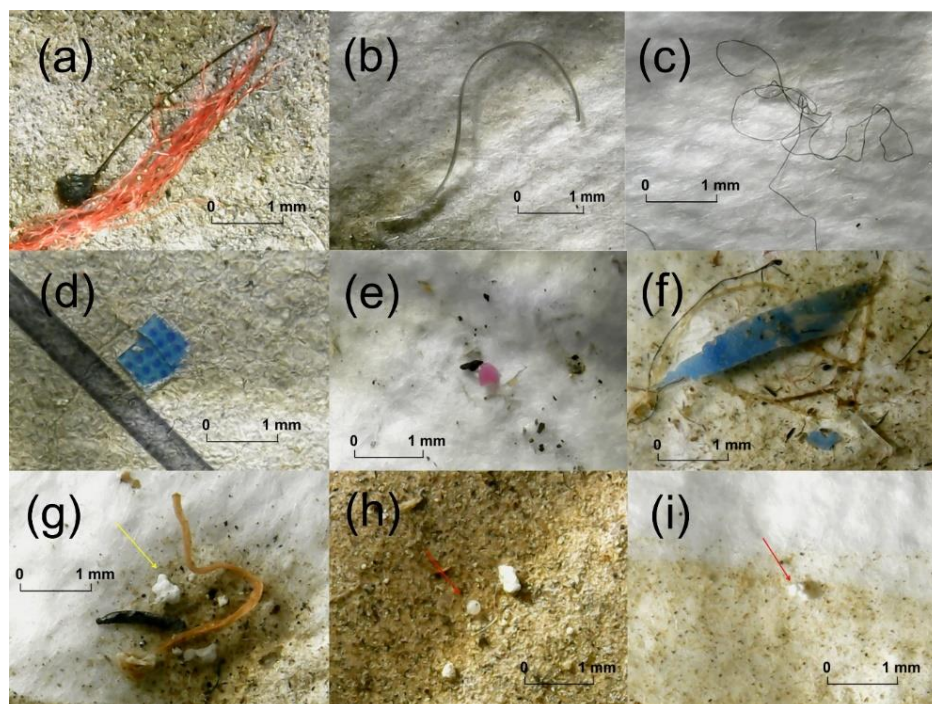


Figura 5.4 Fotos de formas y colores de partículas encontradas en las muestras de escurrimientos pluviales. a) fibra roja, b) fibra gris, c) fibra negra, d) película multicolores, e) fragmento rosa, f) película azul, g) fragmento foamy, h) esfera blanca y el inciso i) fragmento blanco. En la tabla 5.4 puede apreciarse el microplástico encontrado con su respectivo color y forma de la partícula.

Tabla 5.4 Muestra la composición química del microplástico encontrado con su forma y color además el número de espectros realizados algunos repetidos en muestras de escurrimientos pluviales.

Polimero	Nonge griss	ESPECTROS	FORMA Y COLOR
PE	Polietileno	28	Fibras: morada, blanca, negra, verde. Gránulo: verde, café, transparente, blanco, morado, ámbar. Películas: rosa, verde, café, amarilla, negra. Esferas: Blanca, verde, café, negra, rosa, ámbar.
PP	Polipropileno	3	Fibras: transparente. Gránulo: foamy. Esfera: amarilla
PA	Poliamida (tipo nylon)	10	Fibras: Azul, amarilla, anaranjada, gris. Gránulo: amarillo, anaranjado. Película: roja, morada, anaranjada, blanca.
PS	Poliestireno	17	Fibras: rosa. Fragmentos: Negro, rosa. Películas: Azul. Esferas: Transparente, roja, anaranjada, azul.
PET	Tereftalato de Polietileno	5	Fibras: roja. Gránulo: Azul, rojo. Películas: De colores, transparentes.

La Figura 5.5 muestra los polímeros identificados en las muestras analizadas. El polímero predominante identificado en las fibras fue PE (38%), PET (25%) y PS (24%), mientras que en los fragmentos el 44% fueron identificados como PE, el 25% como PS, el 19% como poliamida y el 13% como PET. En el caso de esferas o perlas solo se identificaron dos polímeros PE (70%) y PS (30%). En las películas más del 40% eran también PE, 24% de poliamida y el resto PET (18%) y PP (12%). Esta no es sorprendente porque estos polímeros son los más utilizados para el envasado. Xiong et al., 2019, encontró PE, PS y polipropileno (PP) fueron los polímeros más comunes identificados en los tramos más bajos del Río Yangtze en China. Del mismo modo, McCormick et al., 2016, encontraron que los polímeros dominantes en las aguas superficiales de los ríos urbanos en los EE. UU. fueron PP, PE y PS. Además, (Mani et al., 2015) encontraron que PS (29.7%) y PP (16.9%) fueron los polímeros dominantes en los microplásticos analizados en el Río Rin.

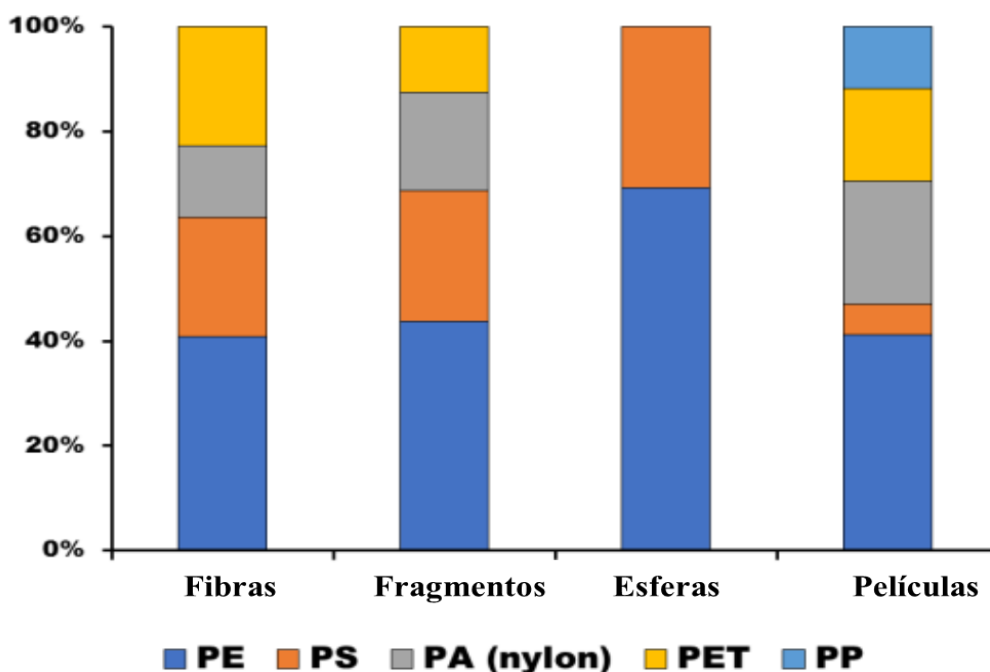


Figura 5.5 Muestra los polímeros identificados en las muestras analizadas en escurrimientos pluviales.

5.1.4 Identificación de microplásticos por infrarrojo FTIR-ATR para escurrimientos pluviales.

La identificación de los microplásticos encontrados en muestras de escurrimientos pluviales se realizó mediante el uso de espectrofotómetro infrarrojo con FTIR-ATR (Thermo Scientific Nicolet iS5). Las mediciones se realizaron en modo de reflexión en el rango de $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, con 30 escaneos con una resolución de 10 cm^{-1} . La identificación del polímero fue realizada mediante la comparación de bandas correspondientes a grupos funcionales químicos específicos con espectros de polímero de referencia reportados en la literatura.

Sesenta y tres espectros se realizaron para 47 parámetros encontrados de forma y color diferentes. Se encontraron 5 posibles polímeros de identificación de microplásticos: polietileno, polipropileno, poliamida tipo nylon, poliestireno y tereftalato de polietileno.

A continuación, se presentan algunos de los espectros de microplásticos analizados. Como se aprecia en la Tabla 5.4.

POLIETILENO

Las principales bandas encontradas para una muestra de microplástico con forma de gránulo transparente del sitio casa birria primer muestreo de escurrimiento de aguas pluviales cuyos resultados indican un posible polietileno fueron las siguientes:

- El enlace de estiramiento C-H en 2920cm^{-1} y 2846cm^{-1} lo que indica un alcano de cadenas alifáticas en la estructura.
- La señal en 1474cm^{-1} indica un tipo de enlace CH_2 en el plano.
- Las bandas de vibración de formación de balanceo en la señal 720cm^{-1} en alcanos de estructura lineal con cadenas largas de hidrocarburos. En la Tabla 5.4 se muestran los grupos funcionales encontrados con sus números de ondas de referencia y el que resultó para la muestra. La Figura 5.6 muestra el espectro de un fragmento transparente encontrada en el sitio Buena Vista y en la Tabla 5.5 los grupos funcionales, número de onda para el polímero de referencia y la muestra microplástico gránulo transparente que resultó en un polietileno.

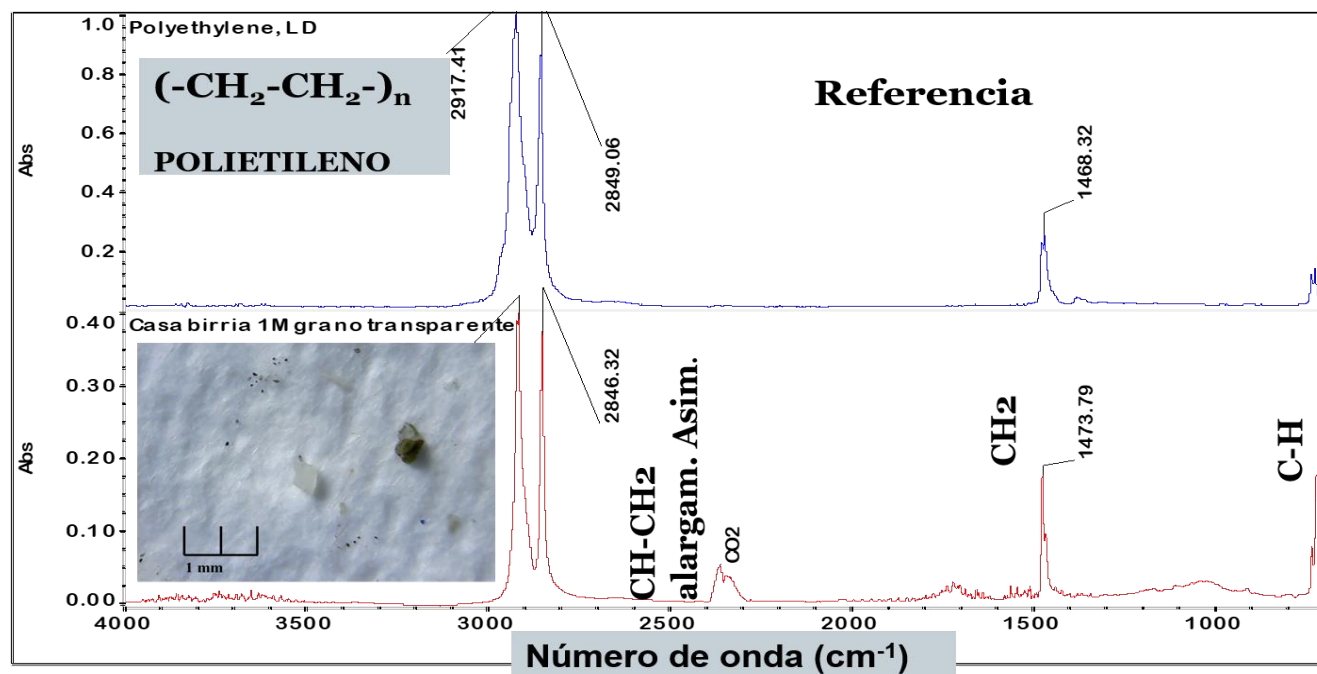


Figura 5.6 Gráfica polipropileno, fragmento transparente del sitio casa birria primer muestreo.

Tabla 5.5 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia polietileno y la muestra microplástico fragmento transparente en escurrimiento pluvial.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia (cm^{-1}) para polietileno (pe).	Número de onda (cm^{-1}) del fragmento transparente.
CH estiramiento	2965-2915	2920
CH estiramiento	2865-2840	2846
CH ₂ en el plano	1470-1465	1474
CH deformación fuera del plano	720-710	720

POLIPROPILENO.

Para el espectro del polipropileno se observan tres grupos de bandas correspondientes:

- Movimientos de tensión asimétrica de los enlaces C-H a 2900 cm^{-1} en este caso para la muestra es de 2958 cm^{-1} .
- Movimientos de tensión C-C en $1350\text{-}1450 \text{ cm}^{-1}$ para la muestra se encuentra en 1457 cm^{-1} .
- Movimientos de flexión de $-\text{CH}_3$ entre $1200\text{-}1000 \text{ cm}^{-1}$.

En la Figura 5.7 se muestra la gráfica de referencia y gráfica de la muestra fibra transparente del sitio casa birria del primer muestreo de lluvia. En la Tabla 5.6 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra que resultó polipropileno.

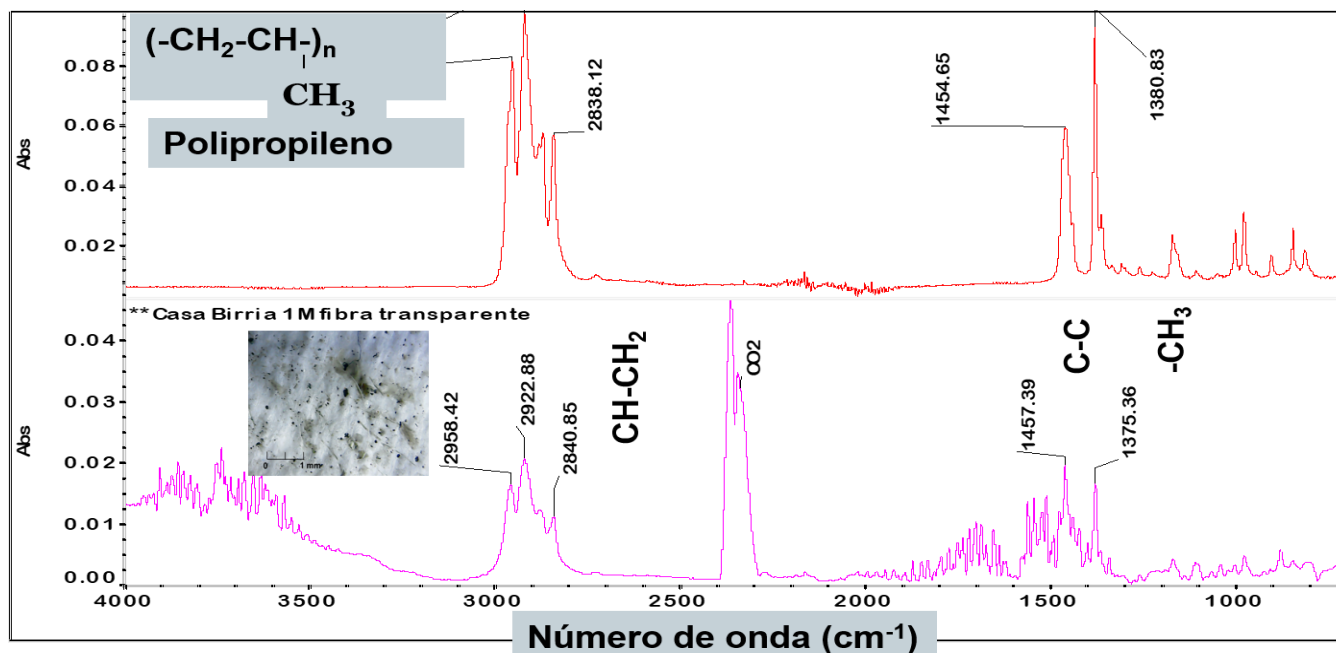


Figura 5.7 Gráfica polipropileno, fibra transparente del sitio casa birria primer muestreo.

Tabla 5.6 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia polipropileno y la muestra microplástico fibra transparente en escurrimiento pluvial.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia (cm ⁻¹) de polipropileno (PP).	Número de onda (cm ⁻¹) de la fibra transparente.
CH estiramiento	2965-2915	2920
CH estiramiento	2865-2840	2846
C-C		1457
CH ₃	1450 y 1375	1375

POLIAMIDA TIPO NYLON.

El análisis FTIR-ATR realizado al microplástico en forma de gránulo amarillo encontrado en la muestra del sitio zona industrial primer muestreo de escurrimiento de aguas pluviales con resultado de una posible poliamida tipo nylon, en este espectro, se observan los siguientes grupos:

- El enlace C-H estiramiento para las señales 2940 cm^{-1} y 2860 cm^{-1} . Absorción en el enlace CH_2 en el plano a una señal 1460 cm^{-1} correspondientes a cadenas alifáticas lineales de alcanos.
- Aparece un grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$ en la señal 1740 cm^{-1} indicando una absorción probable de amida, un poco desplazado hacia la izquierda.

El enlace para N-H aparece en 3350 cm^{-1} , en su banda solo indica un pico se deduce amida secundaria. En su estructura cuenta con cadenas de C-H alifáticos se deduce poliamida de tipo nylon. En la Figura 5.8 se muestran las gráficas para el fragmento amarillo del sitio zona industrial del primer muestreo de lluvia y la Tabla 5.7 que muestra los grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y la muestra que resultó en poliamida tipo nylon.

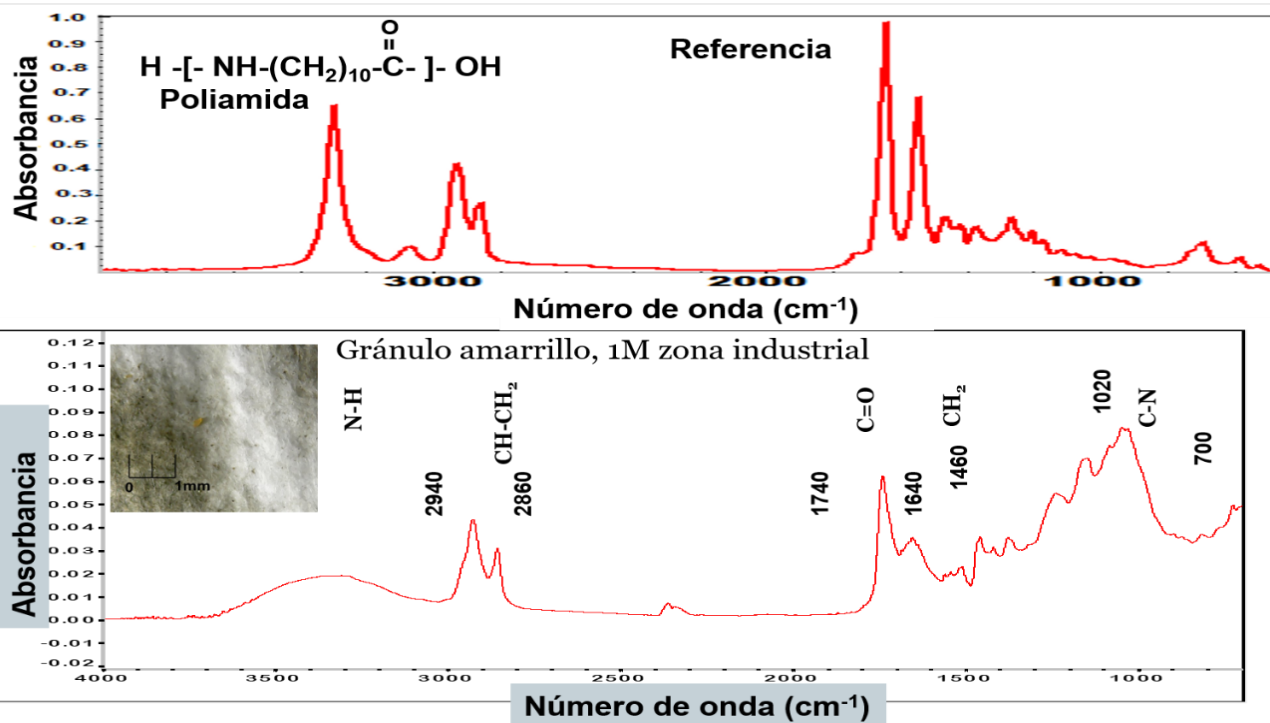


Figura 5.8 Gráfica poliamida tipo nylon, fragmento amarillo del sitio zona industrial primer muestreo de lluvia.

Tabla 5.7 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia poliamida tipo nylon y la muestra microplástico fragmento amarillo en escurrimiento pluvial.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia (cm^{-1}) para poliamida tipo nylon (PA).	Número de onda (cm^{-1}) del fragmento amarillo.
N-H estiramiento	3500-3000	3350
N-H flexión	1640-1550	1640
N-H flexión fuera del plano	600-700	700
C-H estiramiento	3000-2850	2940 y 2860
CH_2 en el plano	1470-1465	1460
C=O amida	1690-1630	1740
C-N alargamiento	1200-1000	1020

POLIESTIRENO.

Para una muestra de película azul, un posible poliestireno, en este espectro, se observan claramente tres grupos:

- Se encuentra la banda a 3000 cm^{-1} dada por estiramiento del enlace $=\text{C-H}$ del anillo aromático, las bandas de referencia se encuentran entre $3150\text{-}3050\text{cm}^{-1}$ (Pavia et al., 2001). El enlace C-H estiramiento asimétrico en las señales 2920cm^{-1} y 2850cm^{-1} , las de referencia se encuentran entre $3000\text{-}2850\text{cm}^{-1}$ (Pavia et al., 2001).
- Las bandas de tensión del enlace C-C de compuestos aromáticos que se presentan por pares en 1570cm^{-1} los de referencia de $1600\text{-}1450 \text{ cm}^{-1}$ (Pavia et al., 2001) movimiento de flexión de $-\text{CH}_2$ de referencia en 1465cm^{-1} (Pavia et al., 2001) en la muestra 1485cm^{-1} .

En la Figura 5.9 se muestran las gráficas de referencia y para la muestra película azul del sitio casa birria primer muestreo de lluvia y en la Tabla 5.8 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra encontrados que resultó en poliestireno.

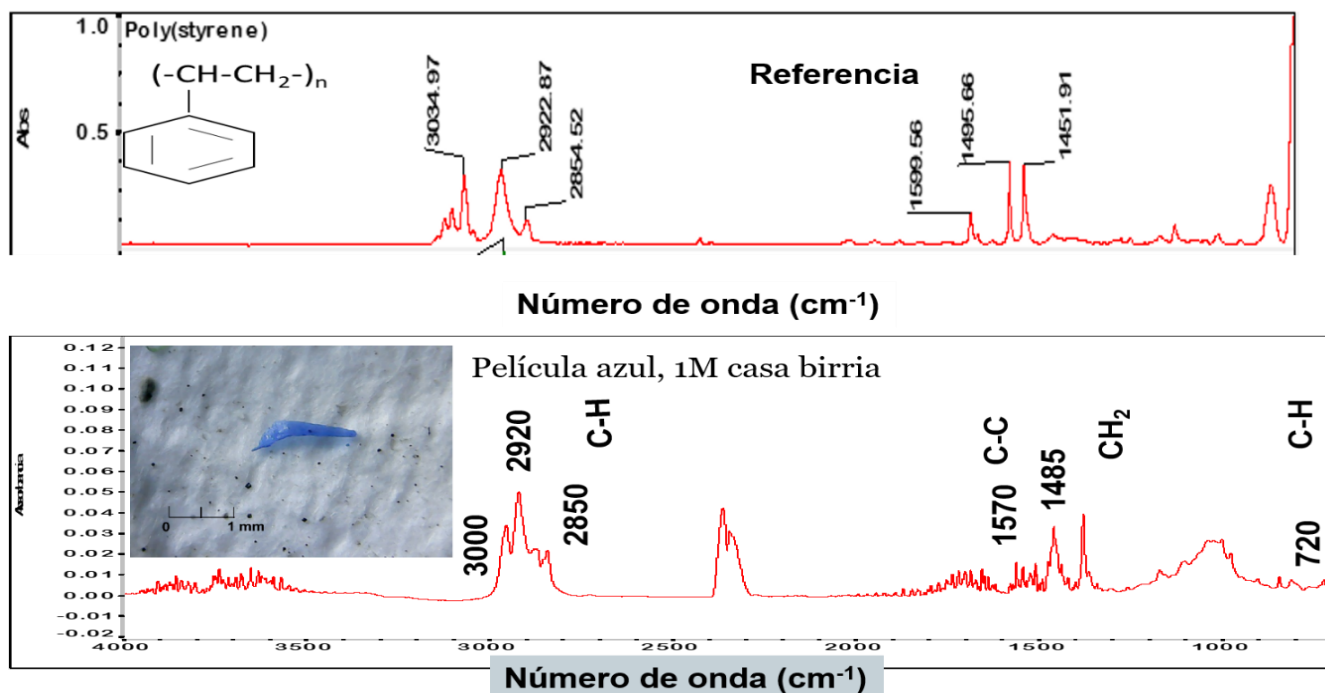


Figura 5.9 Gráfica poliestireno, película azul del sitio casa birria primer muestreo.

Tabla 5.8 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia poliestireno y la muestra microplástico película azul.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia (cm ⁻¹) de poliestireno (PS).	Número de onda (cm ⁻¹) de la película azul.
C-H del anillo aromático	3150-3050	3000
C-H estiramiento asimétrico	3000-2850	2920 y 2850
C-C de compuestos aromáticos	1600-1450	1570
flexión de $-\text{CH}_2$	1465	1485

TEREFTALATO DE POLIETILENO.

Análisis FT-IR realizado al microplástico en forma de fibra roja encontrado en la muestra del sitio Altabrisa 2 cuarto muestreo de escurrimiento de aguas pluviales con resultado de un posible tereftalato de polietileno, en este espectro, las bandas de vibración características del grupo éster $[R(Ar)-COO-R]$ (Ar= arilo) son las siguientes:

- a) Enlace $-CH_2-$ en la señal de 2920 cm^{-1} indica cadenas de C-H alcanos alifáticos en la estructura.
- b) El grupo carbonilo $C=O$ éster se localiza en 1700 cm^{-1} .
- c) Enlace $[C-C(O)-O]$ vibración de estiramiento asimétrico con señal en 1250 cm^{-1} integrando el carbono de radical alquilo (R) o arilo (Ar) unido al carbono del grupo carbonilo (CO).
- d) Enlace $-O-C-$ estiramiento asimétrico en una señal de 1120 cm^{-1} .
- e) Enlace $-O-C-$ estiramiento asimétrico en una señal de 1120 cm^{-1} .
- f) Enlace $=C-H$ aromático de estiramiento aparece a la izquierda de 3000 cm^{-1} , en este caso se encuentra en 3000 cm^{-1} .
- g) Enlace $C=C$ aromático en la señal de 1500 cm^{-1} .
- h) Enlace C-H aromático señal encontrada en 980 cm^{-1} , C-H aromático fuera del plano en una señal de 870 cm^{-1} y enlace C-H aromático aleteo es de 720 cm^{-1} .

Para los anillos para-disustituídos una banda fuerte aparece en la región de $800-850\text{ cm}^{-1}$, encontrada en la muestra dentro de estas señales. En la Figura 5.10 se muestran las gráficas de referencia y de la muestra fibra roja del sitio Alta Brisa 2 cuarto muestreo de lluvia, además en la Tabla 5.8 se muestran los grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia y la muestra que resultó ser un tereftalato de polietileno.

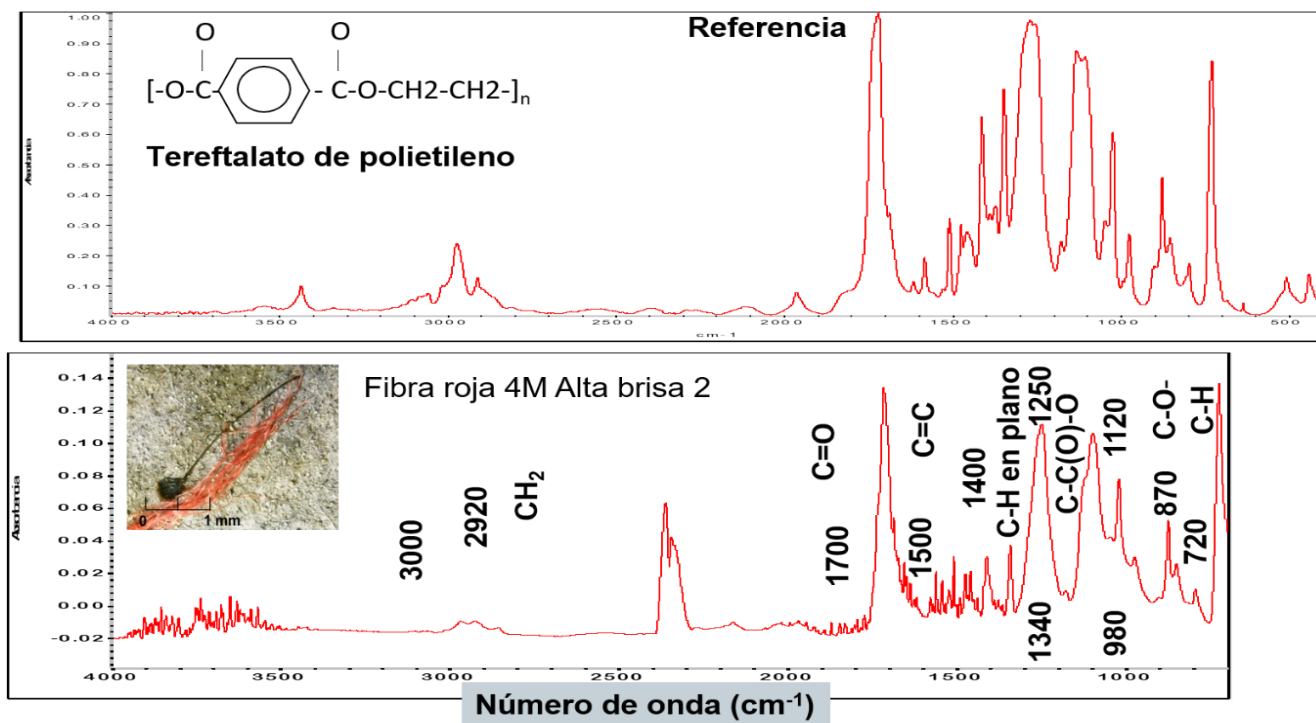


Figura 5.10 Gráfica tereftalato de polietileno, fibra roja del sitio Alta Brisa 2 cuarto muestreo.

Tabla 5.9 Grupos funcionales y número de onda para el polímero de referencia tereftalato de polietileno y la muestra microplástico fibra roja en escurrimiento pluvial.

Grupo funcional o enlace	Número de onda de referencia (cm^{-1}) para tereftalato de polietileno (PET).	Número de onda del microplástico fibra roja (cm^{-1}).
-CH ₂ - asimétrico y simétrico	3000-2850	2920
=C-H aromáticos estiramiento	3150-3050	3000
C=O éster	1750-1705	1700
C=C poliéster aromático	1615,1580 y 1505	1500
C-H asimétrico simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1400 y 1340
C-C(O)-O	1260-1250	1250
-O-C-	1130-1120	1120
C-H aromático en el plano	1016 y 970	980
C-H aromático fuera del plano	900-690	870
C-H aromático aleteo	720	720

5.2 Microplásticos en sedimentos y suelos de los ríos en la CRT.

5.2.1 Análisis granulométrico en sedimentos de la CRT.

Análisis realizado para conocer las características de los sedimentos y suelos analizados en cuanto a su granulometría. Se realizó un análisis de tamaño de partículas por medio de tamizado por mallas para 2mm, 1mm, 0.6mm, 0.36mm, 0.15mm, 0.06mm con los siguientes resultados de porcentajes de lo que pasa a través de la malla de mayor a menor tamaño respectivamente encontrados.

En la Tabla 5.9 se muestra la granulometría para el suelo de la CRT. De acuerdo a las texturas encontradas en los sitios de muestreo se observa que de Tecate a Tijuana el tamaño de las partículas va disminuyendo (textura gruesa a fina), posiblemente al arrastre de las partículas a través del caudal. Esto nos indica el transporte de partículas más finas a través del cauce del Río Tecate al Río Tijuana, por lo cual también de microplásticos. La granulometría nos muestra que la textura del suelo va de arena fina hasta gravilla arenosa en la mayoría de los sitios puede ser clasificada como arena entre 0.32 a mayores de 2mm.

Tabla 5.10 Granulometría para el suelo de la CRT, primer muestreo del 2017, concentraciones en partículas kg^{-1} .

Sitio	D50	Textura
Los Rosales	0.60	Arena gruesa
Estadio	0.68	Arena gruesa
CEART	0.78	Arena Gruesa
PTAR	0.86	Arena gruesa
La Puerta	0.72	Arena gruesa
Ladrillera	0.39	Arena fina
Encinos	0.60	Arena fina limosa
Alamar	0.22	Arena fina limosa
Canchas	0.38	Arena fina
La Presa	>2 mm	Gravilla arenosa
Cruz roja	0.32	Arena fina

5.2.2 Abundancia de microplásticos en sedimentos de la CRT.

Con el propósito de determinar si las concentraciones de microplásticos en sedimentos se ajustan a una distribución normal se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov resultando que éstos no se ajustan a una distribución normal, debido a que el valor de probabilidad p-value es menor al valor de la significancia de 0.05, para un 95% de confianza. En la Figura 5.11 se muestra la gráfica de probabilidad de normalidad Kolmogorov-Smirnov para concentraciones de microplásticos en sedimentos peso seco de la CRT.

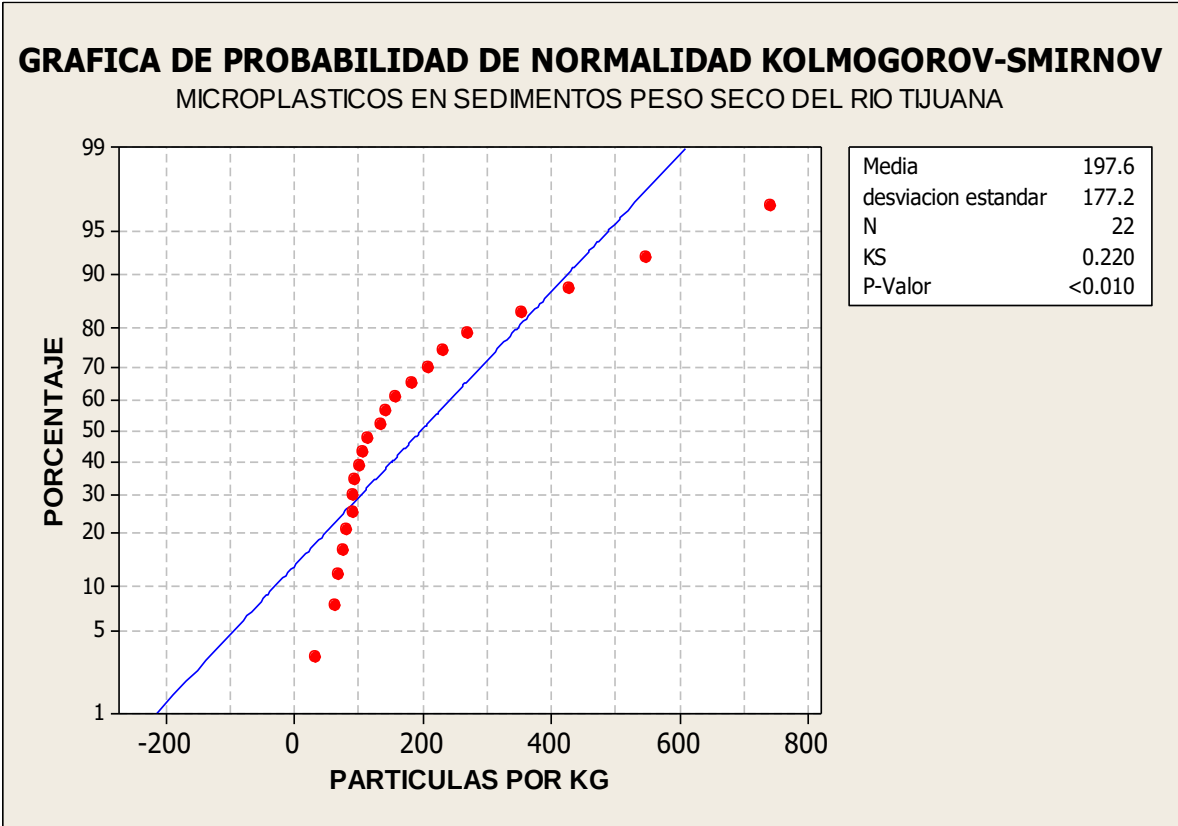


Figura 5.11. Gráfica para la prueba de Kolmogorov-Sminov de las concentraciones de microplásticos en sedimentos peso seco de la CRT.

En cuanto a la abundancia de microplásticos en sedimentos el intervalo fue de 59 a 586 partículas kg^{-1} , siendo la media más alta fue encontrada en el sitio Alamar con 586 partículas kg^{-1} , es un área habitacional llamada Ribera del Bosque, alrededor del sitio del muestreo se observó una gran cantidad de

residuos sólidos urbanos, así como de residuos de muebles, entre otros, la textura del sedimento es arena fina limosa con un tamaño de partícula de 0.22 mm. En segundo lugar, el sitio La Puerta con una media de 391 partículas kg^{-1} , ésta es una zona suburbana con características de alta erosión y flujo constante de tráfico, además de que se encuentra adyacente a un abarrote, la textura del suelo es de 0.72mm arena gruesa. En tercer lugar, encontramos a La Presa con 224 partículas kg^{-1} , el sitio se encuentra en la Presa Abelardo L. Rodríguez la textura del sedimento en ese sitio era gravilla arenosa con tamaños mayores a 2mm. En la Tabla 5.10 se muestran los resultados para la abundancia de microplásticos.

Tabla 5.11 Resultados estadísticos para la abundancia de microplásticos en muestras de sedimentos de la CRT.

Muestra	Parámetro en partículas kg^{-1}	MEDIA
LA PUERTA	232	391
	550	
CEART	95	105
	115	
ESTADIO	83	59
	35	
ENCINOS	185	172.5
	160	
PTAR	270	240
	210	
CRUZ ROJA	102	90
	78	
LA PRESA	355	224
	93	
LOS ROSALES	107	85.5
	64	
LAS LADRILLERAS	70	102.5
	135	
CANCHAS DE BEISBOL	143	118
	93	
ALAMAR	428.15	585.80
	743.46	

5.2.3 Abundancia de microplásticos en la ribera de la CRT.

Con el propósito de determinar si las concentraciones de microplásticos en suelos se ajustan a una distribución normal se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov resultando que los datos no se ajustan a una distribución normal, debido a que el valor de probabilidad p-value es menor al valor de la significancia de 0.05, para un 95% de confianza. En la Figura 5.12 se muestra la gráfica de probabilidad de normalidad kolmogorov-smirnov para concentraciones de microplásticos en suelos de la ribera peso seco de la CRT.

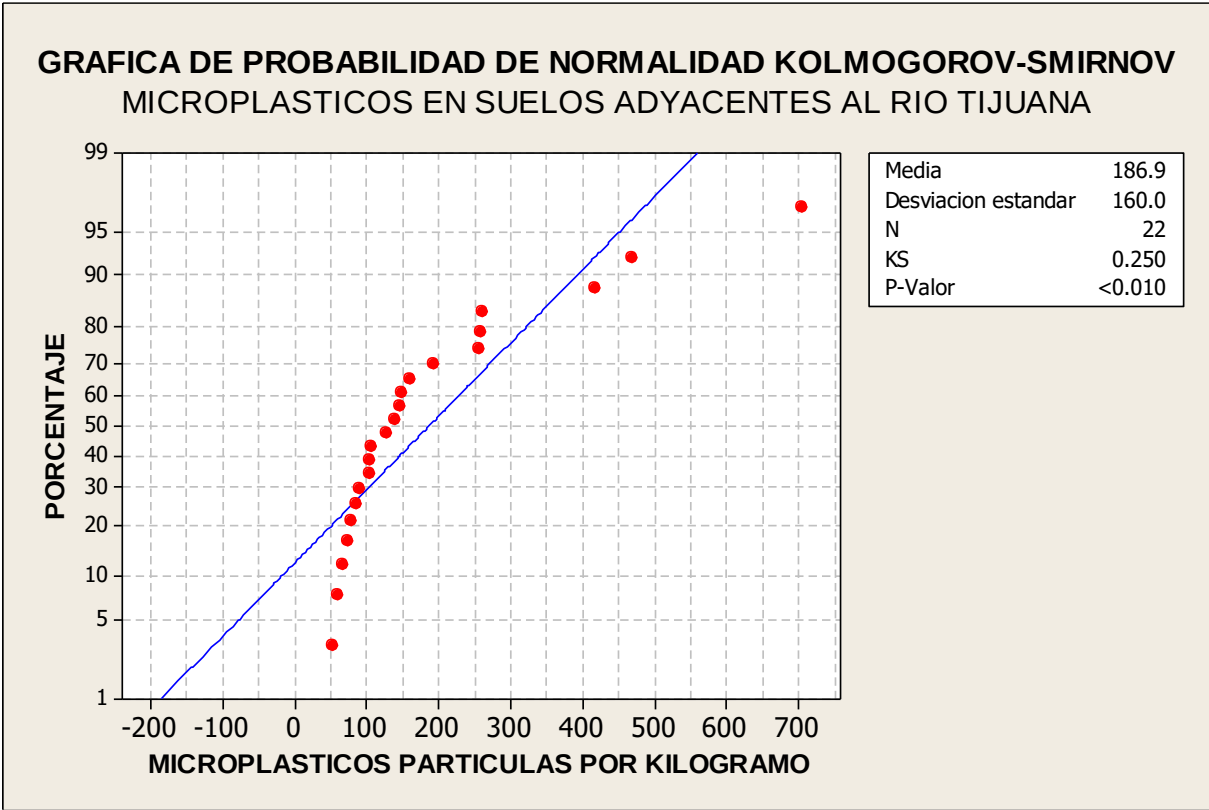


Figura 5.12 Gráfica de probabilidad de normalidad kolmogorov-smirnov para concentraciones de microplásticos en suelos peso seco de la CRT.

En el segundo muestreo para suelos, se observa que en el sitio Alamar y La Puerta tuvieron la mayor abundancia de microplásticos, con una media de 587 y 273 partículas kg^{-1} respectivamente. En tercer lugar, con 225 partículas kg^{-1} a el sitio Cruz Roja el cual en el primer muestreo dio un valor de media de 90 partículas kg^{-1} observándose una tendencia a aumento en la concentración de microplásticos.

En la Tabla 5.11 se observó un intervalo de 54 partículas kg^{-1} como valor mínimo encontrado en el sitio La Presa 2 y con 705 partículas kg^{-1} para el valor mayor encontrado en el sitio Alamar 1.

Tabla 5.12 Segundo muestreo del 2018, concentraciones en partículas kg^{-1} de la ribera de la CRT.

Sitio	Concentración	Promedio
La Puerta 1	128.00	273.00
La Puerta 2	418.00	
Ceart 1	86.00	77.00
Ceart 2	68.00	
Estadio 1	104.00	122.00
Estadio 2	140.00	
Encinos 1	258.28	182.54
Encinos 2	106.80	
PTART 1	74.00	89.00
PTART 2	104.00	
Cruz Roja1	256.00	225.00
Cruz Roja 2	194.00	
Presa 1	60.00	57.00
Presa 2	54.00	
Alamar 1	704.76	586.63
Alamar2	468.50	
Cancha 1	150.00	206.00
Cancha 2	262.00	
Los Rosales 1	80.00	119.73
Los Rosales 2	159.45	
Ladrillera	145.47	118.53
Ladrillera	91.59	

Se utilizó la Prueba de U Man Whitney para comparar las medianas de concentraciones de microplásticos en sedimentos y suelos de la CRT. Se concluye que no hay diferencia estadística entre ambas concentraciones (125 partículas kg^{-1} para microplásticos en sedimentos y 134 partículas kg^{-1} para suelos).

En la Tabla 5.12 se muestra la comparación de resultados estadísticos de los dos tipos de muestreos para microplásticos en sedimentos y en suelos de la ribera.

Tabla 5.13 Comparación de resultados estadísticos de los dos tipos de muestreos para microplásticos en sedimentos y en suelos (partículas kg⁻¹).

Sedimentos	Concentración	Suelos	Concentración
La puerta 1	232	La puerta 1	128
La puerta2	550	La puerta 2	418
CEART 1	95	CEART 1	86
CEART 2	115	CEART 2	68
Estadio 1	83	Estadio 1	104
Estadio 2	35	Estadio 2	140
Encinos 1	185	Encinos 1	258
Encinos 2	160	Encinos 2	107
PTAR 1	270	PTART 1	74
PTAR 2	210	PTART 2	104
Cruz roja 1	102	Cruz roja 1	256
Cruz roja 2	78	Cruz roja 2	194
Presa 1	355	Presa 1	60
Presa 2	93	Presa 2	54
Los rosales 1	107	Rosales 1	80
Los rosales 2	64	Rosales 2	159
Las ladrilleras 1	70	Las ladrilleras 1	145
Las ladrilleras 2	135	Las ladrilleras 2	92
Campo de beisbol 1	143	Canchas 1	150
Campo de beisbol 2	93	Canchas 2	262
Alamar 1	428	Alamar 1	705
Alamar 2	743	Alamar 2	469
ESTADÍSTICOS		ESTADÍSTICOS	
Mediana	125	Mediana	134
Promedio	197.57	Promedio	186.95
Media geometría	147.13	Media geometría	144.78
Desviación estándar	177.24	Desviación estándar	159.98

5.2.4 Concentraciones de microplásticos encontradas en diferentes estudios.

En la Tabla 5.13 se muestran las concentraciones de microplásticos reportadas en otros estudios realizados en diferentes lugares. Se puede observar que las concentraciones encontradas en este estudio son menores a aquellas en otros ríos y lagos. Por ejemplo, la concentración de microplásticos encontrada en la laguna de Venecia (Vianello et al., 2013) son aproximadamente tres veces más altas que las concentraciones encontradas en este estudio. Más aún los resultados encontrados en los tributarios del

Lago Ontario fueron aproximadamente 4 veces más altos que los encontrados en la CRT, eso podría ser debido a la alta industrialización que se tiene en la región de Ontario. En la Tabla 5.13 también se muestra que, en un estudio realizado en lodos de planta tratadora de agua residuales en Alemania, Mintenig et al., (2014) encontró un intervalo de 1041 a 24129 partículas kg^{-1} siendo un intervalo mucho mayor al encontrado en este estudio. Esto es debido a que se ha comprobado que una gran parte de microplásticos existentes en aguas residuales domésticas son atrapados en los lodos durante el tratamiento de las mismas.

Tabla 5.14 Comparación de concentraciones de microplásticos encontradas en sedimentos de lagos, ríos y plantas tratadoras de aguas internacionales.

Lugar	Tipo de muestra	Concentración de microplásticos (partículas kg^{-1})	Referencia
Los Ángeles y San Gabriel, California, Estados Unidos.	Sedimentos de río, (zona altamente industrializada)	A cerca de 2 millones.	(Moore, 2008)
Río Rhine y Main en Alemania.	Sedimentos de orilla de río	228-3763 786-1368	(Klein et al., 2015)
Venecia, Italia.	Sedimentos de laguna.	672-2175	(Vianello et al., 2013)
Lago Garda, Italia.	Sedimentos de la orilla del lago.	483-1108	(Imhof et al., 2013; Hidalgo-Ruz et al., 2012)
Ontario, Canadá	Sedimentos tributarios.	760 (DW)	(Ballent et al., 2016b)
Río Perla, China.	14 sitios, sedimentos (0.02-5mm)	80-9597 (1669)	(Lin et al., 2018)
PTAR, Alemania	Sedimentos de aguas residuales peso seco	1041–24,129	(Mintenig et al., 2017)
Cuenca del Río Tijuana, B.C., México	Sedimentos Suelo en la ribera	35-743 (197.57). 54-705 (186.95).	Este estudio.

5.2.4 Formas y colores encontradas en las muestras de los suelos de la ribera de la CRT.

Morfología de microplásticos.

En la Figura 5.13 se muestran la morfología por sitio en las muestras de la CRT. Se observó que la morfología predominante fueron las fibras cuyo intervalo fue entre 47 y 81% del total de los

microplásticos. Estas se observaron en los sitios denominados Estadio y la Cruz Roja, respectivamente. En cuanto a los fragmentos el intervalo fue 3 a 45% correspondientes a los sitios Los Encinos y La Puerta, El bajo porcentaje de fragmentos en el sitio denominado Los Encinos se podría deber a que este sitio es el único sitio que se encuentra localizado fuera de la mancha urbana de Tecate y Tijuana. En cuanto al sitio de La Puerta será posiblemente a su cercanía a la descarga de la PTAR de la ciudad de Tecate y que se localiza adyacente a la carretera federal. Las esfera y películas se encontraron en mucho menor proporción a las de las otras morfologías descritas anteriormente. El intervalo de los porcentajes de películas fue entre 2 y 22% y las esferas entre 1 y 22%.

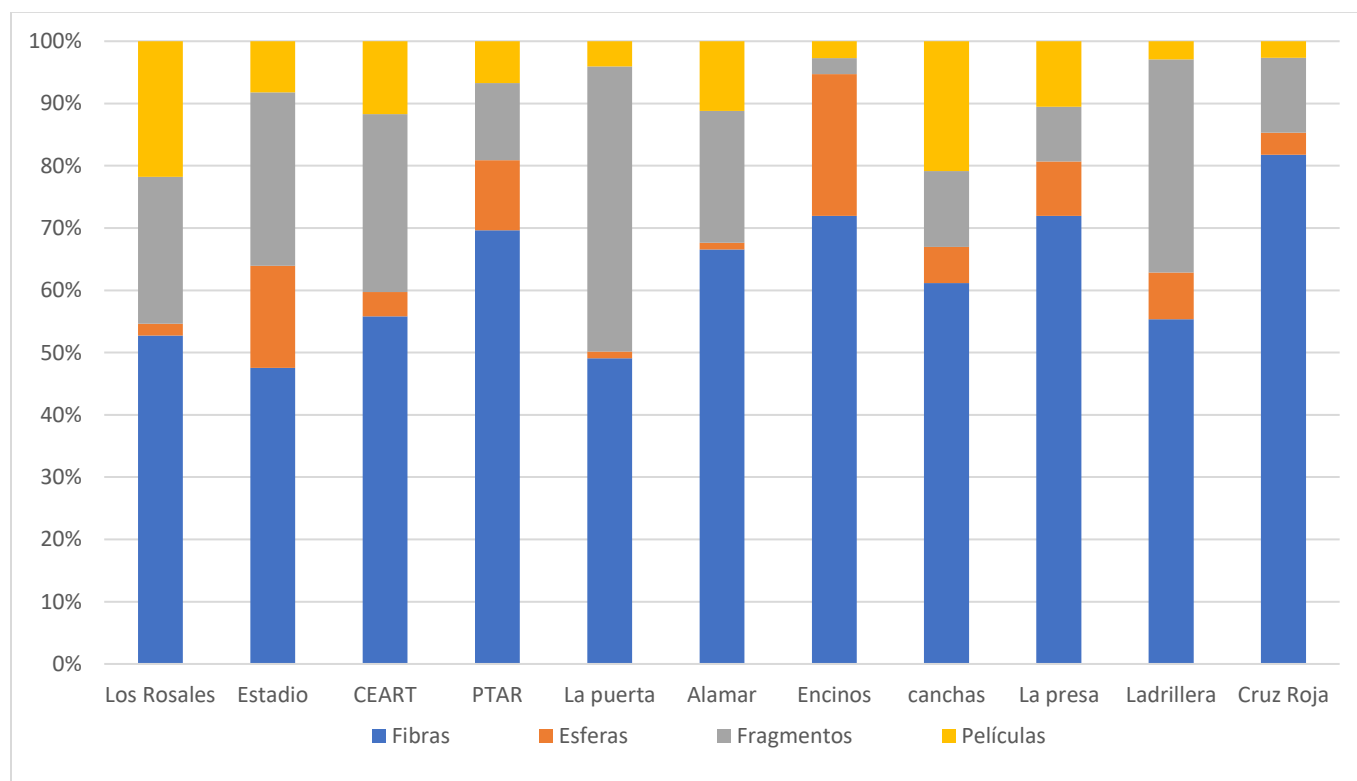


Figura 5.13 Porcentajes de morfología para microplásticos por sitio en muestras de suelo de la CRT, muestreo del 2018.

En la Figura 5.14 se muestra los porcentajes totales de las morfologías encontradas en las muestras. Las fibras fue la morfología más predominante (65%), seguido de los fragmentos con un 19%, esto es congruente con otros estudios internacionales que han encontrado las mismas morfologías como predominantes en las muestras realizadas (Barrows et al., 2018; Horton et al., 2017). Esto es debido a como se mencionó el origen del agua del Río Tijuana son descargas de aguas residuales tratadas de las

PTAR en la región. Es bien conocido que las aguas residuales son una fuente importante de microfibras generadas por el lavado de prendas de vestir hechas con fibras sintéticas.

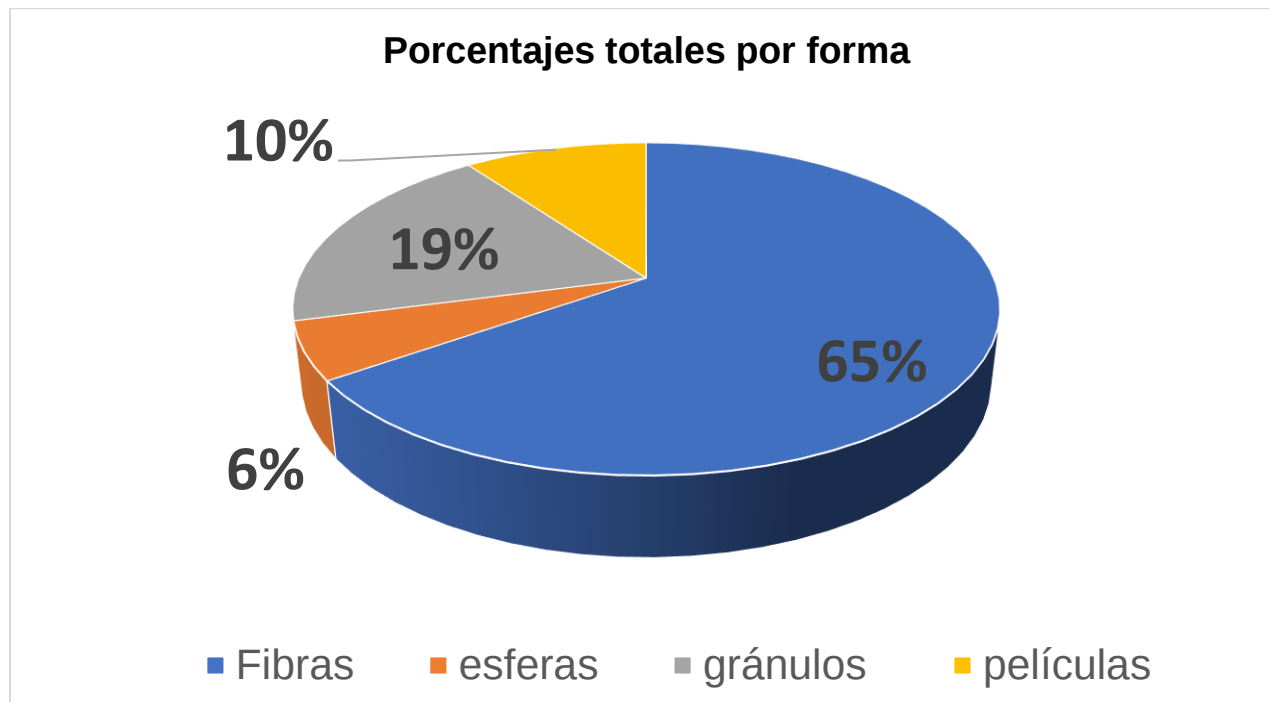


Figura 5.14 Porcentajes de morfología para microplásticos en las muestras de CRT.

Colores encontrados por morfología.

En la Figura 5.15 se muestran los porcentajes totales por color de las fibras en muestras de suelo. Los colores en fibras encontrados fueron 9: negras, transparentes, azul, rosa, morada, verde, roja, amarilla, blanca. El número de colores en las fibras fue la segunda más diversa después de los fragmentos, en los cuales se observaron 12 diferentes colores. El color negro fue el porcentaje más alto encontrado con un 52.6%. Seguido de las fibras transparentes y de las fibras color azul con un 24.2 y 8.5%, respectivamente. El resto de los colores tuvieron un intervalo entre 1 y 6% (Figura 5.15). Esto es contrario a un estudio que se hizo en playas de Baja California en el cual solo se identificaron 5 colores siendo las

fibras negras (59%) y las azules (25%) las más abundantes. La diversidad de colores de fibras ha sido relacionada por algunos autores como producto de descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales,

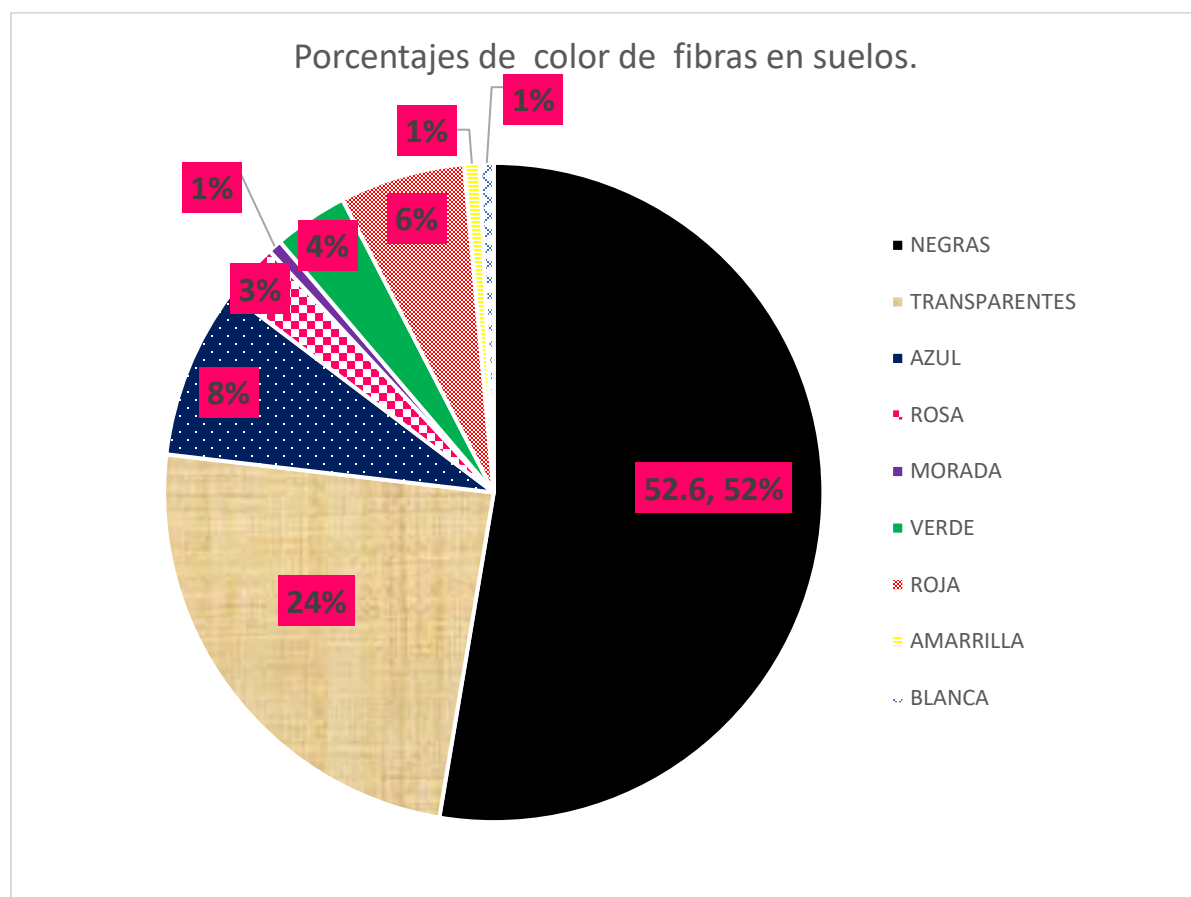


Figura 5.15 Porcentajes de color en fibras.

En cuanto a la morfología de las esferas encontradas en suelos se identificaron 7 colores: negras, ámbar, transparentes, blancas, amarillas, rojas y café (Figura 5.16). Predominando las esferas de color negra con un 41.2%, seguidos de las esferas de color ámbar y café con 24.5 y 13.7%, respectivamente. La fuente más probable de las esferas son el uso de exfoliantes y productos de belleza.

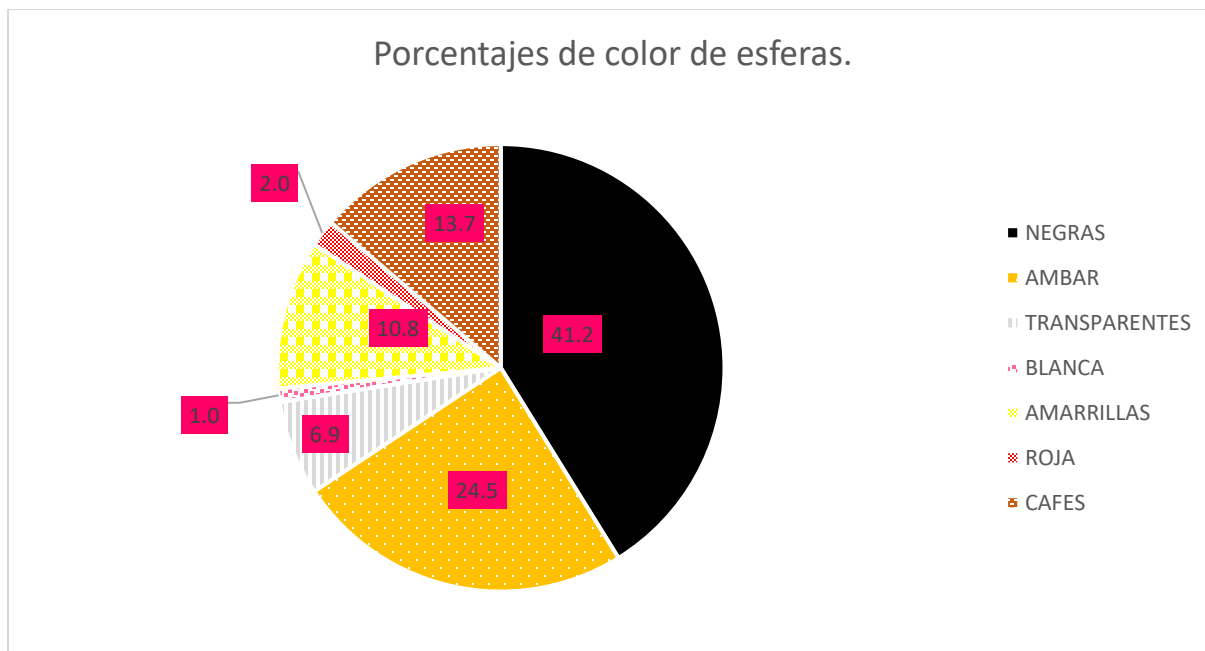


Figura 5.16 Porcentajes de color en esferas.

La Figura 5.17 muestra los colores encontrados en los fragmentos. En total se identificaron 12 colores, la cual fue la forma con una mayor diversidad de colores. Las cuales fueron: transparente, blanco, negro, rojo, café, foamy (blanco y consistencia de foamy), rosa, amarillo, verde, ámbar, anaranjado y azul. Esta gran diversidad de colores es el producto de la variedad de fuentes y la fragmentación de gran parte de productos hechos con plásticos. El color más abundante encontrado en los fragmentos fue el color negro con un 32.1%, en segundo lugar, fragmentos transparentes con un 15.4%, y en tercer lugar fragmentos blancos con 11.7%.

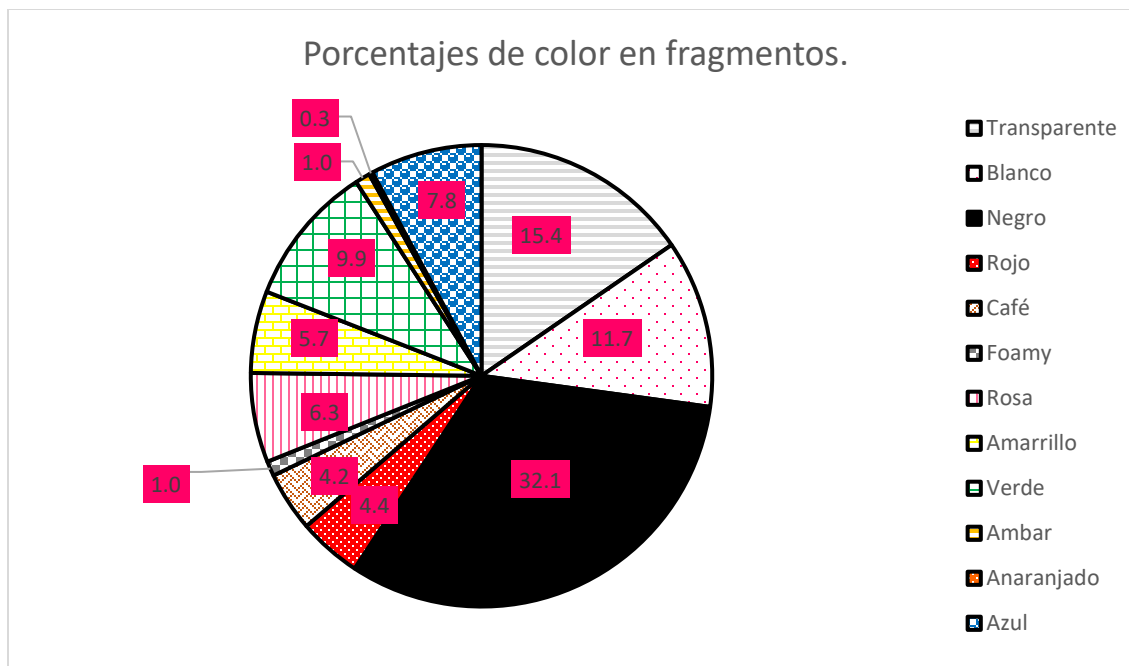


Figura 5.17 Porcentajes de color en fragmentos.

La Figura 5.18 muestra los colores encontrados en películas. Los porcentajes de color en películas encontrados fueron ocho: Rojo, negro, rosa, transparente, blanco, verde, multicolores y azul. En primer lugar, las películas transparentes con 35.8%, en segundo lugar, las películas azules con 29.1%, seguidas de las películas verdes con 13.2%.

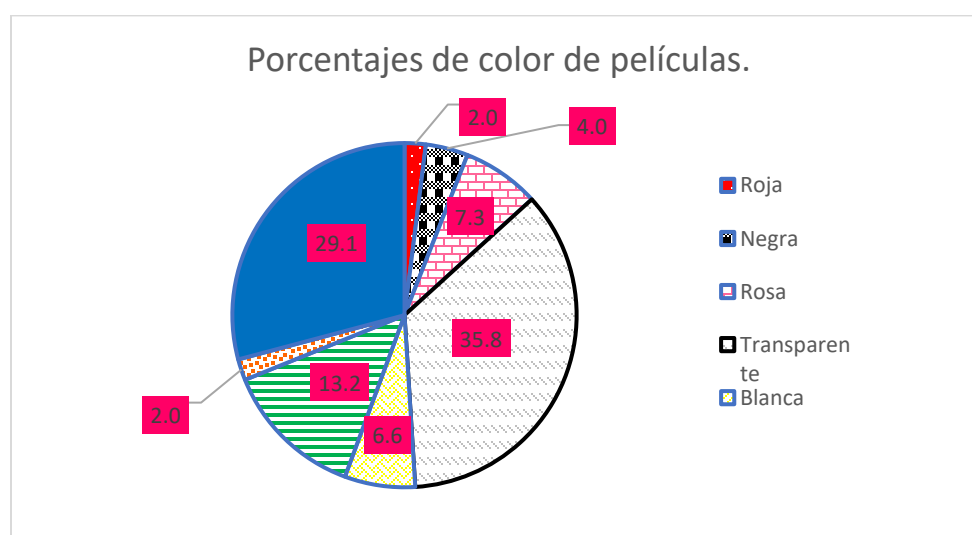


Figura 5.18 Porcentaje de color de películas.

5.2.6 Análisis de espectroscopia infrarrojo FTIR ATR de microplásticos en sedimentos y suelos de la CRT.

En la Tabla 5.14 muestra los polímeros identificados, se analizaron 35 microplásticos siendo el propileno con un 45.7%, junto con el polietileno con un 34.3%, los polímeros identificados más abundantes. Otros polímeros identificados fueron poliestireno, poliacrílico, nilón y tereftalato de polietileno. Estos resultados concuerdan con otros estudios realizados (Klein et al., 2015; Horton et al., 2017; Lin et al., 2018).

Tabla 5.15 Composición de las distintas formas y colores de microplásticos encontradas en suelos en la CRT.

Microplásticos	Forma y color	Número de partículas	%
Polietileno	Fibra: azul.	12	34.3
	Fragmento: rojo, anaranjado, foamy, negro.		
	Esfera: ámbar, café, negra .		
	Película: transparente, azul, blanca, negra.		
Poliacrílico	Fragmento: amarillo.	1	2.9
Poliamida tipo nylon	Fragmento: ámbar.	1	2.9
Polipropileno	Fibra: blanca, roja, rosa, transparente, amarilla, morada, verde.	16	45.7
	Fragmento: azul, blanco, rosa.		
	Esfera: blanca, amarilla, transparente.		
	Película: verde, rosa, multicolor.		
Poliestireno	Fragmento: transparente, café.	4	11.4
	Esfera: roja.		
	Película: roja.		
Tereftalato de polietileno	Fibra: negra.	1	2.9

5.2.7 Espectros para microplásticos de muestras en sedimentos y suelos de la CRT.

En la Figura 5.15 se muestra la gráfica de polietileno, fragmento anaranjado del sitio PTAR, Río Tecate. En la Tabla 5.19 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra probable de polietileno.

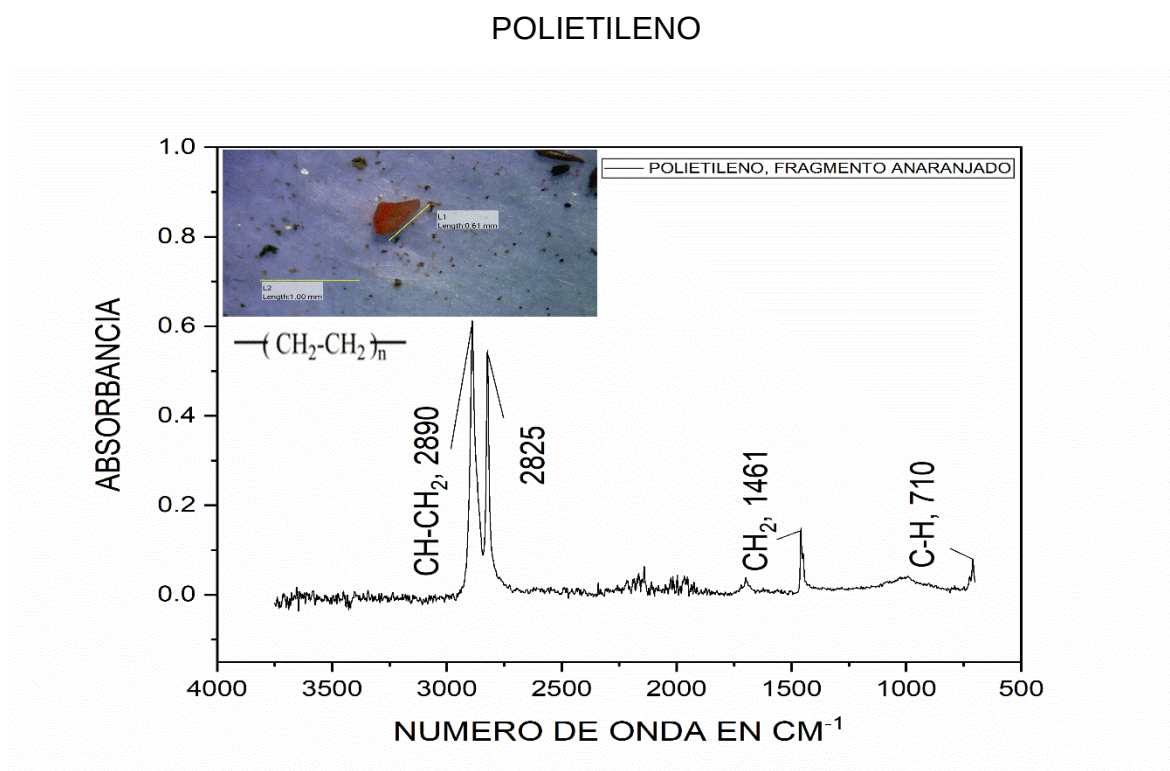


Figura 5.19 Gráfica polietileno, esfera ámbar de la muestra de sedimentos del sitio PTAR 2, río Tecate.

Tabla 5.16 Señales de referencia para polietileno y posible composición química de la muestra de suelo en el sitio PTAR 2, fragmento anaranjado.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia para el polietileno (cm ⁻¹).	Número de onda del microplástico anaranjado (cm ⁻¹).
CH estiramiento	2965-2915	2890
CH estiramiento	2865-2840	2825
CH ₂ en el plano	1470-1465	1461
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	710

En la Figura 5.16 se muestra la gráfica del fragmento amarillo encontrado en el sitio denominado Estadio 2. En la Tabla 5.19 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra que resultó un probable poliacrílico.

POLIACRILICO

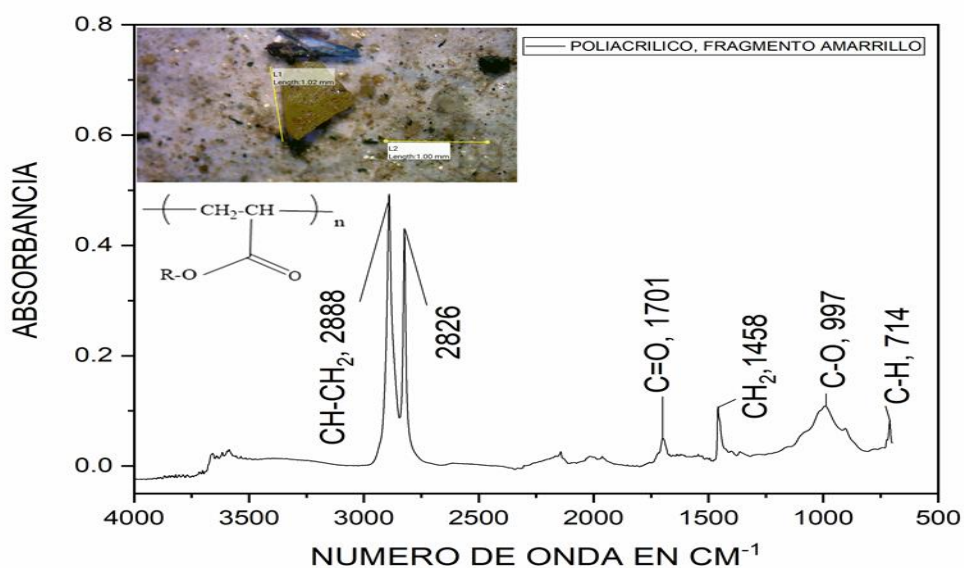


Figura 5.20 Gráfica del poliacrílico, fragmento amarillo de la muestra de sedimentos del sitio Estadio 2, río Tecate.

Tabla 5.17 Señales de referencia para poliacrílico y la muestra de suelo en el sitio Estadio 2, fragmento amarillo.

Grupo funcional o enlace.	Número de onda de referencia para el poliacrílico (cm^{-1}).	Número de onda del microplástico amarillo (cm^{-1}).
CH estiramiento	2965-2915	2888
CH estiramiento	2865-2840	2826
CH ₂ en el plano	1470-1465	1458
CH-deformación fuera del plano, banda balanceo	720-710	714
C=O éster	1750-1730	1701
C-O	1300-1000	997

En la Figura 5.17 se muestra la gráfica de una muestra película verde del sitio Rosales 2, río Tecate. En la Tabla 5.20 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra que resultó un probable polipropileno.

POLIPROPILENO

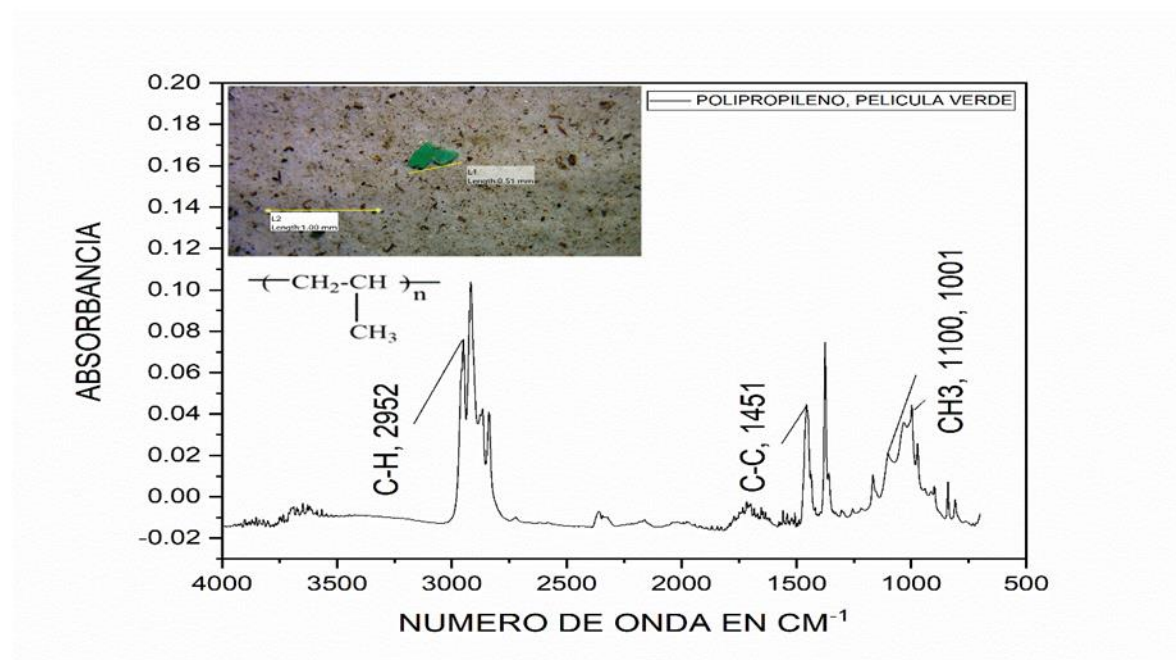
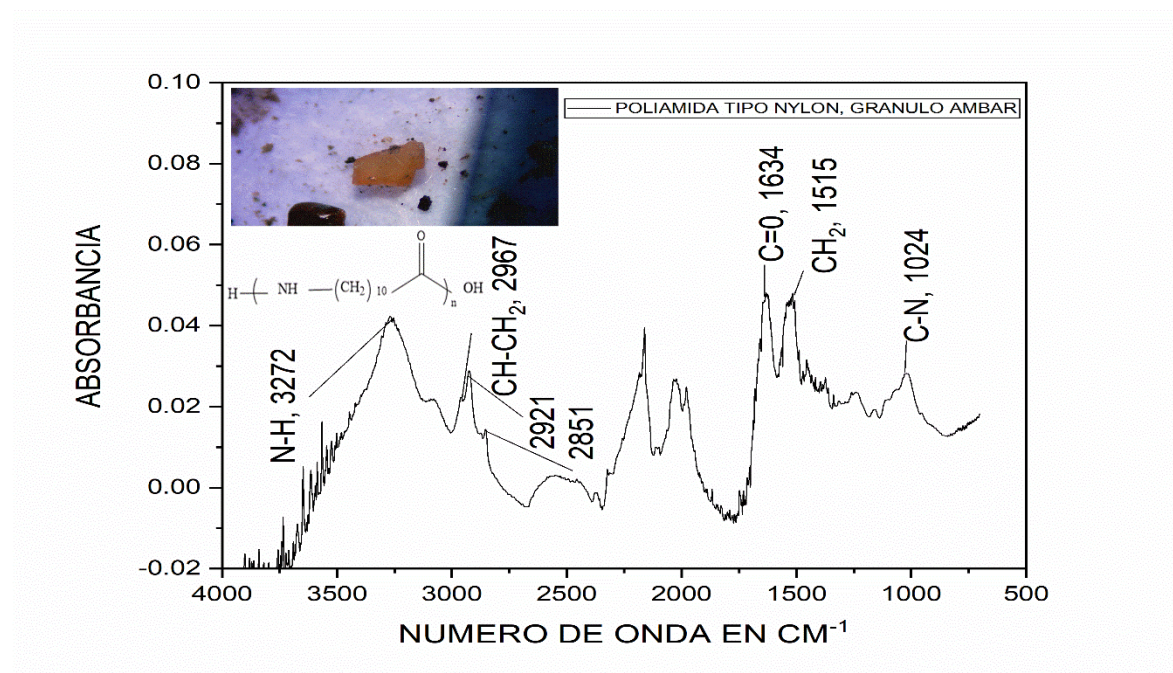


Figura 5.21 Gráfica del polipropileno, película verde de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Rosales 2, río Tecate.

Grupo funcional o enlace	Número de onda de referencia (cm ⁻¹) polipropileno.	Número de onda del microplástico película verde (cm ⁻¹).
C-H estiramiento	2900	2952, 2922, 2838
C-C tensión	1350-1450	1451
CH ₃ flexión	1200-1000	1100, 1001

POLIAMIDA TIPO NYLON



71

Tabla 5.19 Señales de referencia para poliamida tipo nylon y la muestra de suelo en el sitio Estadio 2, fragmento ámbar.

Grupo funcional o enlace	Número de onda de referencia (cm ⁻¹) para poliamida (tipo nylon).	Número de onda del microplástico fragmento ámbar (cm ⁻¹).
N-H estiramiento	3500-3000	3272
N-H flexión	1640-1550	1515
CH estiramiento	3000-2850	2921 y 2851
CH estiramiento	1470-1465	1515
C=O amida	1690-1630	1634
C=O amida	1200-1000	1024

En la Figura 5.19 se muestra la gráfica de la muestra fibra negra del sitio CEART 1, Río Tecate. En la Tabla 5.22 se muestran los grupos funcionales y número de onda de referencia y para la muestra que resultó un probable. Tereftalato de polietileno.

TEREFTALATO DE POLIETILENO

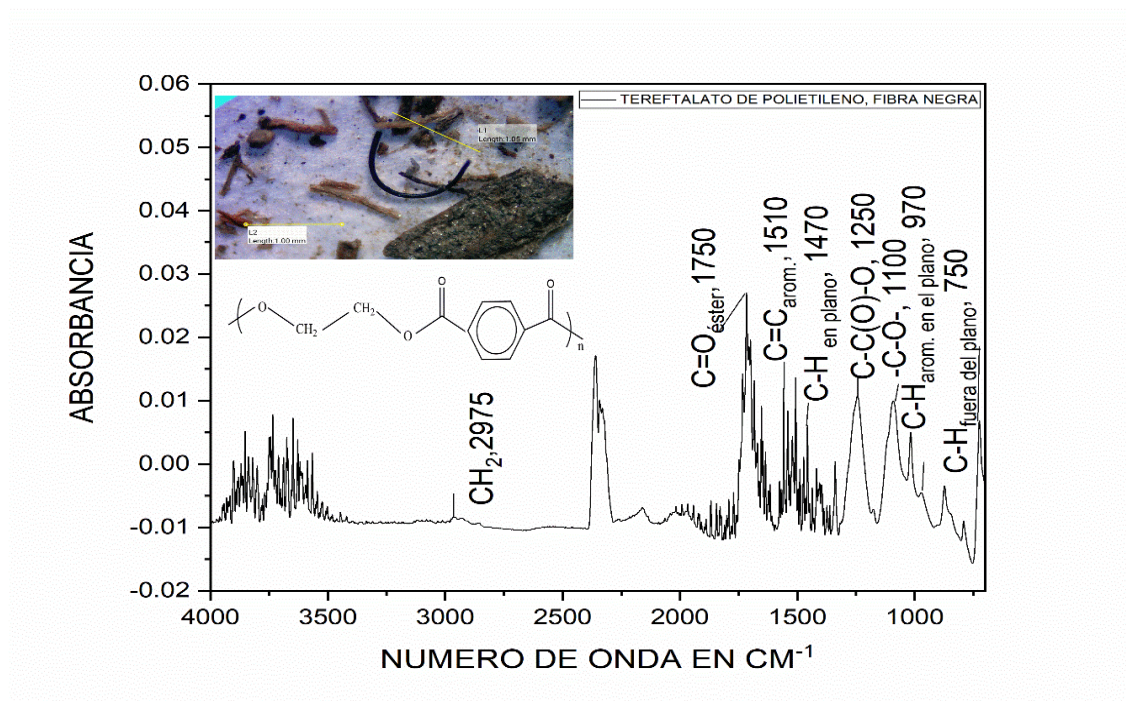


Figura 5.23 Gráfica Tereftalato de polietileno, fibra negra de la muestra de sedimentos del sitio CEART 1, río Tecate.

Tabla 5.20 Señales de referencia para tereftalato de polietileno (PET) y la muestra de suelo en el sitio CEART 1, fibra negra.

Grupo funcional o enlace	Número de onda de referencia (cm ⁻¹) para tereftalato de polietileno (PET).	Número de onda del microplástico fibra negra (cm ⁻¹).
-CH ₂ -asimétrico y simétrico	3000-2850	2975
=C-H aromáticos	3150-3050	3020 señal débil
estiramiento		
C=O éster	1750-1705	1750
C=C anillo aromático	1600 y 1475	1510 y 1470
C-H asimétrico en el plano, simétrico en el plano	1471, 1409 y 1340	1470, 1400
C-C(O)-O	1260-1250	1250
-O-C-	1130-1120	1100
	1100-1090	
C-H anillo aromático en el plano	1016 y 970	970
C-H anillo aromático fuera del plano	900-690	750

5 CONCLUSIONES.

Los resultados han mostrado que los escurrimientos de aguas pluviales son una de las principales fuentes de microplásticos en la Cuenca del Río Tijuana. La mediana de las concentraciones de microplásticos encontrada en las muestras fue de entre 66 y 191 partículas L^{-1} , la mayor abundancia se registró en un sitio de uso de suelo industrial. Las cargas microplásticas totales anuales estimadas fueron entre 8×10^5 y 3×10^6 partículas ha^{-1} . Las mayores concentraciones de microplásticos se observaron en eventos con mayor precipitación y en un sitio con uso de suelo industrial. Esto ha demostrado que los escurrimientos de aguas pluviales es una fuente importante de microplásticos para los cuerpos de agua. Los polímeros más abundantes identificados fueron el polietileno (45%), poliestireno (27%) y poliamidas tipo Nylon (16%), otros polímeros abundantes fueron el polipropileno y tereftalato de polietileno.

De igual manera se ha comprobado que las fuentes terrestres es una de las fuentes más importantes de microplásticos al medio marino. En el análisis de sedimentos y suelos adyacentes se encontró una abundancia alta de microplásticos. El intervalo de las medias de los suelos adyacentes al cauce fue entre 57 a 587 partículas por kilogramo mientras que en las muestras de sedimentos colectadas en el centro del cauce fue en un intervalo de entre 59 a 589 partículas por kilogramo. No se encontró diferencia estadística significativa con la comparación de los grupos de los dos tipos de muestras con la prueba de Mann-Whitney. El polímero identificado con mayor frecuencia en las muestras fue el polipropileno con 45.7%, en segundo lugar, el polietileno con 34.3% y, en tercer lugar, el poliestireno con 11.4%. Estos resultados concuerdan con otros estudios realizados internacionalmente, además de ser los polímeros con los volúmenes más altos producidos mundialmente. También se encontraron poliacrílico, poliamida tipo nylon y tereftalato de polietileno este último en forma de fibras.

Las descargas de las plantas de tratamiento de agua residuales son la mayor fuente de microplásticos, así como como descargas de aguas residuales provenientes de asentamientos irregulares, deposición de microplásticos, además de basureros clandestinos.

Las fibras fueron la forma más abundante en los muestreos de escurrimientos pluviales, suelo y sedimentos en la Cuenca del Río Tijuana.

6 REFERENCIAS.

- Avio CG, Gorbi S, Regoli F. (2017). Plastics and Microplastics in the Oceans: From Emerging Pollutants to Emerged Threat. *Marine Environmental Research* 128: 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.05.012>.
- Bakir A, Rowland SJ, Thompson RC. (2014). Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions. *Estuarine Coastal Shelf Science* 140: 14–21. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.01.004>.
- Baldwin, AK, Corsi SR, Mason SA. (2016). Plastic Debris in 29 Great Lakes Tributaries: Relations to Watershed Attributes and Hydrology. *Environmental Science and Technology* 50 (19): 10377–10385 <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02917>.
- Ballent A., Corcoran PL, Madden O, Helm PA, Longstaffe FJ. (2016). Sources and Sinks of Microplastics in Canadian Lake Ontario Nearshore, Tributary and Beach Sediments. *Marine Pollution Bulletin* 110 (1): 383–95. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.037>.
- Barnes DK. (2005). Remote islands reveal rapid rise of southern Hemisphere sea debris. *Directions in Science. TheScientificWorldJOURNAL* 5: 915–921. <https://downloads.hindawi.com/journals/tswj/2005/135820.pdf>
- Barnes DK, Galgani F, Thompson RC, Barlaz M. (2009). Accumulation and Fragmentation of Plastic Debris in Global Environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364(1526): 1985–1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.
- Barrows APW, Christiansen KS, Bode ET, Hoellein TJ. (2018). A Watershed-Scale, Citizen Science Approach to Quantifying Microplastic Concentration in a Mixed Land-Use River. *Water Research* 147: 382–92. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.013>.
- Birch GF, Matthai C, Fazeli MS, Suh JY. (2004). Efficiency of a constructed wetland in removing contaminants from stormwater. *Wetlands*. 24(2): 459–466. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0459:EOACWI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0459:EOACWI]2.0.CO;2)

- Brown JN, Peake BM. (2006). Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science Total Environmental*. 15;359(1-3): 145–155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.016>
- Browne MA. (2007). Environmental and Biological Consequences of Microplastics Within Marine Habitats. *PhD thesis University of Plymouth, England, UK*. <http://hdl.handle.net/10026.1/1299>
- Browne MA, Galloway TS, Thompson RC. (2010). Spatial Patterns of Plastic Debris along Estuarine Shorelines. *Environmental Science and Technology* 44 (9): 3404–9. <https://doi.org/10.1021/es903784e>.
- Browne MA, Crump P, Stewart JN, Teuten E, Tonkin A, Galloway T, Thompson R. (2011). “Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks.” *Environmental Science and Technology* 45 (21): 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>.
- Browne MA. (2015). Sources and Pathways of Microplastics to Habitats. In: Bergmann M, Gutow L, Klages M. *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Berlin, pp. 245–312.
- Carr SA, Liu J, Tesoro AG. (2016). Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res*. 15(91): 174-182. <http://dx.doi.org/10.1021/es201811s>
- Carr SA. (2017). Sources and dispersive modes of micro-fibers in the environment. *Integrated Environmental Assessment Management*. 13(3): 466-469.
- Cheung PK, Hung PL, Fok L. (2019). River Microplastic Contamination and Dynamics upon a Rainfall Event in Hong Kong, China. *Environmental Processes*. 6: 25-264. <https://doi.org/10.1007/s40710-018-0345-0>
- Claessens M, De Meester S, Landuyt LV, De Clerck K, Janssen CR. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *Marine Pollution Bulletin*. 62(10): 2199–2204. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.030>
- Cole M, Lindeque P, Halsband C, Galloway TS. (2011). Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review. *Marine Pollution Bulletin* 62(12): 2588–97. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cooper DA, Corcoran PL. (2010). Effects of Mechanical and Chemical Processes on the Degradation of Plastic Beach Debris on the Island of Kauai, Hawaii. *Marine Pollution Bulletin* 60(5): 650–54. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.12.026>

- Corcoran PL, Norris T, Ceccanese T, Walzak MJ, Helm PA, Marvin CH. (2015). Hidden plastics of Lake Ontario, Canada and their potential preservation in the sediment record. *Environmental Pollution*. 204, 17–25.
- De Falco F, Gullo MP, Gentile G, Di Pace E, Cocca M, Gelabert L, Brouta-Agnésa M, Rovira A, Escudero R, Villalba R, Mossotti R, Montarsolo A, Gavignano S, Tonin C, Avella M. (2018). Evaluation of microplastics release caused by textile washing processes of synthetic fabrics. *Environmental Pollution*. <http://doi.org/10.1016/j.envpol.2017-10.057>. In press <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117309387>
- Dehghani S, Moore F, Akhbarizadeh R. (2017). Microplastic Pollution in Deposited Urban Dust, Tehran Metropolis, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(25): 20360–71. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9674-1>
- Depledge MH, Galvani F, Panti C, Caliani I, Casini S, Fossi MC. (2013). Plastic litter in the sea. *Marine Environmental Research*. 92: 279-281. <http://dx.doi.org/10.1016/J.Marenvres.2013.10.002>
- Dris R, Gasperi J, Rocher V, Saad M, Renault N, Tassin B. (2015). Microplastic Contamination in an Urban Area: A Case Study in Greater Paris. *Environmental Chemistry* 12(5): 592–99. <https://doi.org/10.1071/EN14167>
- Dris R, Gasperi J, Tassin B. (2018). Sources and Fate of Microplastics in Urban Areas: a focus on Paris Megacity. In Wagner M, Lamber S (eds) Freshwater microplastics. *The Handbook of Environmental Chemistry, Springer*. 58:69-83. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61615-5_4
- Eerkes-Medrano D, Thompson RC, Aldridge DC. (2015). Microplastics in Freshwater Systems: A Review of the Emerging Threats, Identification of Knowledge Gaps and Prioritisation of Research Needs. *Water Research* 75: 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Fendall LS, Sewell MA. (2009). Contributing to Marine Pollution by Washing Your Face: Microplastics in Facial Cleansers. *Marine Pollution Bulletin* 58(8): 1225–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.04.025>
- Ganster P. (2005). *A binational Vision for the Tijuana River Watershed*, San Diego, Institute for Regional Studies of the California's, San Diego State University. Versión en español disponible en <http://trw.sdsu.edu>

- García-Flores E, Wakida TF, Espinoza-Gomez HJ. (2013). Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Storm Water Runoff in Tijuana, Mexico. *International Journal of Environmental Research* 7 (2): 387–94.
- Gautam MR, Acharya K, Stone M. (2010). Best Management Practices for Stormwater Management in the Desert Southwest. *Journal Contemporary Water Research & Education*. 146: 39-49. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2010.00390.x>
- Gersberg R. (2005) Water Quality in : Wright L, Vela R, Ganster P. *Tijuana river watershed atlas*. San Diego State University. 28.
- Gregory MR. (1996). Plastic Scrubbers in Hand Cleansers: a further (and minor) source for marine pollution identified. *Marine Pollution Bulletin* 32(12): 867–71. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(96\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(96)00047-1)
- Habib D, Locke DC, Cannone LJ. (1996). Synthetic fibers as indicators of municipal sewage sludge, sludge products, and sewage treatment plant effluents. *Water, Air & Soil Pollution*. 103: 1–8.
- Hidalgo-Ruz V, Gutow L, Thompson RC, Thiel M. (2012). Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*. 46(6): 3060-3075.
- Hoellein TJ, McCormick AR, Hittie J, London MG, Scott JW, Kelly JJ. (2017). Longitudinal patterns of microplastic concentration and bacterial assemblages in surface and benthic habitats of an urban river. *Freshwater Science*. 36:(3), 491-507.
- Horton AA., Svendsen C, Williams RJ., Spurgeon DJ, Lahive E. (2017). Large microplastic particles in sediments of tributaries of the River Thames, UK – Abundance, sources and methods for effective quantification. *Marine Pollution Bulletin* 114:(1). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.004>
- Imhof HK, Ivleva NP, Schmid J, Niessner R, Laforsch C. (2013). Contamination of beach sediments of a subalpine lake with microplastic particles. *Current Biology* 23(19): PR867–R868. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.09.001>
- IMPLAN. (2010). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población Tijuana 2008- 030 (Program of urban development of the City of Tijuana)*. XIX Ayuntamiento de Tijuana. https://drive.google.com/file/d/0B8Gk_56FBALrdXZUVlJqMmVBdW8/view.

- IMPLAN. (2019). *Plan integral de movilidad urbana sustentable para la zona metropolitana Tijuana - Tecate -Playas de Rosarito (Comprehensive sustainable urban mobility plan for the Tijuana metropolitan area - Tecate -Playas de Rosarito)*. XXII Ayuntamiento de Tijuana.
- INEGI. (2019). *Programa de la industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación (IMMEX) - 2007 en adelante (Program of the manufacturing industry, maquiladora and exportation service)* <https://www.inegi.org.mx/temas/manufacturasexp/> (accessed April 26, 2019).
- Kataoka T, Nihei Y, Kudou K, Hinata H. (2019). Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan. *Environmental Pollution*. 244:958-965. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.111>
- Jambeck JR., Geyer R, Wilcox C, Siegler TR, Perryman M, Andrady A, Narayan R, Law KL. (2015) Plastic Waste input from land into the ocean. *Science* 347(6223):768-771. <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/768>
- Kay P, Hiscoe R, Moberley I, Bajic L, McKenna N. (2018). Wastewater treatment plants as a source of microplastics in river catchments. *Environmental Science and Pollution Research* 25:(20): 20264–67. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2070-7>
- Klein S, Worch E, Knepper TP. (2015). Occurrence and spatial distribution of microplastics in river shore sediments of the Rhine-Main Area in Germany. *Environmental Science and Technology* 49(10): 6070–76. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b00492>
- Lebreton LCM., Zwet JVD, Jan-Willem D, Boyan S, Andrady A, Reisser J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* 8:1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lechner A, Keckeis H, Lumesberger-Loisl F, Zens B, Krusch R, Tritthart M, Glas M, Schludermann E. (2014). The Danube so colourful: A potpourri of plastic litter outnumbers fish larvae in Europe's second largest river. *Environmental Pollution* 188:177–81. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.02.006>
- Leslie HA. (2014). Review of microplastics in cosmetics: scientific background on a potential source of plastic particulate marine litter to support decision-making. *Institute for Environmental Studies, VU University of Amsterdam* (33).
- Leslie, HA, SH Brandsma, MJM. van Velzen, AD. Vethaak. (2017). Microplastics en route: field

- measurements in the Dutch River Delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environment International* 101:133-142
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.018>
- Lin L, Lin-Zi. Z, Jin-Pin. P, Li-Qi C, Fok L, Yan Y, Heng-Xiang. L, Xiang-Rong X. (2018). Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: a case study in the Pearl River along Guangzhou City, China. *Science of the Total Environment* 644:375–81.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.327>
- Liu F, Olesen KB, Borregaard AR, Vollertsen J. (2019). Microplastics in urban and highway stormwater retention ponds. *Science of the Total Environment* 671:992-1000.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.416>
- Löder MGJ., Imhof HK, Ladehoff M., Löschel LA, Lorenz C, Mintenig S, Piehl S, Primpke S, Schrank I, Laforsch C, Gerdt G. (2017). Enzymatic purification of microplastics in environmental samples. *Environmental Science and Technology* 51(24)14283-14292. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03055>
- Mani T, Armin Hauk Ulrich W, Burkhardt-Holm P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River.” *Scientific Reports* 5:17988. <https://doi.org/10.1038/srep17988>
- Mason SA, Garneau D, Sutton R, Chu Y, Ehmann K, Barnes J, Fink P, Papazissimos D, Rogers DL. (2016). Microplastic pollution is widely detected in US municipal wastewater treatment plant effluent. *Environmental Pollution* 218: 1045–54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.056>
- McCormick AR., Hoellein TJ, London MG, Hittie J, Scott JW, Kelly JJ. (2016). Microplastic in Surface Waters of Urban Rivers: Concentration, Sources, and Associated Bacterial Assemblages. *Ecosphere* 7 (11). <https://doi.org/10.1002/ecs2.1556>
- Mijangos-Montiel JL, Wakida FT, Temores-Peña J. (2010). Stormwater Quality from Gas Stations in Tijuana, Mexico. *International Journal of Environmental Research* 4 (4): 777–84.
- Mintenig, SM, Int-Veen, I, Löder, MGJ, Primpke, ., Gerdt, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of wastewater treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research.*, 108, 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>
- Mohamed Nor, Nur Hazimah, and Jeffrey Philip Obbard. 2014. “Microplastics in Singapore’s Coastal Mangrove Ecosystems.” *Marine Pollution Bulletin* 79 (1–2): 278–83.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.11.025>.

Moore CJ. (2008). Synthetic polymers in the marine environment: a rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research* 108:131–139.

Moore MR., Vetter W, Gaus C, Shaw GR, Müller J. (2002). Trace organic compounds in marine environment. *Marine Pollution Bulletin*. 45: 62 – 68.

Moore CJ, Lattin GL, Zellers AF. (2011). Quantity and Type of Plastic Debris Flowing from Two Urban Rivers to Coastal Waters and Beaches of Southern California. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 11(1): 65–73. <https://doi.org/10.5894/rgci194>

Murphy F, Ewins C, Carbonnier F, Quinn B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a source of microplastics in the aquatic environment. *Environmental Science & Technology*. 50 (11): 5800-5808- <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>

Napper IE, Bakir A, Rowland SJ., Thompson RC.(2015). Characterization quantity and sorptive properties of microplastics extracted from cosmetics. *Marine. Pollution Bulletin*. 99(1-2): 178-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.07.029>.

Napper IE, Thompson RC. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibers from domestic washing machines: effects on fabrics type and washing conditions. *Marine Pollution Bulletin*. 112(1-2): 39-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.025>

Pavia MM, Lampman GL, Kris GS (2001). Introduction to Spectroscopy. Third Edition, Brooks Cole Thompson.

Piñon-Colin TDJ, Rodriguez-Jimenez R, Rogel-Hernandez E, Alvarez-Andrade A, Wakida FT. (2020). Microplastics in Stormwater Runoff in a Semiarid Region, Tijuana, Mexico. *Science of the Total Environment* 704: 135411. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135411>

Plastics Europe. (2016). Plastics-the Facts. 2015. An analysis of european plastics production, demand and waste data [www. plasticeurope.org](http://www.plasticeurope.org)

Quiñonez-Plaza A, Wakida FT, Temores-Peña J, Rodriguez-Mendivil DD, Garcia-Flores E, Pastrana-Corral MA, Melendez-Lopez SG. (2017). Total Petroleum Hydrocarbons and Heavy Metals in Road-Deposited Sediments in Tijuana, Mexico. *Journal of Soils and Sediments* 17(12): 2873–86.

<https://doi.org/10.1007/s11368-017-1778-1>

Ramírez-Álvarez N, Rios Mendoza LM, Macías-Zamora JV, Oregel-Vázquez L, Alvarez-Aguilar A, Hernández-Guzmán FA, Sánchez-Osorio JL, Moore CJ, Silva-Jiménez H, Navarro-Olache LF. (2020). Microplastics: Sources and distribution in surface waters and sediments of Todos Santos Bay, Mexico. *Science of Total Environment*. 703:134838. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.134838. Epub 2019 Nov 3. PMID: 31731152. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134838

REUTERS. (2018). New Orleans pulls 46 tons of Mardi Gras beads from storm drains. Retrieved from: <http://www.routers.com/article/us-usa-mardigras-new-orleans/new-orleans-pulls-46-ton-of-mardi-grass-beads-from-storm-drains-idUSKBN1FF2KJ>

Sansalone JJ, Buchberger SG. (1995). An Infiltration Device as a Best Management Practice for Immobilizing Heavy Metals in Urban Highway Runoff. *Water Science and Technology*. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(95\)00546-Y](https://doi.org/10.1016/0273-1223(95)00546-Y)

Sillanpaa M, Sainio P. (2017). Release of polyester and cotton fibers from textiles in machine washings. *Environmental Science Pollution Research*. 24(23), 19313-19321. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9621-1>

Talvitie J, Heinonen M, Jari-Pekka P, Vahtera E, Mikola A, Setälä O, Vahala R. (2015). Do Wastewater Treatment Plants Act as a Potential Point Source of Microplastics? Preliminary Study in the Coastal Gulf of Finland, Baltic Sea. *Water Science and Technology* 72 (9). <https://doi.org/10.2166/wst.2015.360>

Talvitie J, Mikola A, Setälä O, Heinonen M, Koistinen A. (2017). How Well Is Microlitter Purified from Wastewater? – A Detailed Study on the Stepwise Removal of Microlitter in a Tertiary Level Wastewater Treatment Plant. *Water Research* 109. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.046>

Thompson RC. (2006). Plastic debris in the marine environment: consequences and solutions in: Krause JC, Nordheim H, Brager S. *Marine Nature Conservation in Europe*. Federal Agency for nature Conservation, Stralsund, Germany, 107-115.

Townsend KR, Lu HC, Sharley DJ, Pettigrove V. (2019). Associations between microplastic pollution and land use in urban wetland sediments. *Environmental Science Pollution Research International*. 26(22): 22551-22561. doi: 10.1007/s11356-019-04885-w

- Trujillo-González JM, Torres-Mora MA, Jiménez-Ballesta R, Zhang J. (2018). Landuse-dependent spatial variation and exposure risk of heavy metals in road-deposited sediment in Villavicencio, Colombia. *Environmental Geochemistry and Health*. 41:667-679. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0160-6>
- Turner A, Holmes LA. (2015). Adsorption of trace metals by microplastics pellets in fresh water. *Environmental. Chemistry*. 12 (5): 600-610. <https://doi.org/10.1071/EN14143>
- Vianello A, Boldrin A, Guerriero P, Mochino V, Rella R, Sturaro A, Ros LD. (2013). Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 130: 54-61. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272771413001480>
- Vieira GH, Nogueira MB, Gaio EJ, Rosing CK, Santiago SL, Rego RO. (2016). Effect of whitening toothpastes on dentin abrasion: an in vitro study. *Oral Health and Preventive Dentistry* 14(6): 547-553. <http://dx.doi.org/10.3290/j.ohpd.a36465>
- Wagner M, Scherer C, Alvarez-Munoz D, Brennholt N, Bourrain X, Buchinger S, Fries E, Grosbois C, Klasmeier J, Marti T, Rodriguez-Mozaz S, Urbatzka R, Vethaak AD, Winther-Nielsen M, Reifferscheid G. (2014). Microplastics in Freshwater Ecosystems: What We Know and What We Need to Know. *Environmental Sciences Europe* 26(12): 9. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- Wang S, He Q, Ai H, Wang Z, Zhang Q: (2013). Pollutant concentrations and pollution loads in stormwater runoff from different land uses in Chongqing. *Journal Environmental. Science. (China)*. 25(3): 502-510. [https://doi.org/10.1016/S1001-0074\(11\)61032-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0074(11)61032-2)
- Weather underground. (2018). Disponible en: https://www.wunderground.com/history/airport/MMTJ/2018/4/30/DailyHistory.html?req_city=&req_state=&req_statename=&reqdb.zip=&reqdb.magic=&reqdb.wmo=
- Winckell A, Le Page A. (2003). El Niño in the city: Vulnerability assessment in Tijuana during the winter of 1997-98. *Geofísica Internacional*. 42, 553-565.
- Wilber RJ, (1987). Plastic in the North Atlantic. *Oceanus*. 30: 31-68. <https://doi.org/10.1126/science.1192321>

- Yonkos LT, Friedel EA, Perez-Reyes AC, Ghosal S, Arthur CD. (2014). Microplastics in four estuarine rivers in the Chesapeake Bay, USA. *Environmental. Science. Technology*. 48: 14195–14202. DOI: 10.1021/es5036317
- Xiong X, Wu C, Elser JJ, Mei Z, Hao Y. (2019). Occurrence and fate of microplastic debris in middle and lower reaches of the Yangtze River - From inland to the sea. *Science Total Environmental*. 659: 66-73. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.313>
- Zhang J, Hua P, Zhao Z, Wu L, Fan G, Bai Y, Kaeseberg T, Krebs P, (2017). The influence of land use on source apportionment and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in road-deposited sediment. *Environmental Pollution*. 229: 705–714
- Zhang S, Yang X, Gertsen H, Peters P, Salánki T, GeissenV. (2018). A Simple Method for the Extraction and Identification of Light Density Microplastics from Soil. *Science of the Total Environment* 616–617. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.213>
- Zhao S, Zhu I, Li D. (2015). Microplastic in Three Urban Estuaries, China. *Environmental Pollution* 206: 597–604. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.027>.
- Ziajahromi S, Neale PA, Rintoul L, Leusch FDL. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*. 112, 93-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.042>
- Zubris KA, Richards BK, (2005). Synthetic fibers as an indicator of land application of sludge. *Environmental. Pollution*. 138, 201–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2005.04.013>

ANEXOS

Anexo A Espectros para muestras de microplásticos encontrados en sedimentos y suelos de la ribera de la CRT.

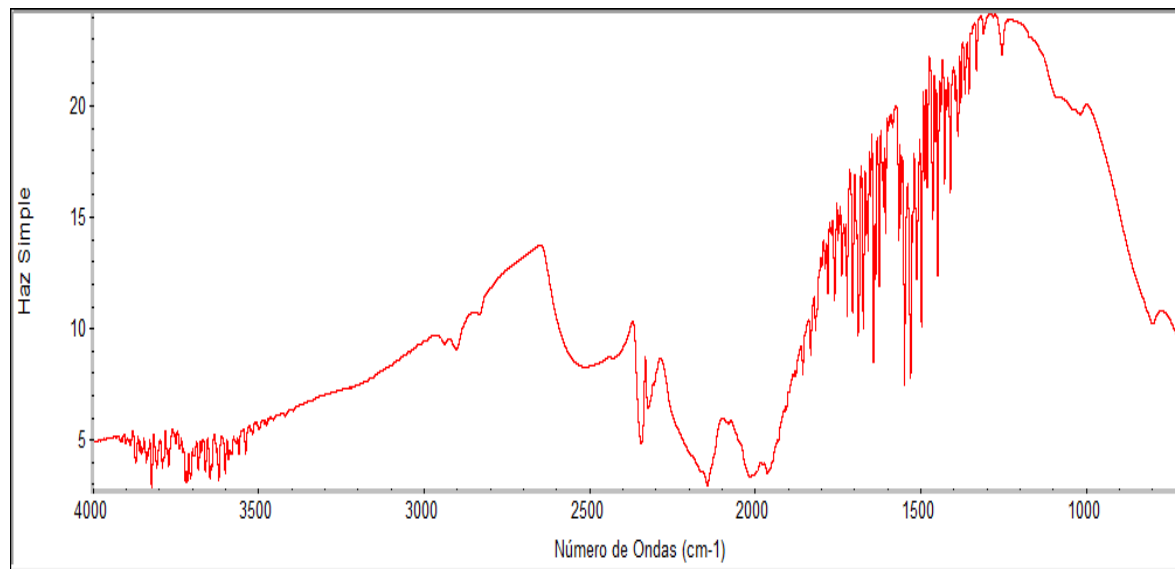


Figura A.1. Blanco en absorbancia.

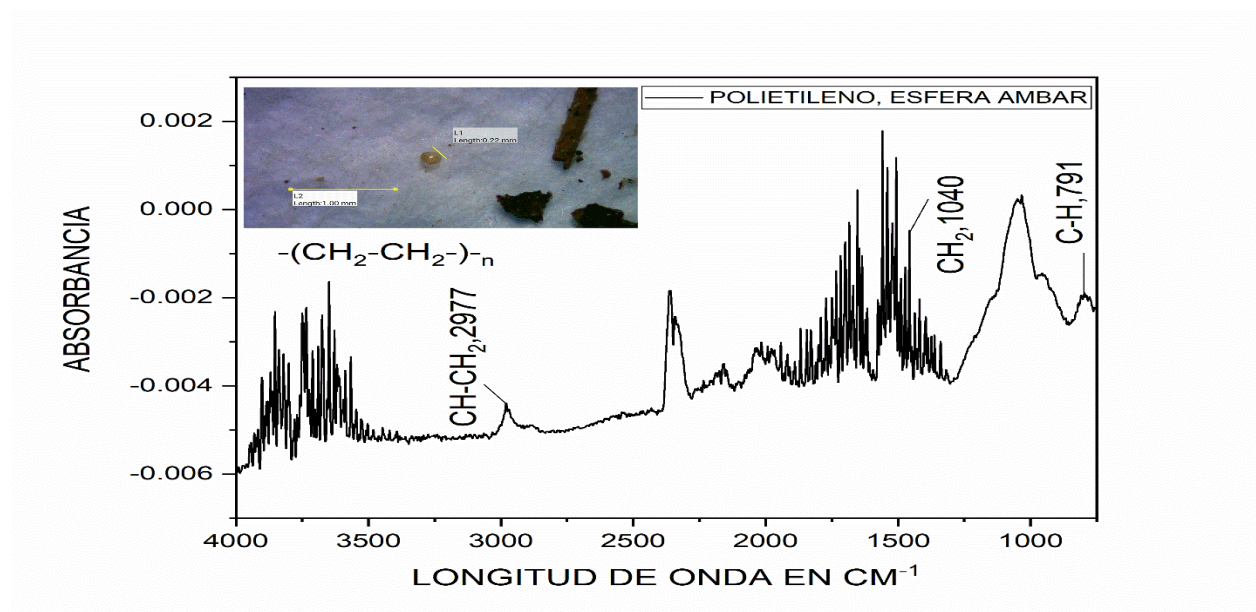


Figura A2. Gráfica polietileno, esfera ámbar de la muestra de sedimentos del sitio Encinos 1, río Tecate.

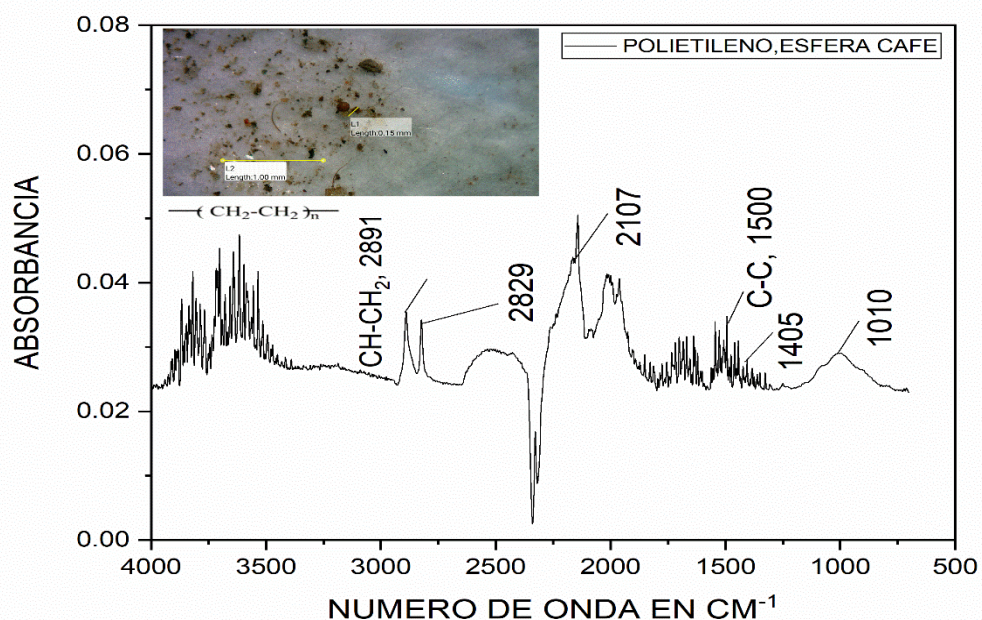


Figura A3. Gráfica polietileno, esfera café de la muestra de sedimentos del sitio Estadio 2 del río Tecate.

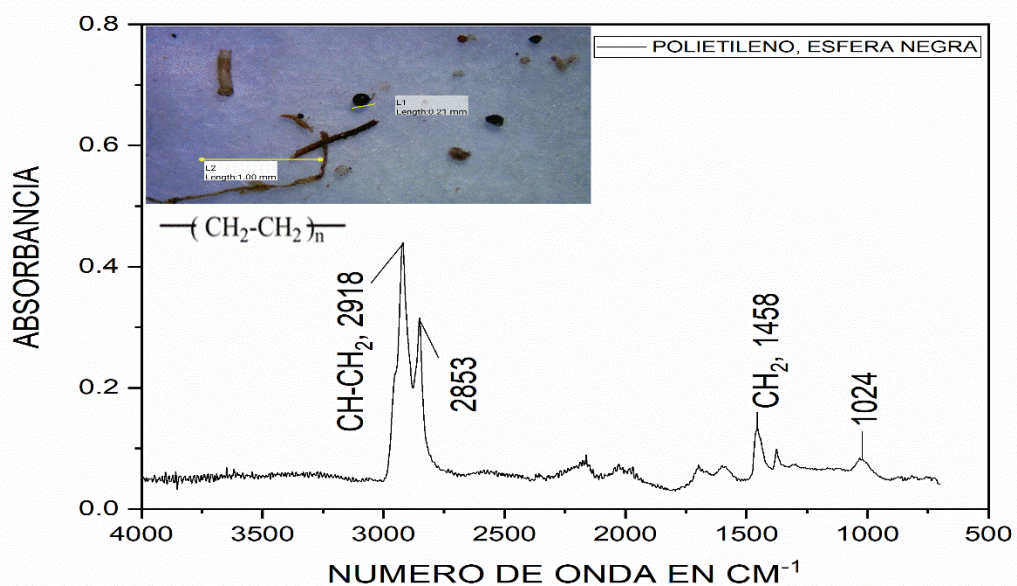


Figura A4. Gráfica polietileno esfera negra de la muestra encontrada en sedimentos del sitio Alamar 2 río Tecate.

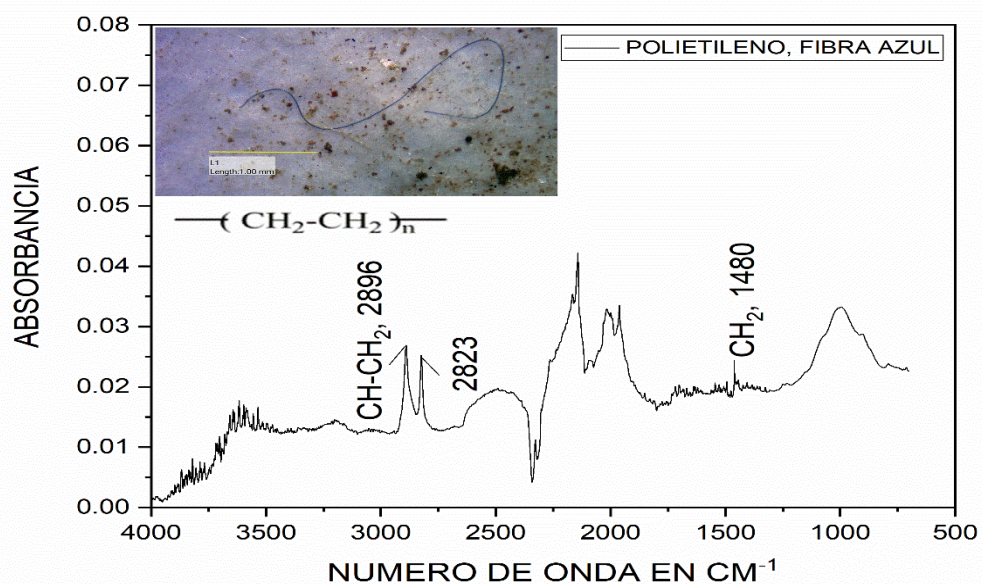


Figura A5. Gráfica para polietileno de la muestra fibra azul encontrada en sedimentos Estadio 2 río Tecate.

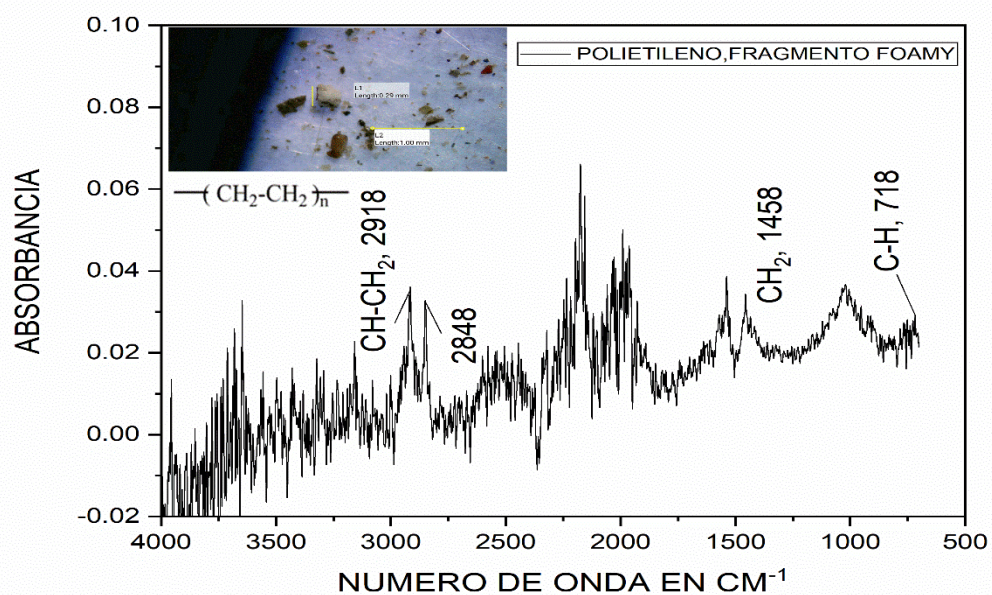


Figura A6. Gráfica polietileno, fragmento foamy de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Alamar 2, río Tecate.

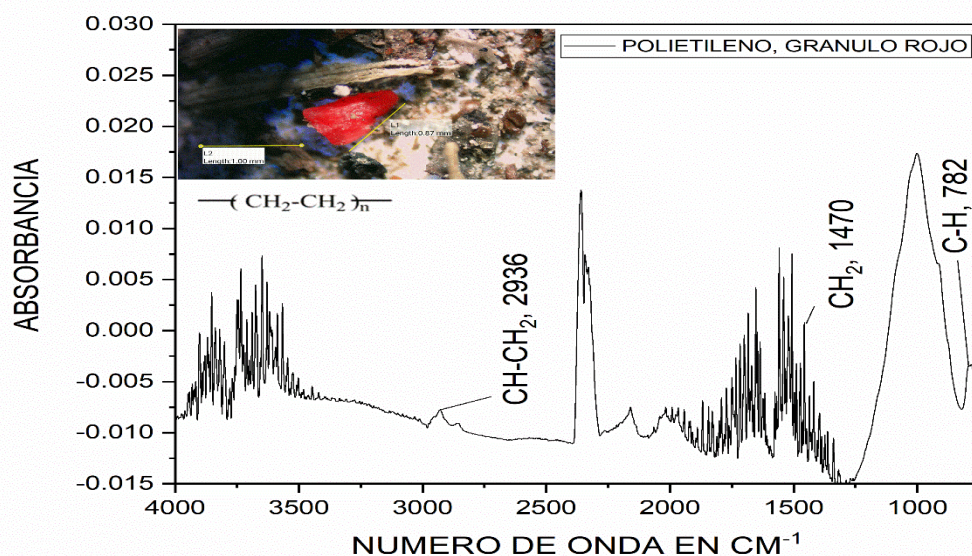


Figura A7. Gráfica polietileno, fragmento rojo de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio CEART 1, río Tecate

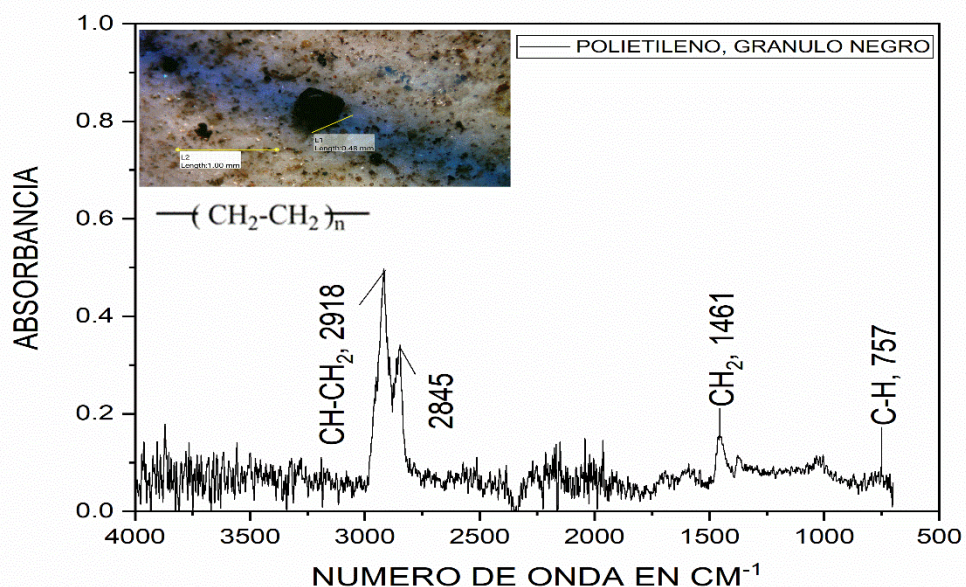


Figura A8. Gráfica polietileno, fragmento negro de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

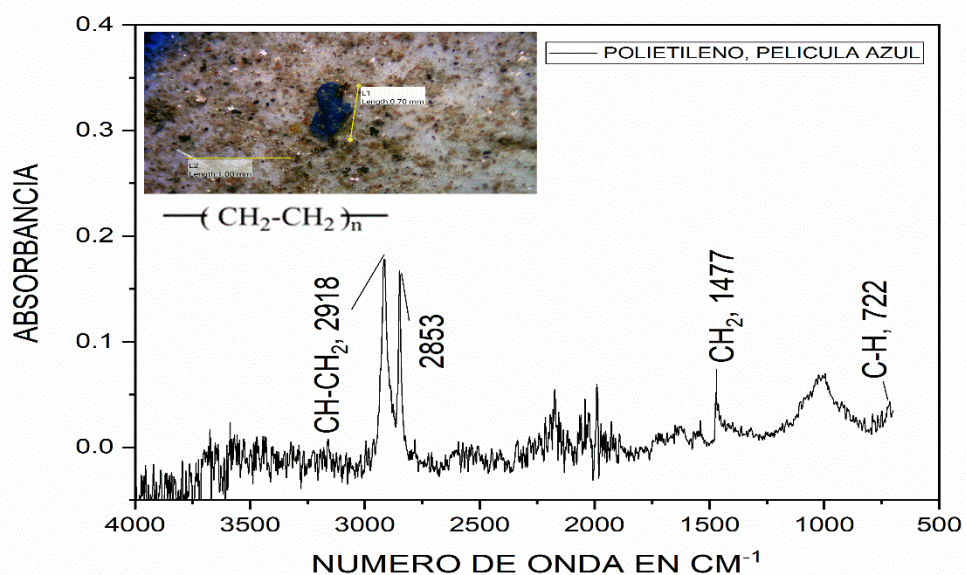


Figura A9. Gráfica polietileno, película azul de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio CEART 1, río Tecate.

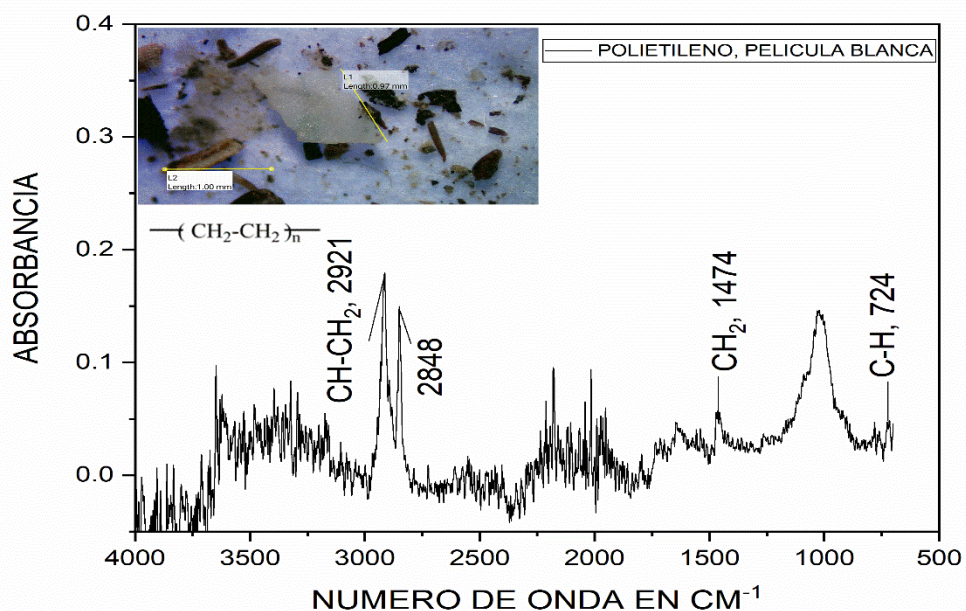


Figura A10. Gráfica polietileno, película blanca de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio CEART 1, río Tecate.

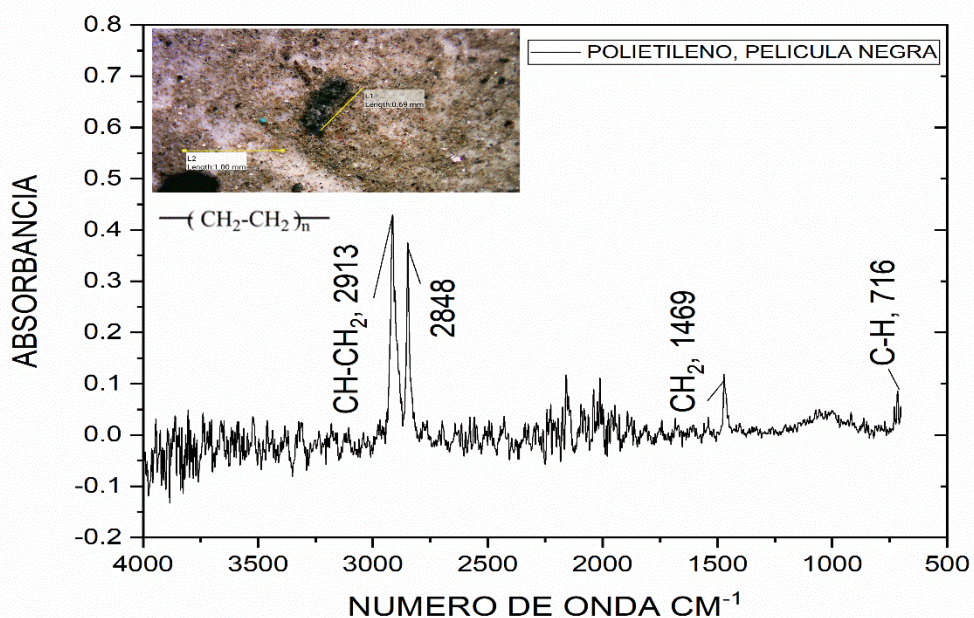


Figura A11. Gráfica polietileno, película negra de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio CEART 1, río Tecate.

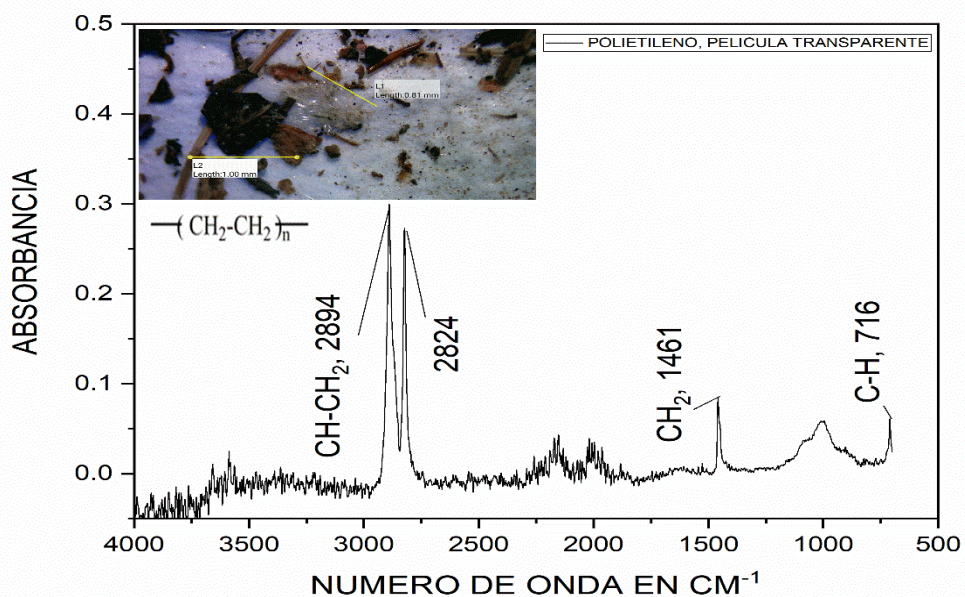


Figura A12. Gráfica polietileno, película transparente de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 2, río Tecate.

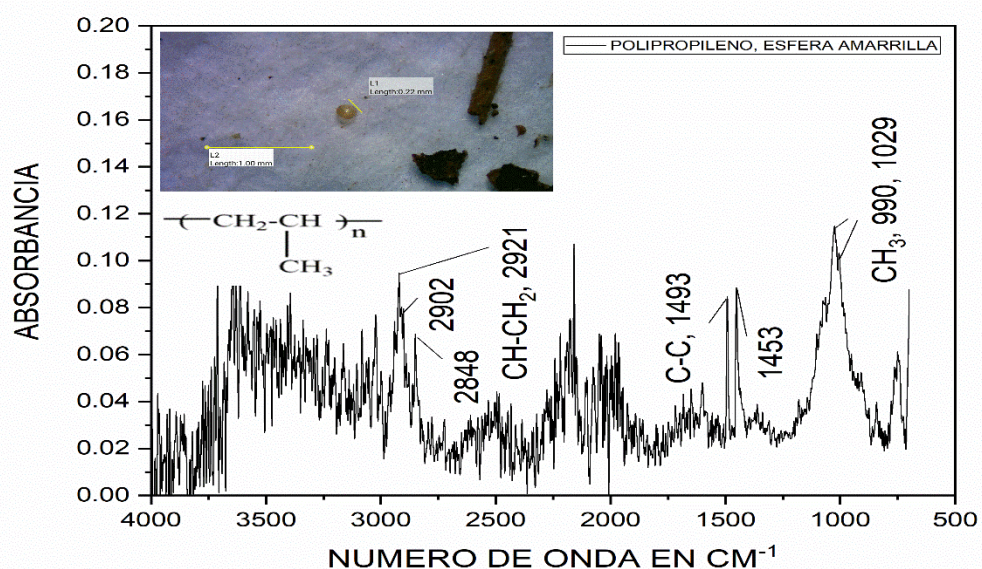


Figura A13. Gráfica polipropileno, esfera amarilla de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Alamar 2, río Tecate.

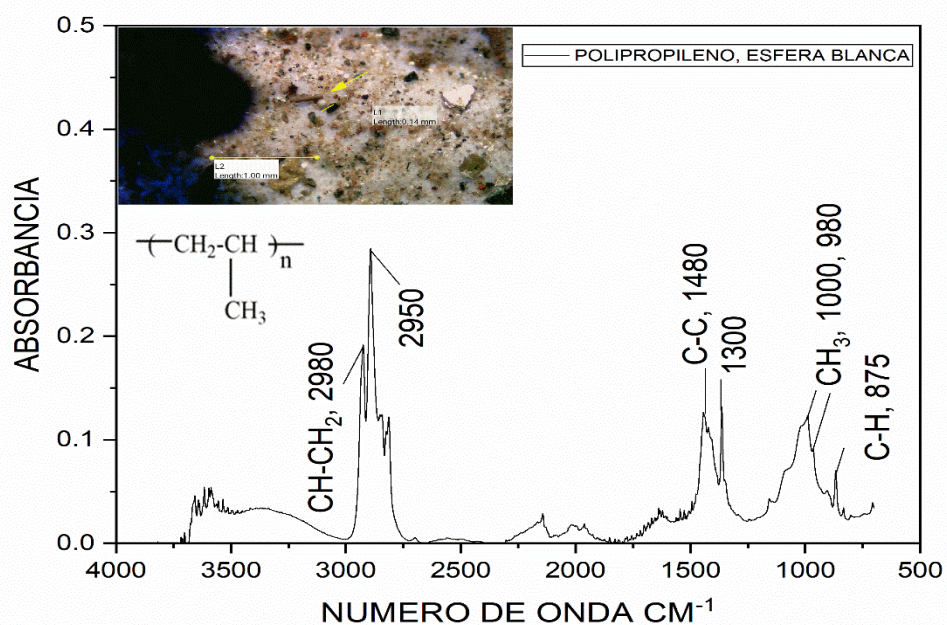


Figura A14. Gráfica polipropileno, esfera blanca de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 2, río Tecate.

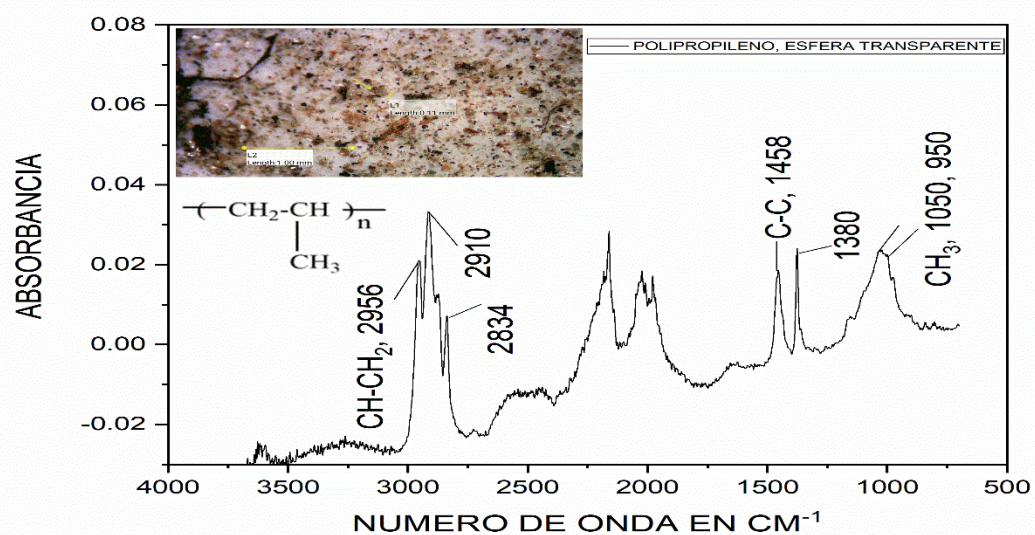


Figura A15. Gráfica polipropileno, esfera transparente de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Encinos 1, río Tecate.

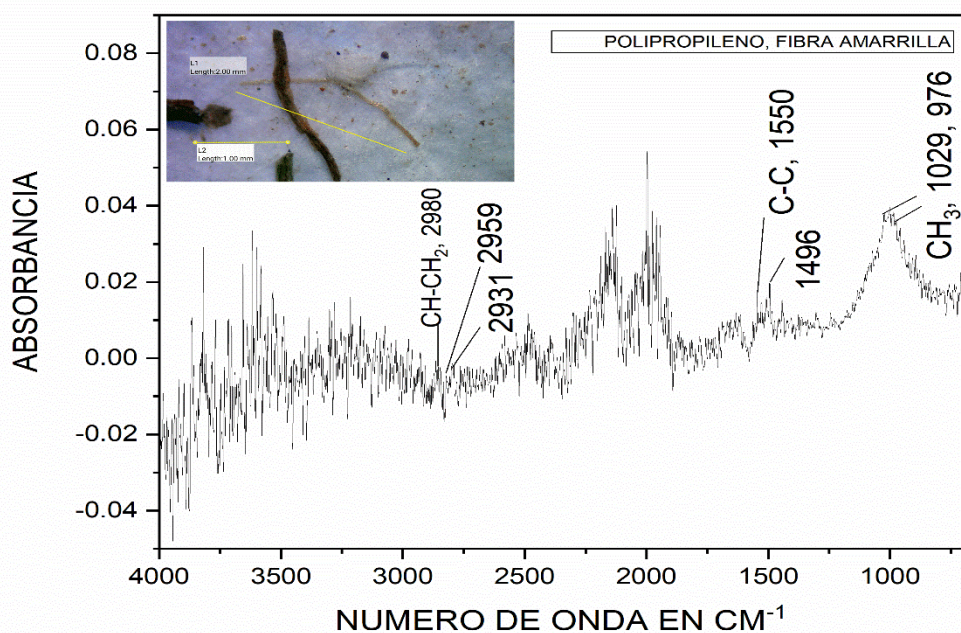


Figura A16. Gráfica polipropileno, fibra amarilla de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

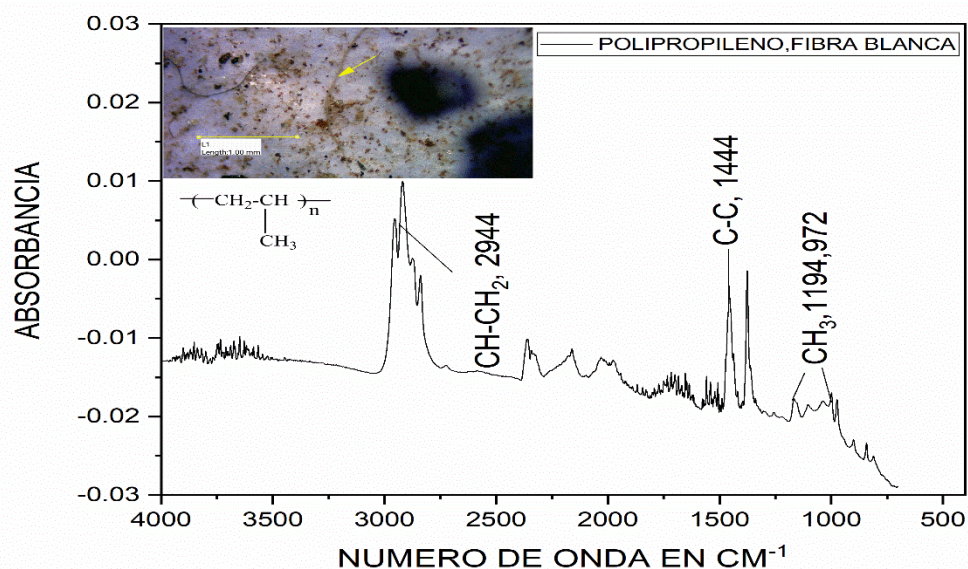


Figura A17. Gráfica polipropileno, fibra blanca de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Puerta 2, río Tecate.

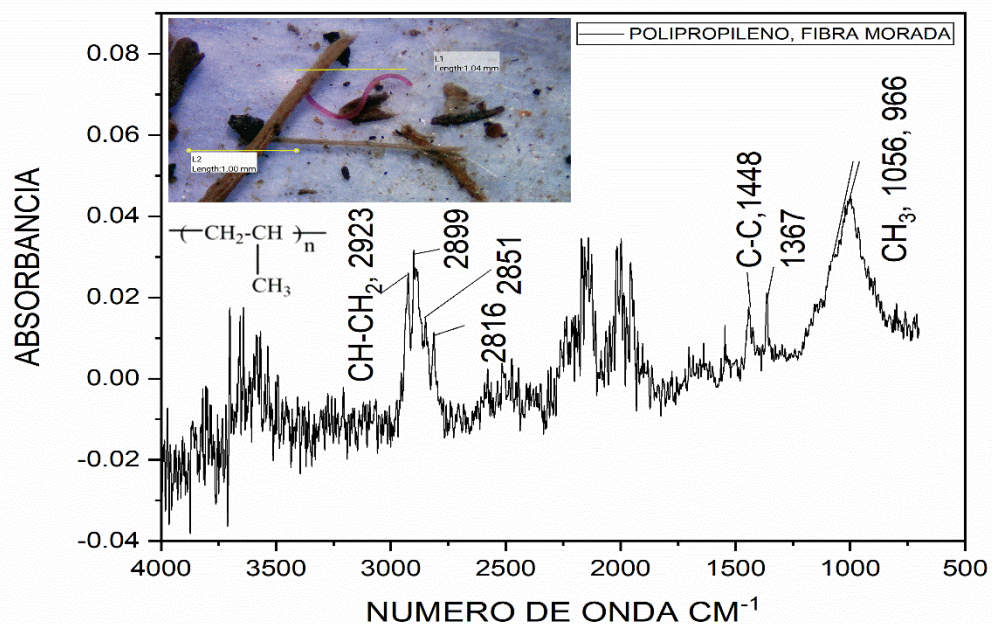


Figura A18. Gráfica polipropileno, fibra morada de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

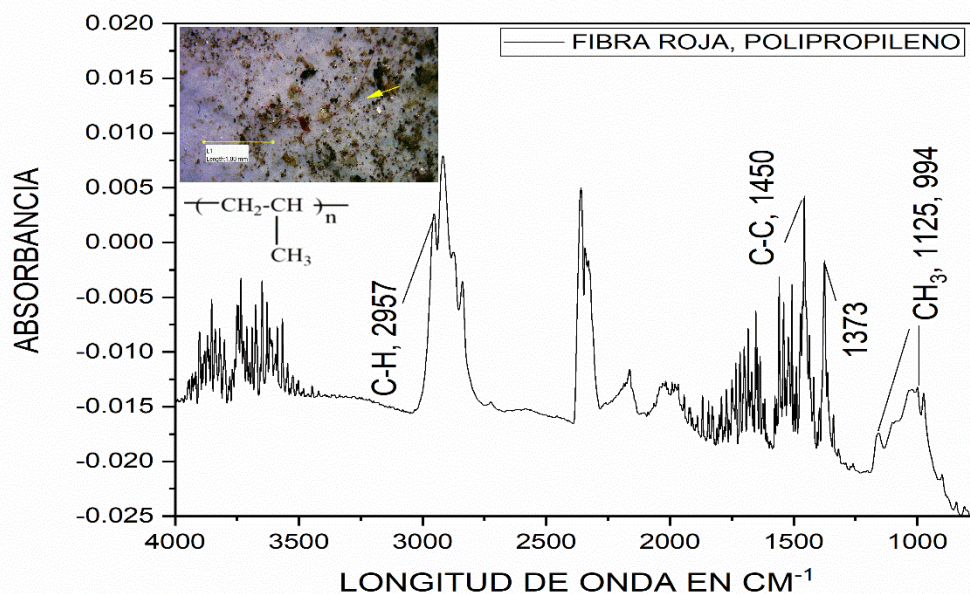


Figura A19. Gráfica polipropileno, fibra roja de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Canchas 2, río Tecate.

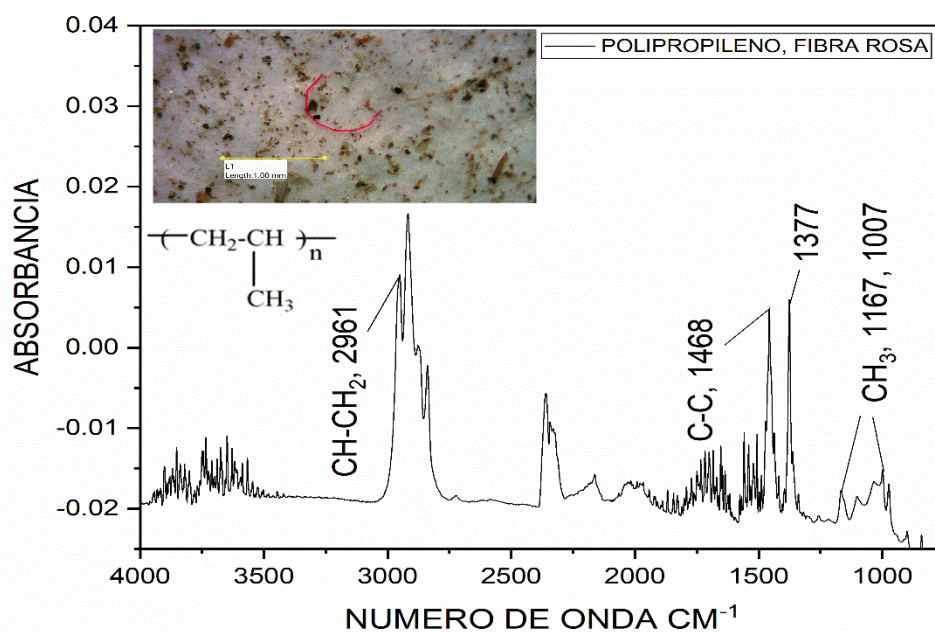


Figura A20. Gráfica polipropileno, fibra rosa de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Rosales 2, río Tecate.

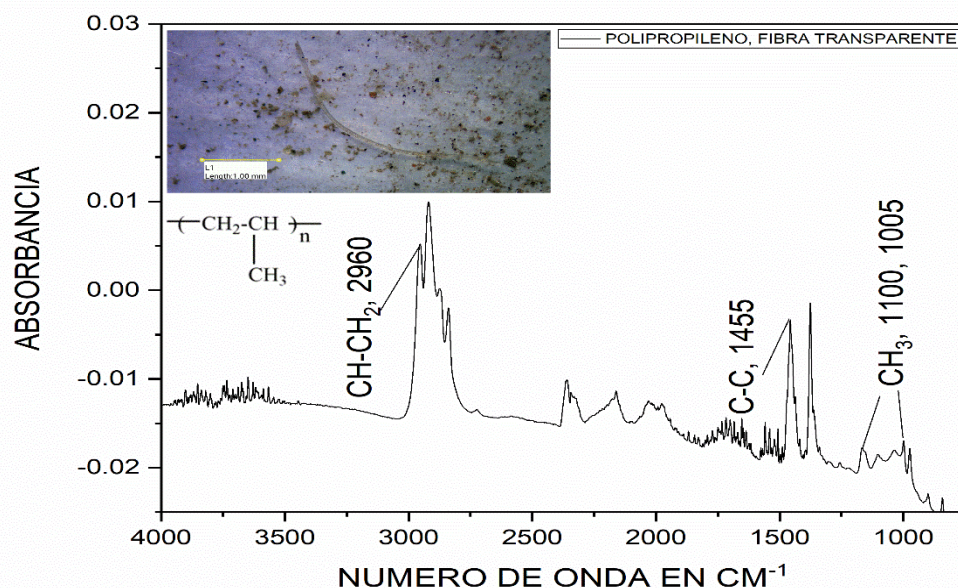


Figura A21. Gráfica polipropileno, fibra transparente de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio PTAR 1, río Tecate.

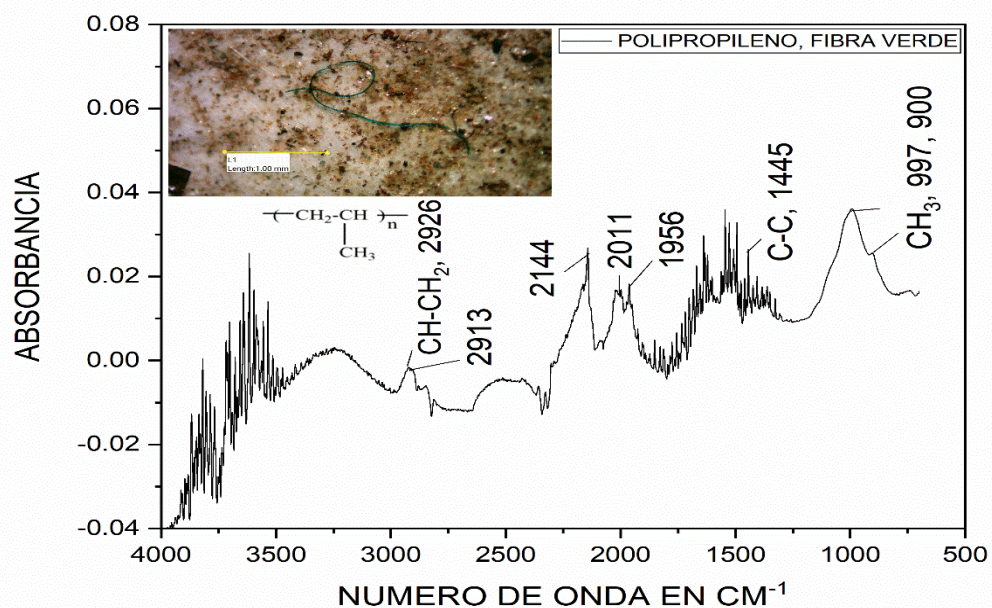


Figura A22. Gráfica polipropileno, fibra verde de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

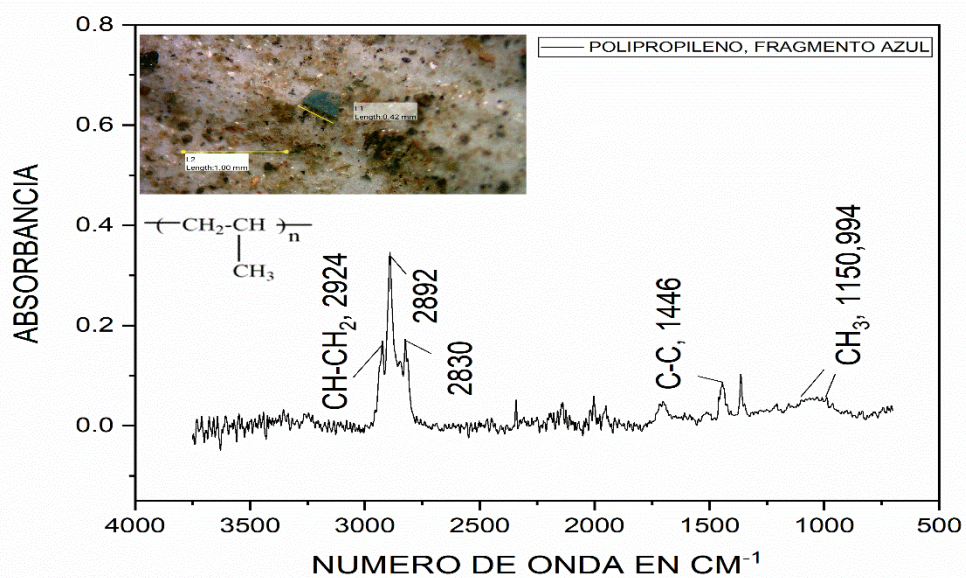


Figura A23. Gráfica polipropileno, fragmento azul de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Rosales 1, río Tecate.

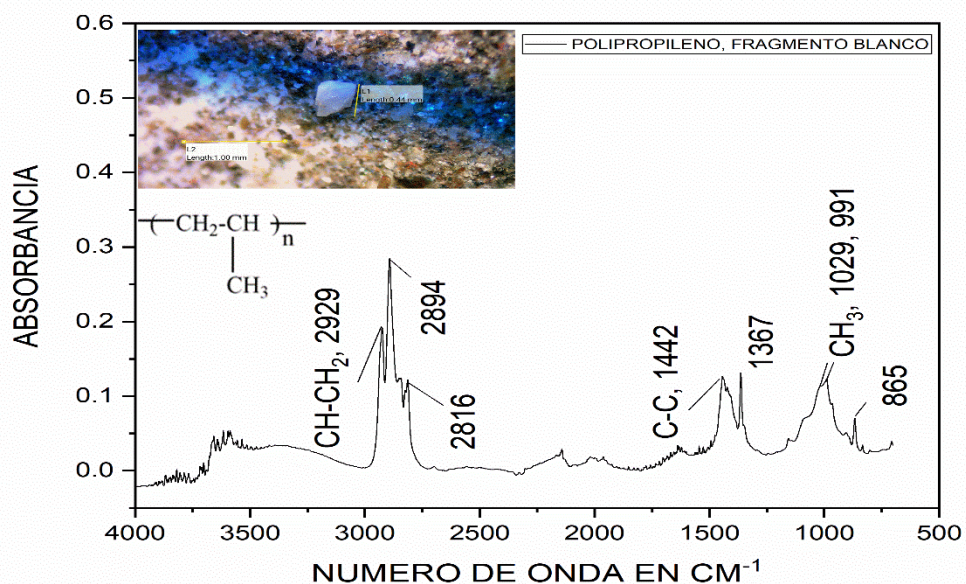


Figura A24. Gráfica polipropileno, fragmento blanco de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

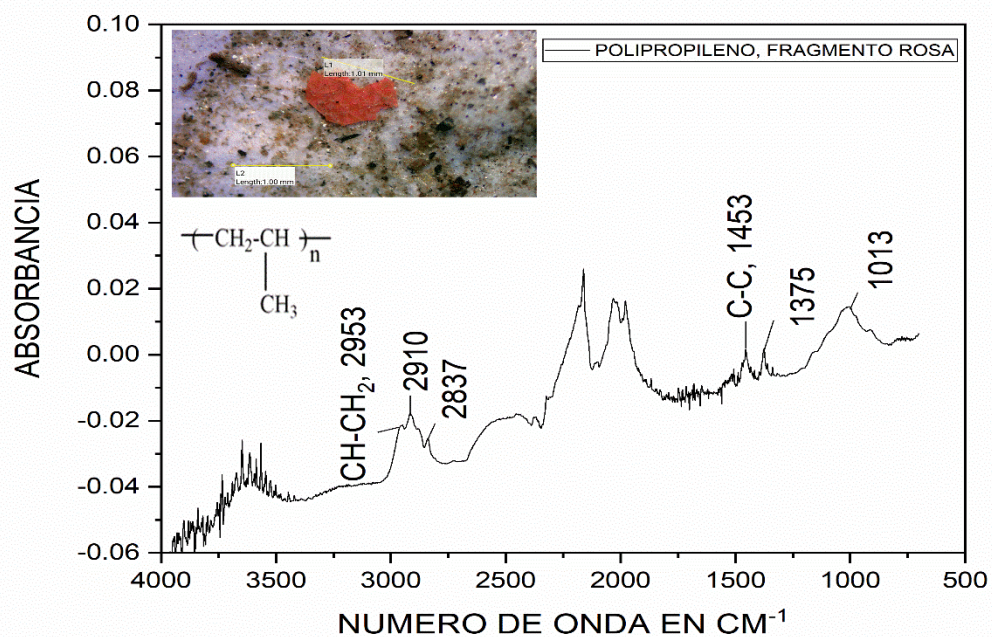


Figura A25. Gráfica polipropileno, fragmento rosa de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 2, río Tecate.

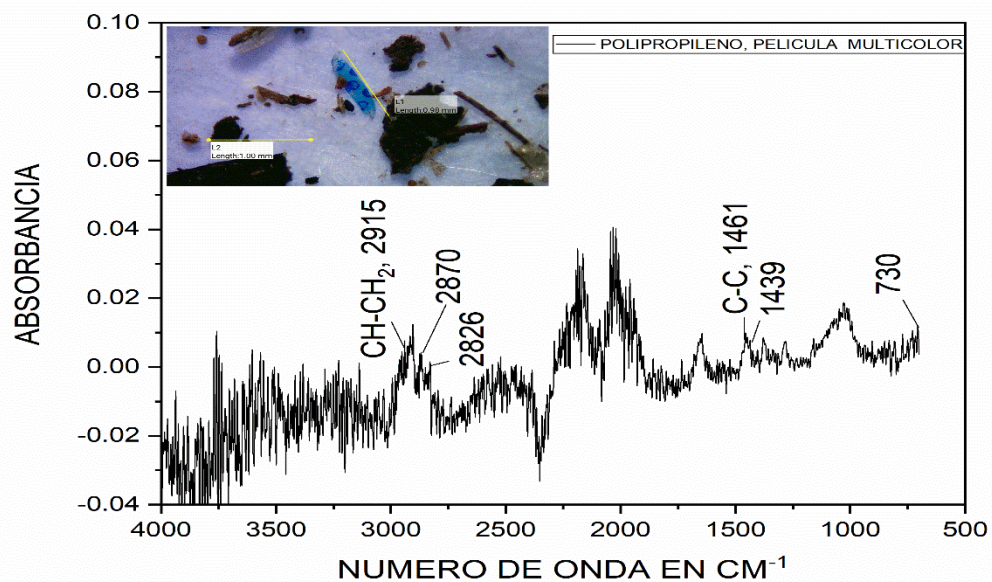


Figura A26. Gráfica polipropileno, película multicolor de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Canchas 2, río Tecate.

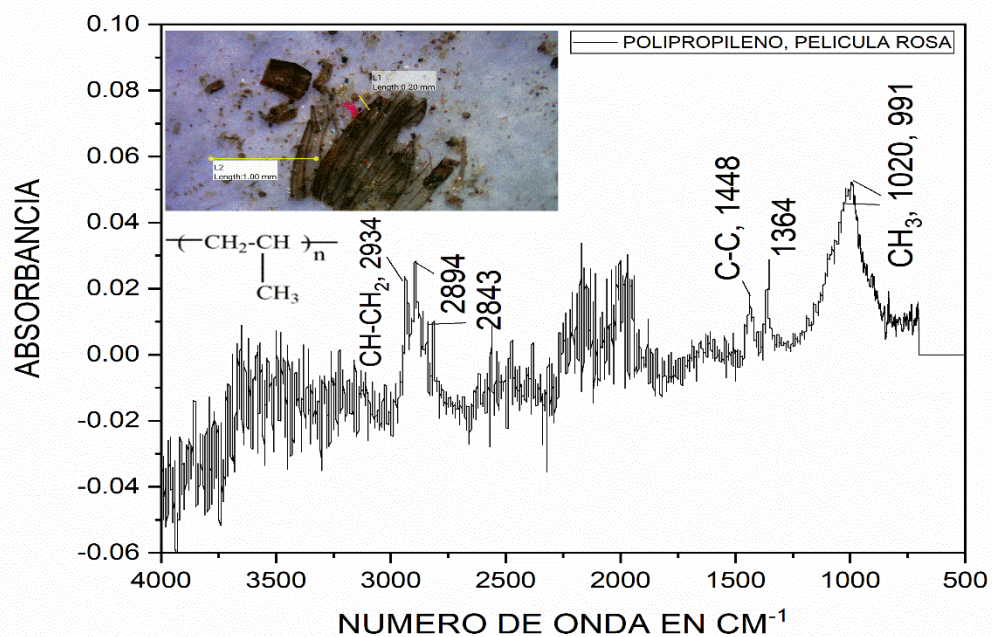


Figura A27. Gráfica polipropileno, película rosa de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 1, río Tecate.

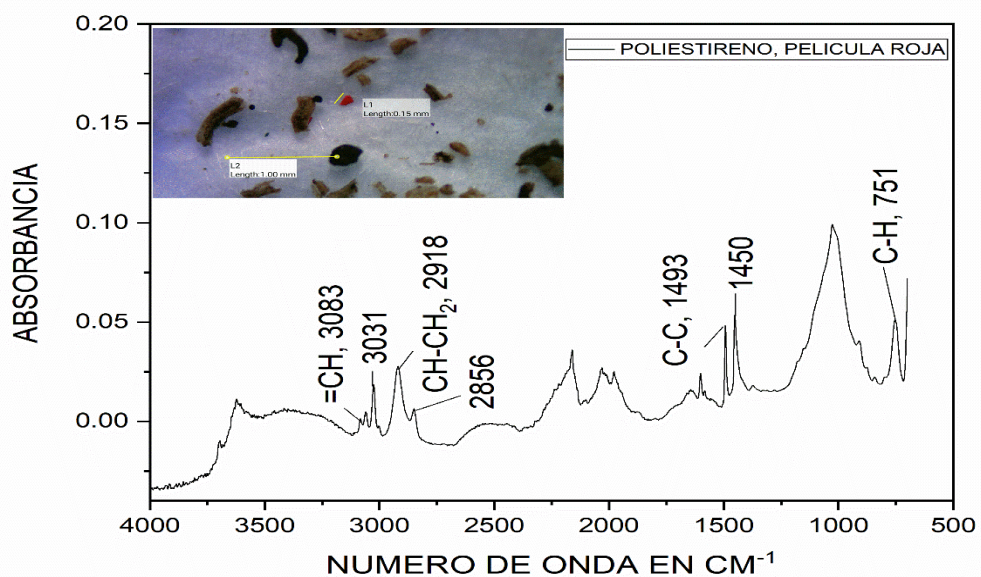


Figura A28. Gráfica poliestireno, fragmento rojo de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Ladrillera 2, río Tecate.

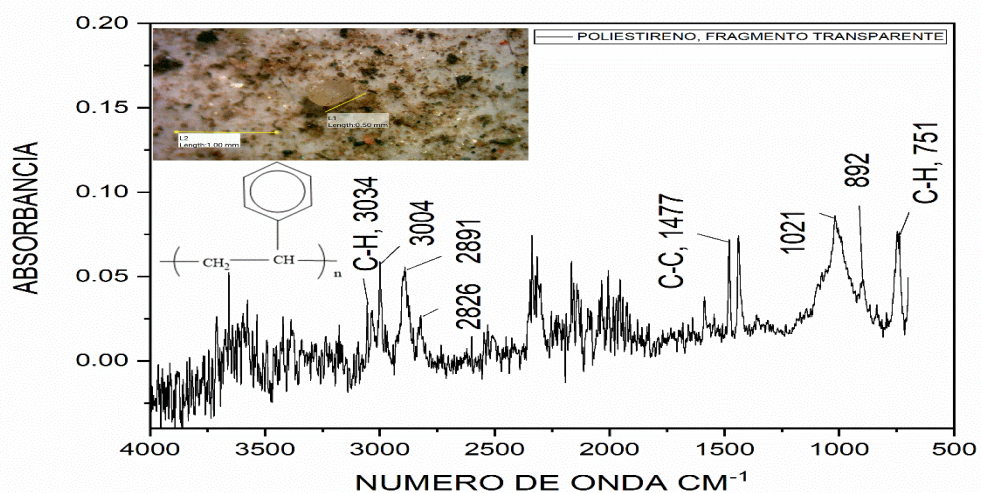


Figura A29. Gráfica poliestireno, fragmento transparente de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Estadio 2, río Tecate.

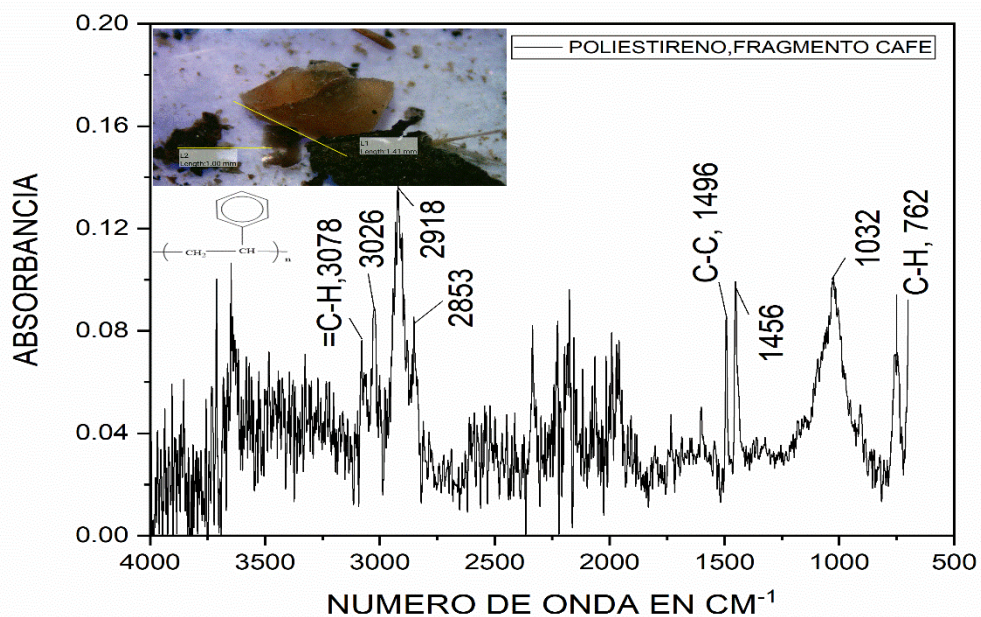


Figura A30. Gráfica poliestireno, fragmento café de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Alamar 2, río Tecate.

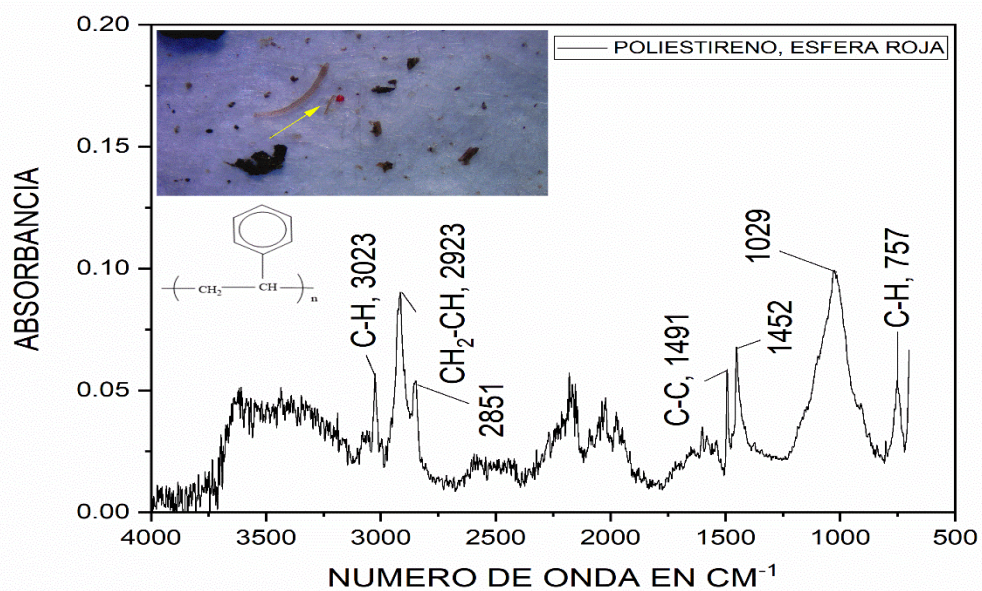


Figura A31. Gráfica poliestireno, esfera roja de la muestra de sedimentos encontrada en el sitio Alamar 2, río Tecate.

Anexo B Gráficas de cargas de escurrimientos pluviales.

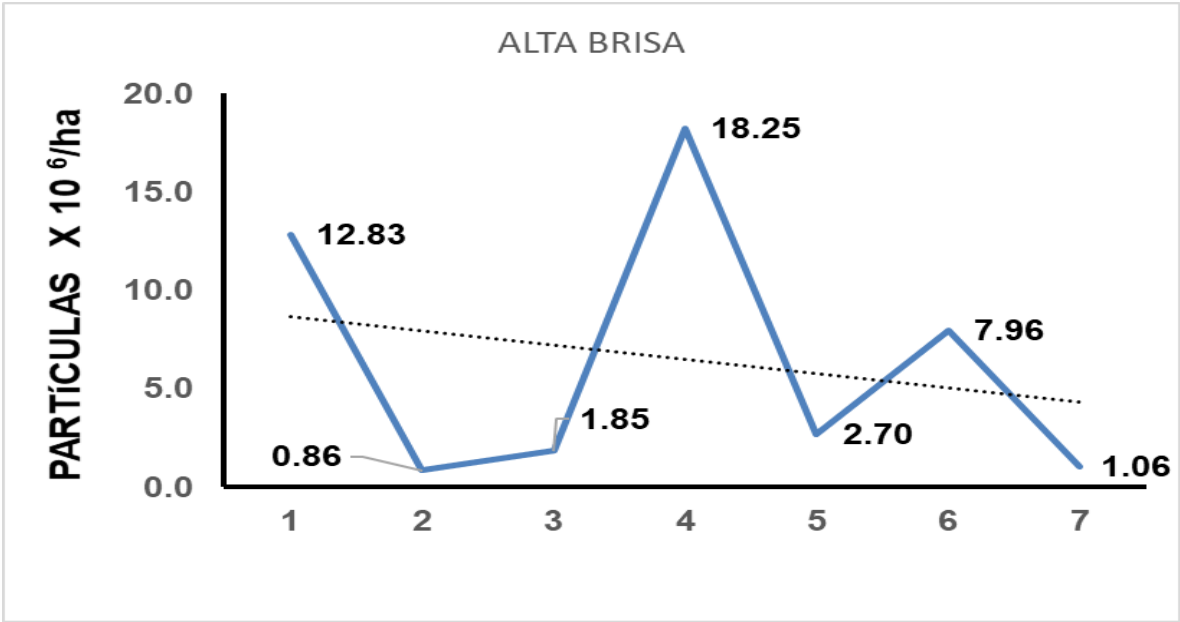


Figura B1. Gráfica para la carga de microplásticos por hectárea encontrada en el sitio Alta Brisa en los 7 eventos de lluvia.

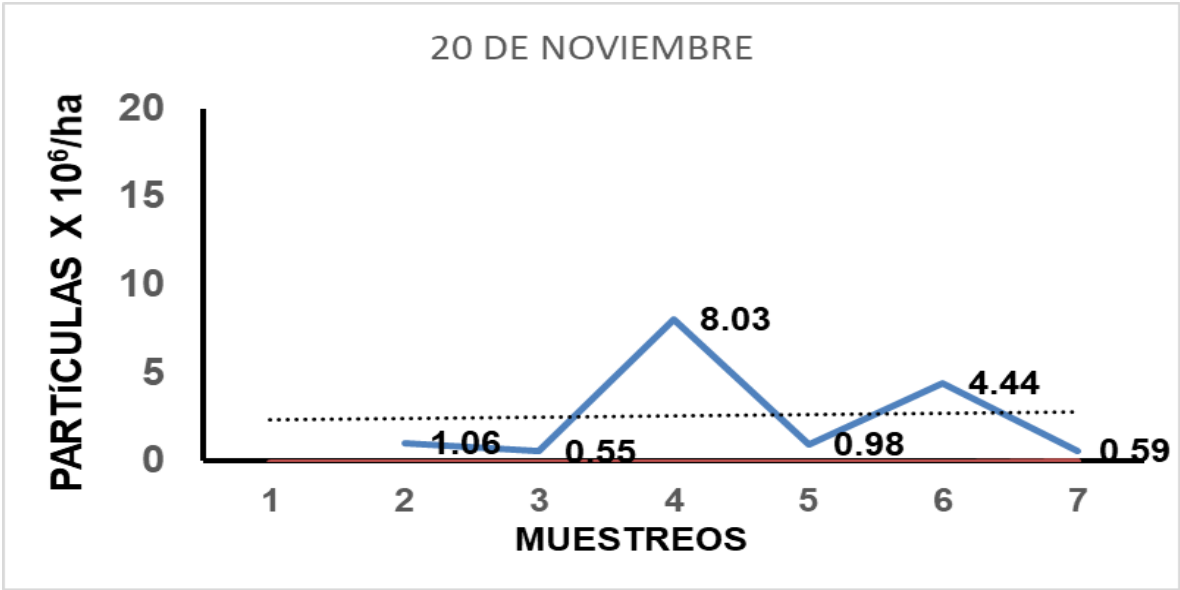


Figura B2. Gráfica para la carga de microplásticos por hectárea encontrada en el sitio 20 de noviembre en los 7 eventos de lluvia.

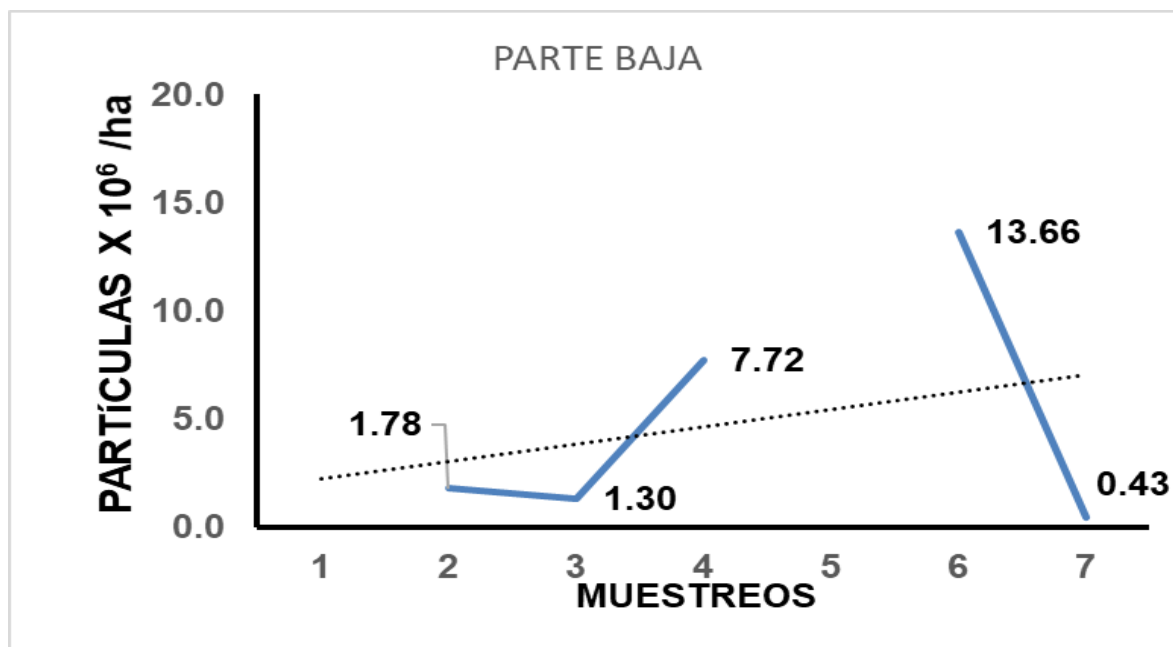


Figura B3. Gráfica para la carga de microplásticos por hectárea encontrada en el sitio Parte Baja en los 7 eventos de lluvia.

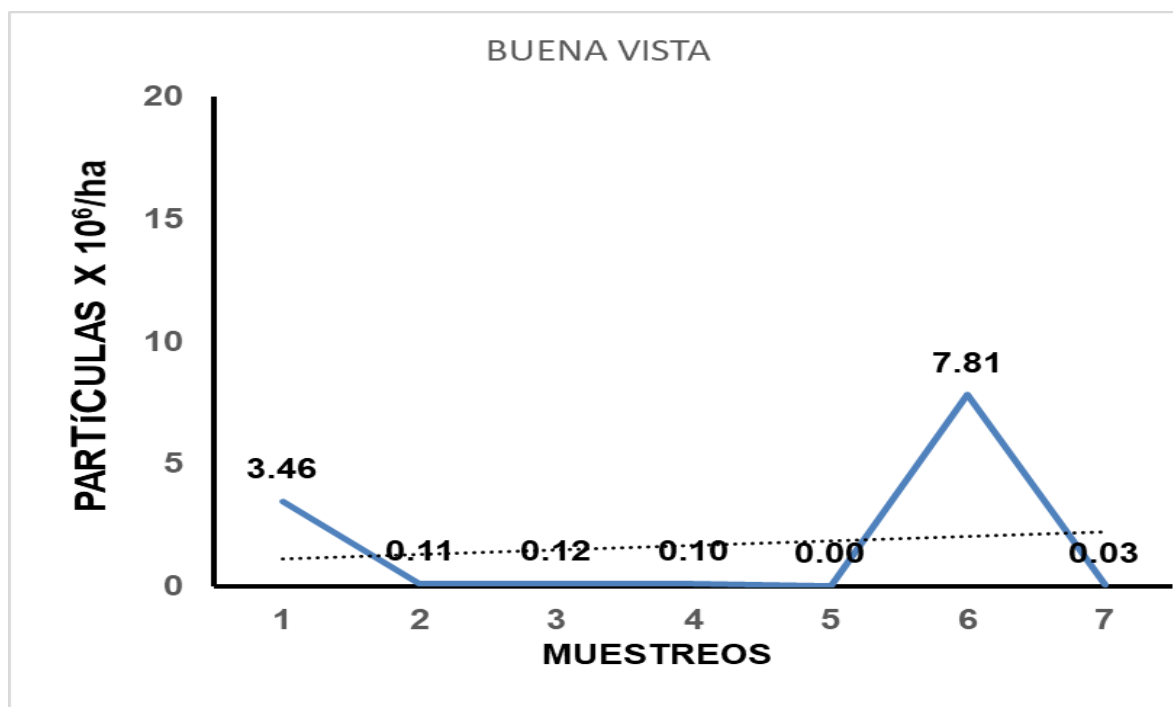


Figura B4. Gráfica para la carga de microplásticos por hectárea encontrada en el sitio Buena Vista en los 7 eventos de lluvia.

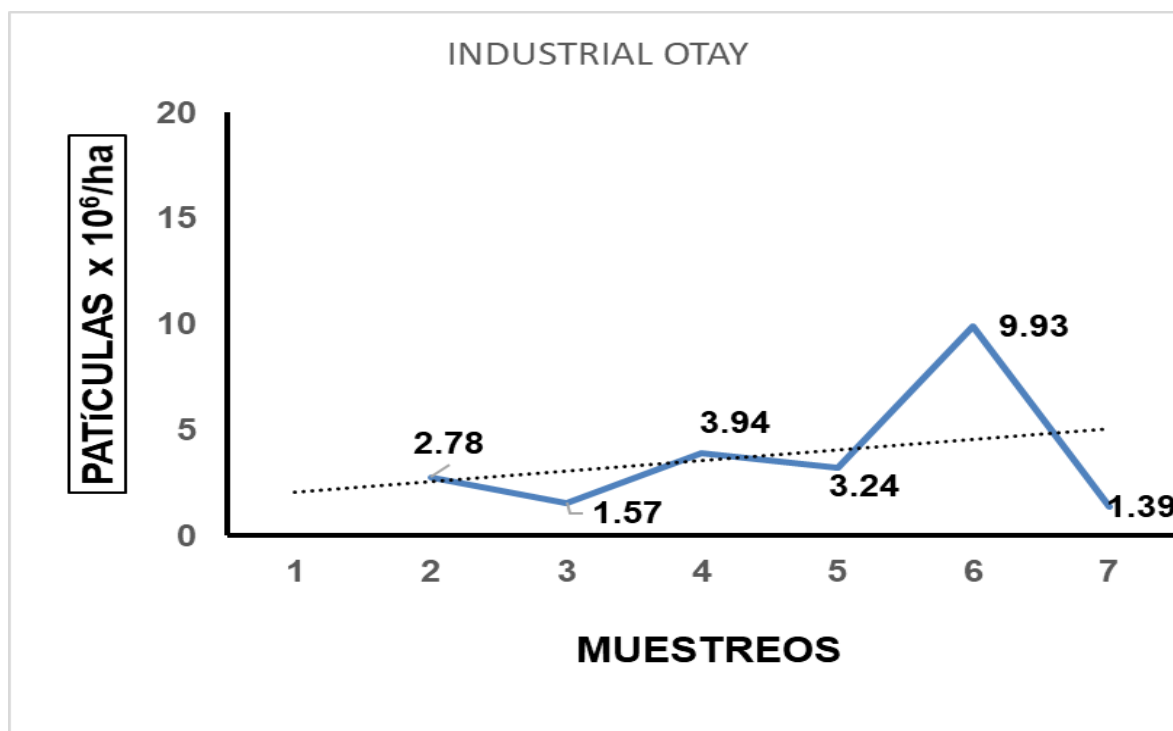


Figura B5. Gráfica para la carga de microplásticos por hectárea encontrada en el sitio Industrial Otay en los 7 eventos de lluvia.

Anexo C Gráficas de granulometría.

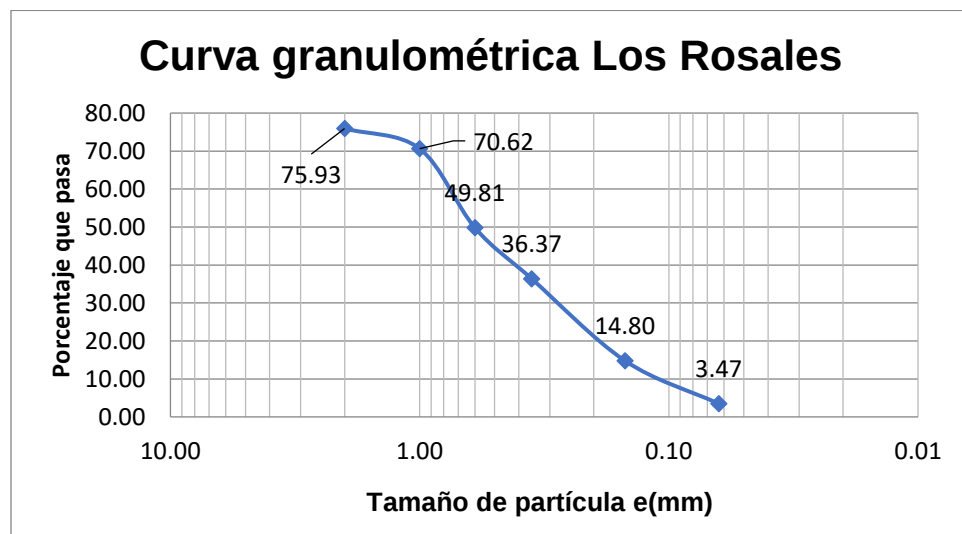


Figura C1. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Los Rosales con un D50 de 0.60 y una textura de arena gruesa.

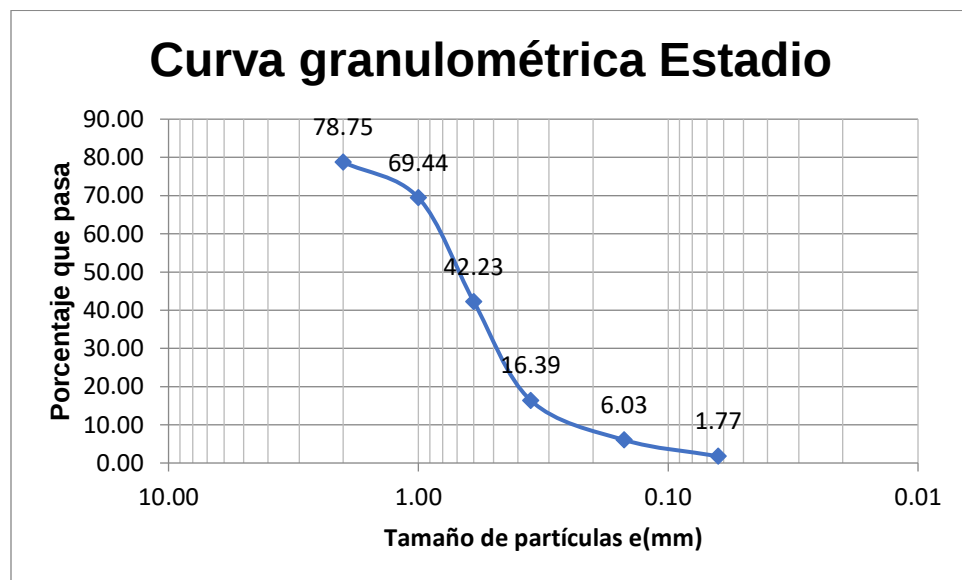


Figura C2. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Estadio con un D50 de 0.68 y una textura de arena gruesa.

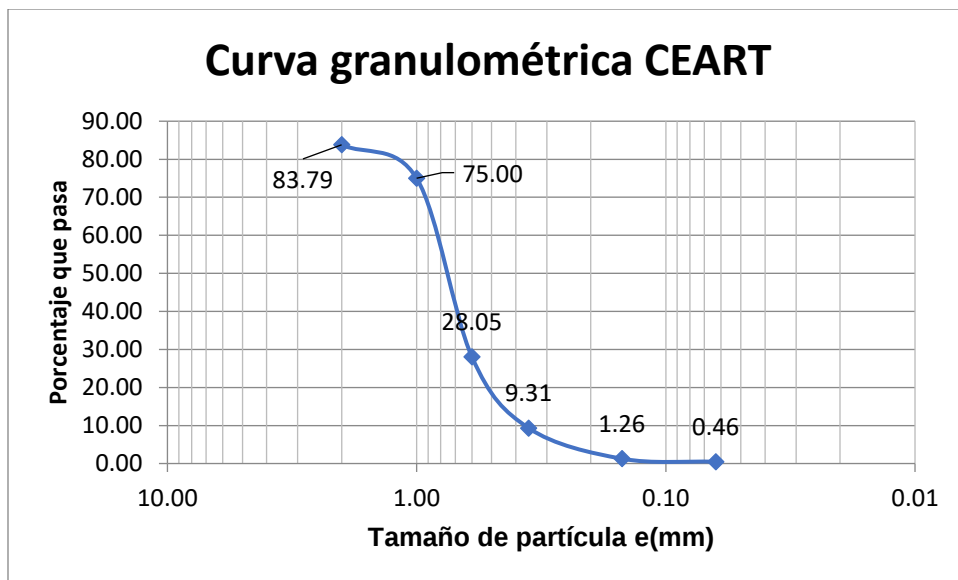


Figura C3. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo CEART con un D50 de 0.78 y una textura de arena gruesa.

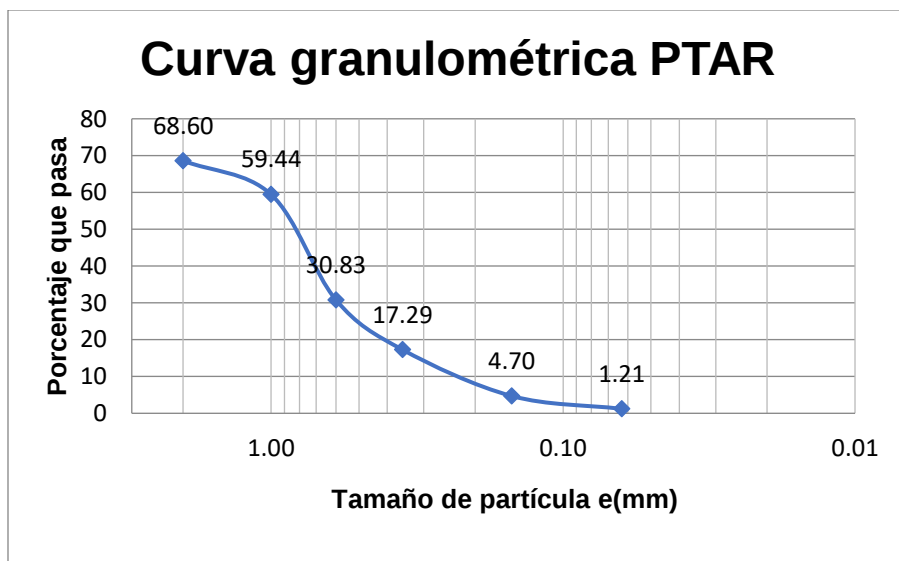


Figura C4. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo PTAR con un D50 de 0.86 y una textura de arena gruesa.

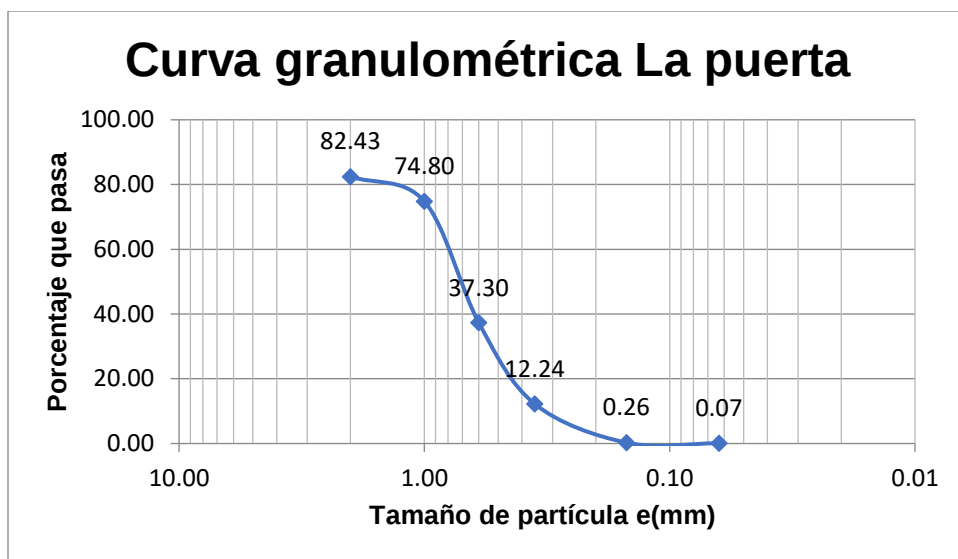


Figura C5. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo La Puerta con un D50 de 0.72 y una textura de arena gruesa.

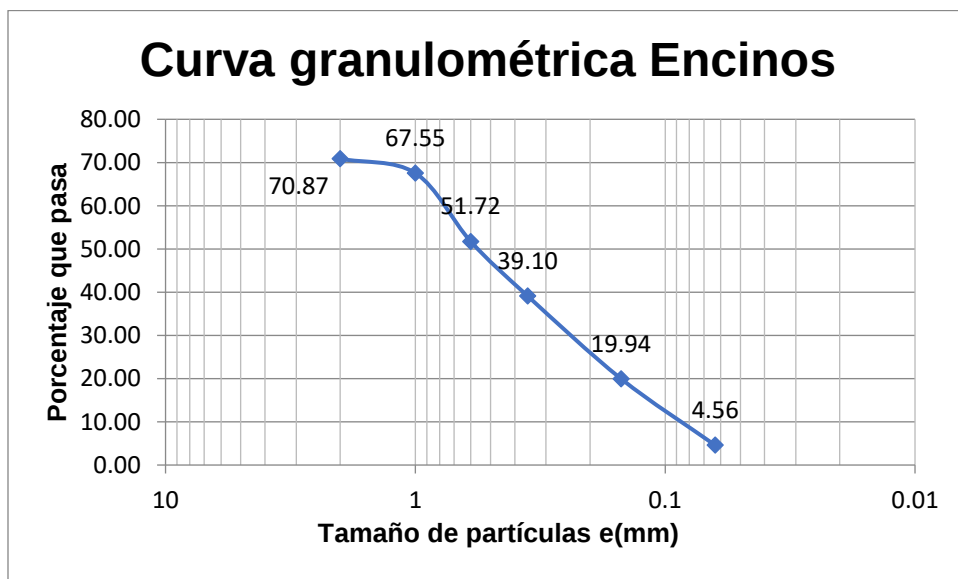


Figura C6. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Encinos con un D50 de 0.60 y una textura de arena fina limosa.

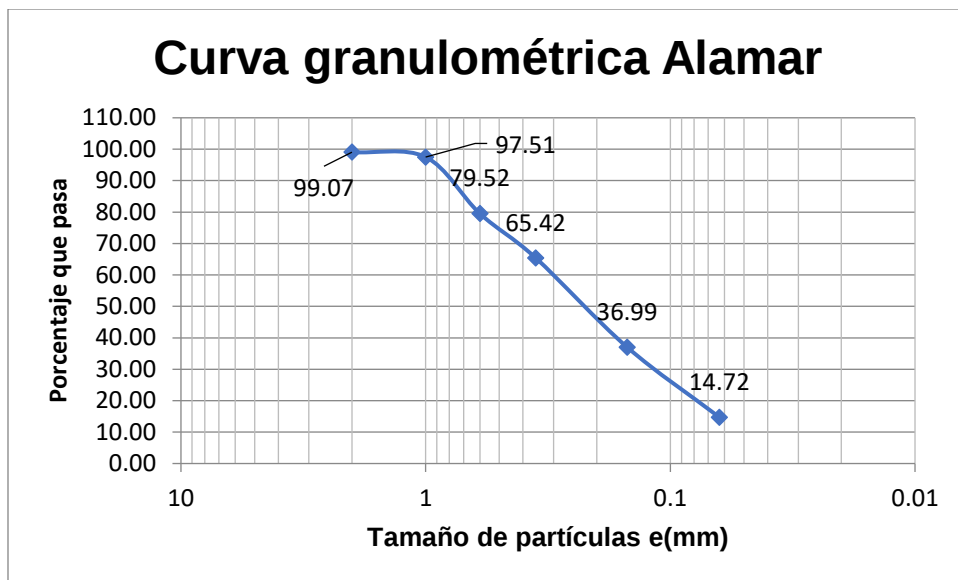


Figura C7. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Alamar con un D50 de 0.22 y una textura de arena fina limosa.

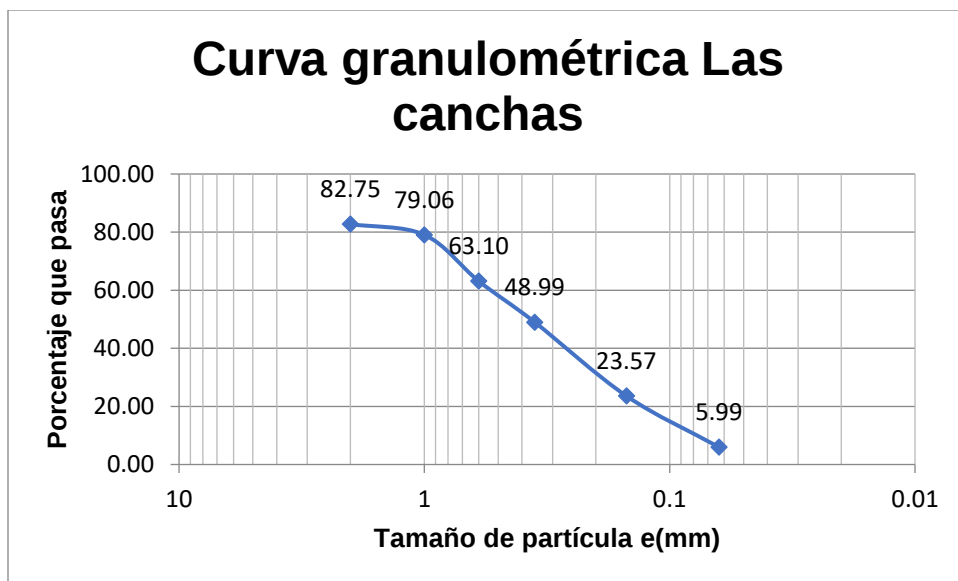


Figura C8. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Las canchas con un D50 de 0.38 y una textura de arena fina.

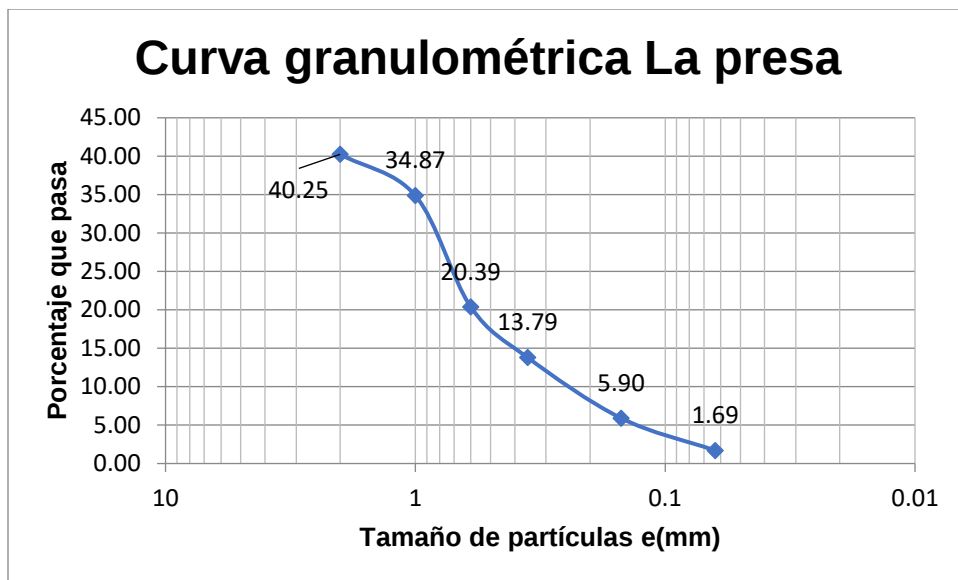


Figura C9. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo La presa con un D50 de mayor de 2mm y una textura de gravilla arenosa.

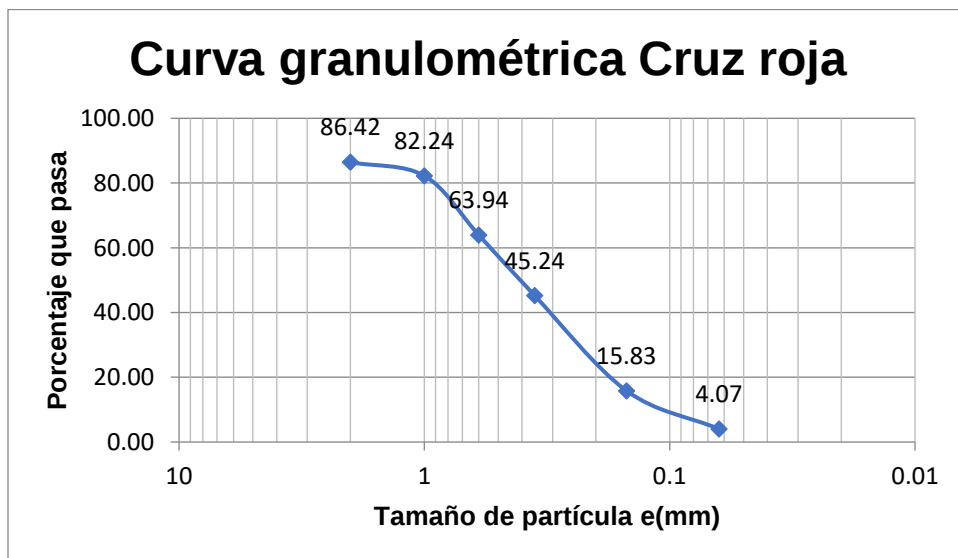


Figura C10. Gráfica de la curva granulométrica para el sitio de muestreo Cruz roja con un D50 de 0.32 y una textura de arena fina.

Anexo D Tablas de porcentaje de colores encontrados en la morfología en muestras de suelo por sitios.

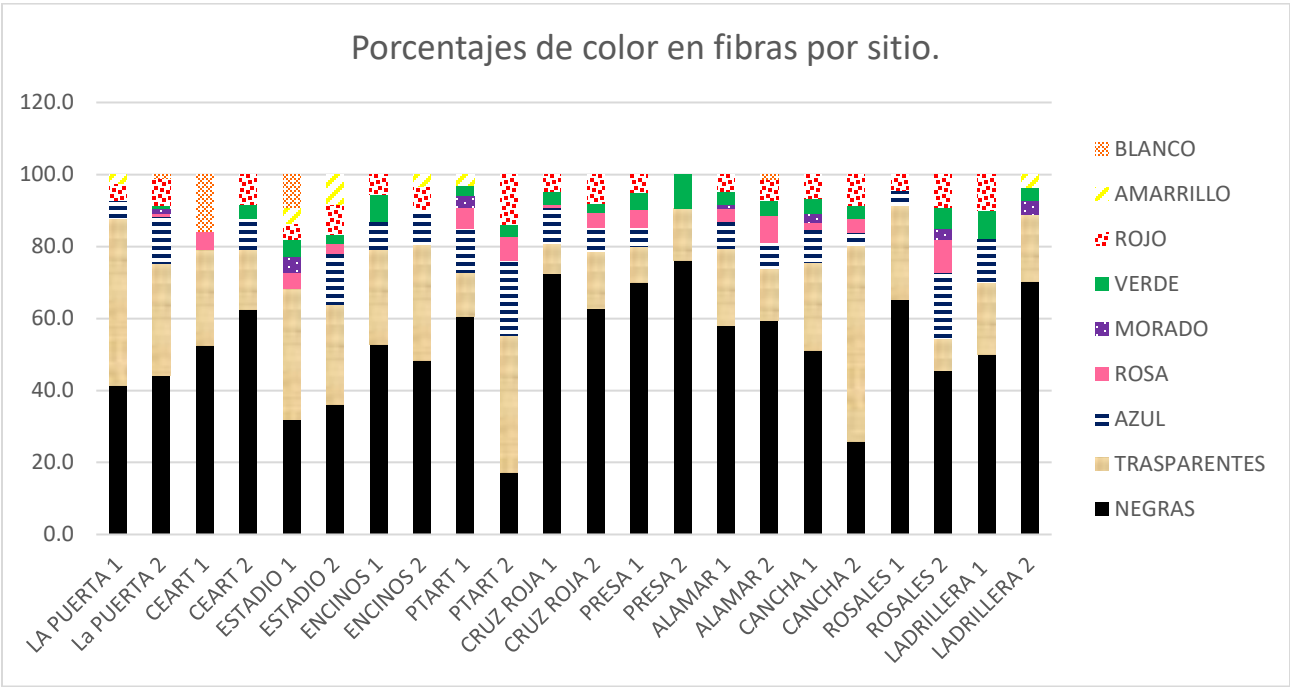


Figura D1. Porcentajes de color en fibras por sitio.

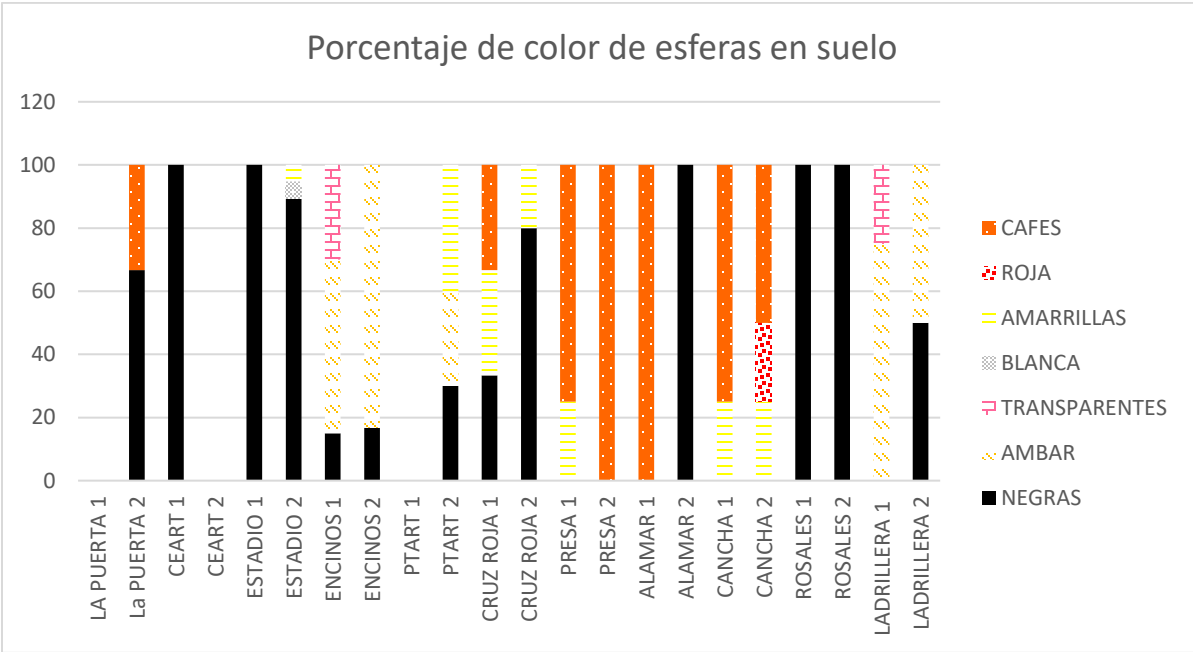


Figura D2. Porcentaje de color en esferas por sitios en suelo de la ribera de la CRT muestreados el 9 de octubre del 2018.

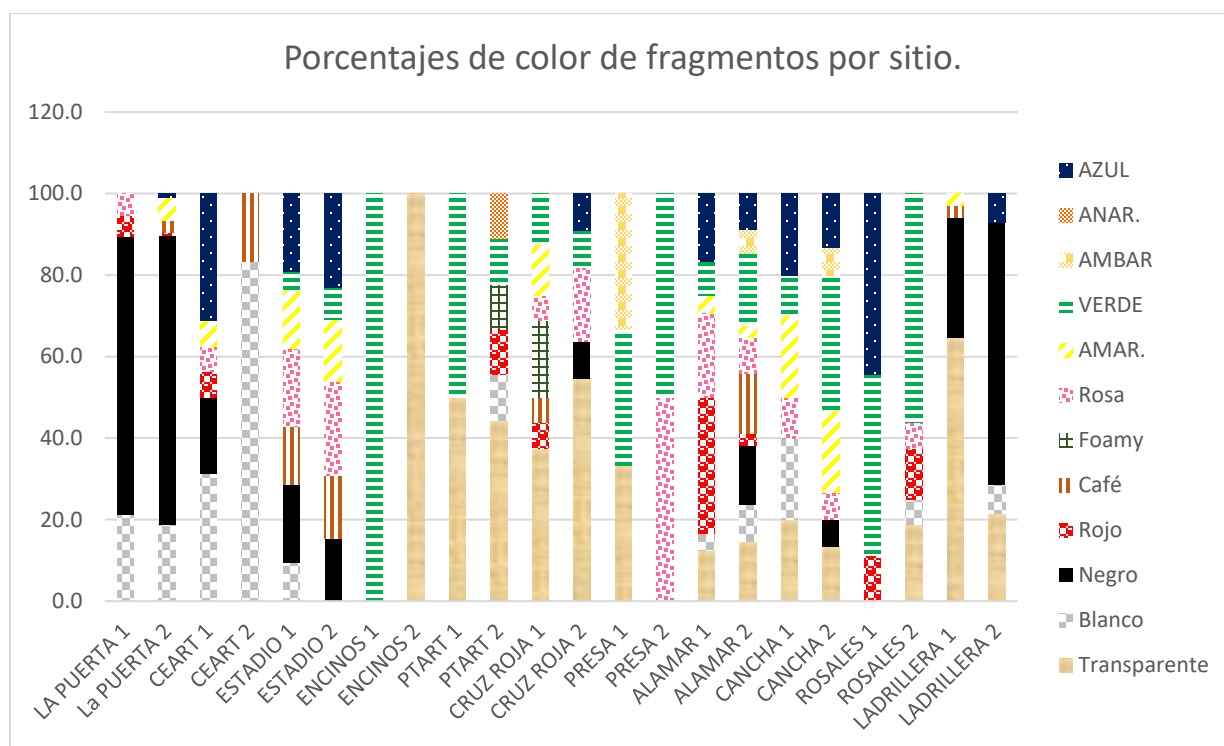


Figura D3. Porcentaje de color en fragmentos por sitios de suelo de la ribera de la CRT, muestreados el 9 de octubre del 2018.

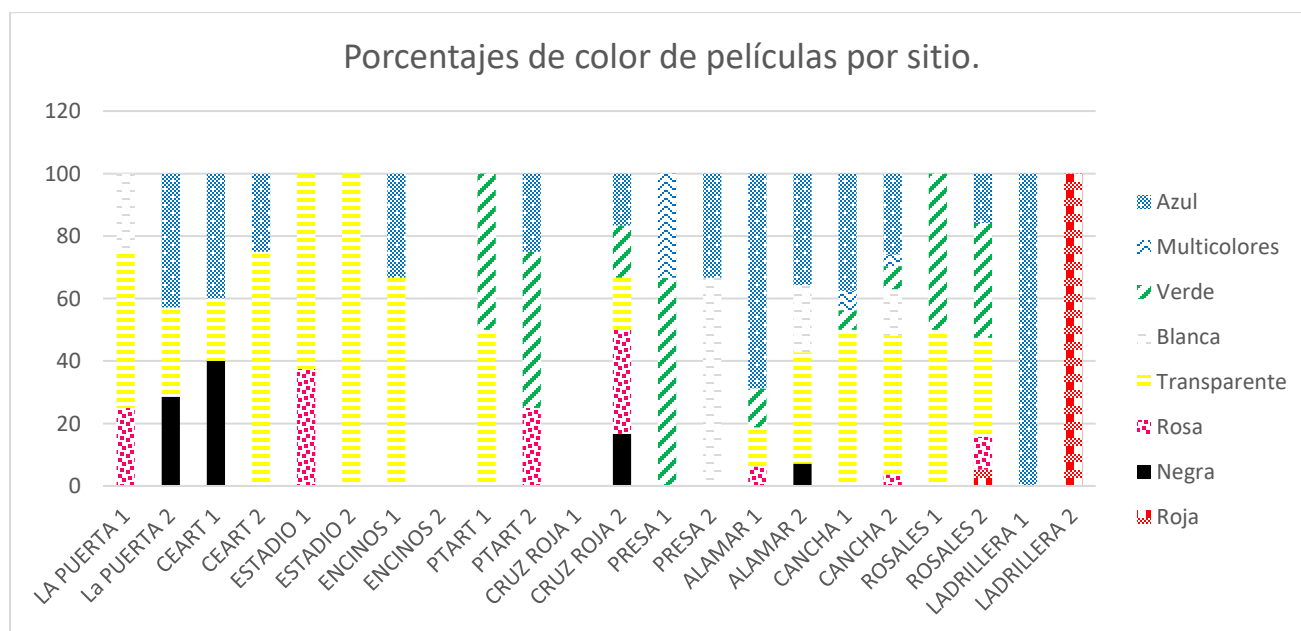


Figura D4. Porcentaje de color de películas por sitios de suelo de la ribera de la CRT, muestreados el 9 de octubre del 2018.



Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico

Teresita de Jesus Piñon-Colin, Ruben Rodriguez-Jimenez, Miguel Angel Pastrana-Corral, Eduardo Rogel-Hernandez, **Fernando Toyohiko Wakida***

Department of Chemical Sciences and Engineering, Universidad Autonoma de Baja California, Tijuana, Baja California, Mexico

ARTICLE INFO

Keywords:
Microplastics
High tide line
Polyacrylamide
Baja California
ATR-FTIR

ABSTRACT

Microplastics have become a concern in recent years because of their negative impact on marine and freshwater environments. Twenty-one sandy beach sites were sampled to investigate the occurrence and distribution of microplastics on the sandy beaches of the Baja California Peninsula, Mexico, as well as their spectroscopic characterization and morphology. Microplastics were separated using the density method and identified using Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR). The mean abundance of microplastics in the samples was 135 ± 92 particles kg^{-1} , and fiber was the most abundant microplastic found in the samples, comprising 91% of the total microplastics identified. Attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy (ATR-FTIR) analysis of the microplastics showed that the main polymers found in microplastics were polyacrylic, polyacrylamide, polyethylene terephthalate, polyesters, and nylon.

1. Introduction

In recent years, microplastic pollution has been increasingly studied by the scientific community because of its negative environmental impacts such as the hazard of ingestion by different marine organisms (plankton, fish, birds, and mammals), its use as a substrate for undesirable microorganisms, the role of microplastic in the transport of toxic compounds, and the microplastic's contribution to the bioaccumulation of persistent organic pollutants (Barnes et al., 2009; Zhang, 2017). However, the potential role of microplastics in the introduction of persistent organic pollutants (POPs) is controversial. Koelmans et al. (Koelmans et al., 2016) suggested that the effects of microplastic ingestion on bioaccumulation are probably limited in most marine habitats. However, this does not imply that microplastics do not have negative effects on marine life.

Microplastics are currently defined as plastic particles < 5 mm in size, although other studies used 1 mm as the upper limit (Kunz et al., 2016). They can be classified as primary microplastics, which are those manufactured for a specific domestic or industrial purpose, such as a scrubber in cosmetic formulations, industrial abrasives, or pellets used in the plastics industry, and secondary microplastics, which are produced by the breakdown of larger plastic items by chemical or mechanical processes (Auta et al., 2017). Microplastics can enter the marine environment through several land and sea sources. Approximately 80% of the microplastics originate from land-based sources

(Browne, 2015; Yonkos et al., 2014) including rivers, stormwater runoff, transport of litter by the wind, tourism, and wastewater discharges (Avio et al., 2016), and sea-based sources including fishing, dumping, and shipping activities (Avio et al., 2016; Ribic et al., 2011). The most common microplastic shapes reported in studies are spheres, fibers, granules, and films, with fibers being the most abundant (Claessens et al., 2011; Desforges et al., 2014). Fibers with intense blue, violet, green, or red colors provide evidence of their anthropogenic origin (Stolte et al., 2015), and these are frequently made of polyester and acrylic.

Wastewater discharge has been identified as one of the main sources of microplastics in the environment and this is related to densely populated areas (Browne et al., 2011). Mason et al. (Mason et al., 2016) reported that the average microplastic content in a wastewater treatment plant (WWTP) effluent is 0.05 particles per liter, but because of the high daily volume discharged by WWTP, it has been assumed that in the US, an average of four million particles are being released per day per facility, including fibers and fragments, which are the most common types of particles found in the discharge. This is not surprising because a recent study by De Falco et al. (2018) showed that a 5-kg load of polyester fabric can release 6,000,000 to 17,700,000 microfibrils, which is equivalent to approximately 0.43 to 1.27 g of microfibrils. The authors also found that the number of microfibrils released is determined by the fabric, detergent type, softener use, water temperature, mechanical action level, and water hardness. A more conservative

* Corresponding author at: Department of Chemical Sciences and Engineering, Universidad Autonoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, Tijuana, Baja California CP 22427, Mexico.
E-mail address: fwakida@uabc.edu.mx (F.T. Wakida).

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.055>

Received 1 November 2017; Received in revised form 28 March 2018; Accepted 28 March 2018
0025-326X/ © 2018 Elsevier Ltd. All rights reserved.



Microplastics in stormwater runoff in a semiarid region, Tijuana, Mexico

Teresita de Jesus Piñon-Colin, Ruben Rodriguez-Jimenez, Eduardo Rogel-Hernandez, Adriana Alvarez-Andrade, Fernando Toyohiko Wakida*

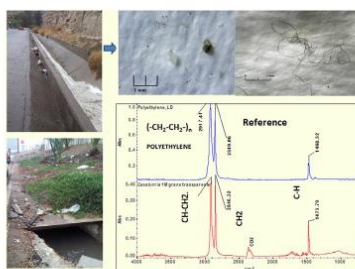
Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana, C.P. 22390 Tijuana, Baja California, México



HIGHLIGHTS

- The first study on the abundance of MPs in stormwater runoff in a semiarid region.
- The major quantities of MPs were in rain events with higher precipitation.
- PE and PS accounted for the largest proportion of MPs.
- Stormwater runoff is a major contributor of MPs to water bodies.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Article history:

Received 15 August 2019

Received in revised form 4 November 2019

Accepted 5 November 2019

Available online 21 November 2019

Editor: Damia Barcelo

Keywords:

Microfibers
Baja California
Urban runoff
Microplastics
Pollutant load

ABSTRACT

Land-based sources are considered the most important source of microplastic pollution to marine environment. Stormwater runoff has been identified as one of the main pollutant contributors to water bodies. Seven sites were sampled to identify and quantify microplastics in stormwater runoff in Tijuana, Mexico. The median microplastic abundance found in the samples was between 66 and 191 particles L^{-1} , the highest abundance being recorded in an industrial land use site. The estimated annual total microplastic loads were between 8×10^5 and 3×10^6 particles ha^{-1} . The most abundant microplastic shape and identified polymer type were fibers and polyethylene, respectively. The highest microplastic abundances were observed in events with higher rainfall. The results have shown that stormwater runoff is an important source of microplastic to water bodies.

© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Plastics make up 10% of the municipal solid waste in the world (Barnes et al., 2009). It is estimated that approximately 1.15 to 2.41 million tons of plastic waste reach the oceans from rivers worldwide (Lebreton et al., 2017).

Microplastics are defined as plastic particles smaller than 5 mm (Wagner et al., 2014). They are classified as primary and secondary

microplastics, the first being those made in a small size for a specific use. For example, virgin resin pellets used in molding processes, sand blasting and cosmetic products (Wilber, 1987; Eerkes-Medrano et al., 2015; Gregory, 1996; Cole et al., 2011; Fendall and Sewell, 2009). Meanwhile, secondary microplastics are those resulting from environmental degradation or fragmentation of plastic waste (Cooper and Corcoran, 2010), such as bags, wrapping and packages (Nor and Obbard, 2014) and the fibers shed during the laundering of synthetic fabrics. It was estimated that wastewater from laundry contains concentrations higher than 1900 fibers per wash (Browne et al., 2011). Dris et al. (2018) found a much

* Corresponding author.

E-mail address: fwakida@uabc.edu.mx (F.T. Wakida).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135411>

0048-9697/© 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.



Contents lists available at ScienceDirect

Marine Pollution Bulletin

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marpolbul

First insight into plastics ingestion by fish in the Gulf of California, Mexico

C. Salazar-Pérez^a, F. Amezcua^{b,*}, A. Rosales-Valencia^c, L. Green^d, J.E. Pollorena-Melendrez^c, M.A. Sarmiento-Martínez^c, I. Tomita Ramírez^a, B.D. Gil-Manrique^e, M.Y. Hernandez-Lozano^a, V.M. Muro-Torres^f, C. Green-Ruiz^g, T.D.J. Piñon-Colin^h, F.T. Wakidaⁱ, M. Barletta^j^a Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria, D.F. 04510, México^b Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Joel Montes Camarena S/N, Mazatlán, Sinaloa, 42040, México^c Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Autónoma de Sinaloa, Paseo Chihuahua s/n, 48000 Mazatlán, Sinaloa, México^d International MSc in Marine Biodiversity and Conservation, Ghent University, Marine Biology Research Group, Krijgslaan 281, 9000 Ghent, Belgium^e Doctorado en Ciencias en Especialidad en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Sonora, Calle 5 de febrero 938, Centro, Urb. No. 1, 85000 Cd Obregón, Sonora, México^f Programa Ciencias CONACYT, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, Av. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo de Santa Rita Sur, La Paz, B.C.S. 23096, México^g Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calles Universidad 14438, Parque Industrial Internacional Tijuana, C.P. 22390 Tijuana, Baja California, México^h Laboratorio de Ecología e Gerenciamento de Ecossistemas Costeiros e Estuários, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, CEP 50740-550 Recife, Brazil

ARTICLE INFO

Keywords:

Estuarine ecology
Feeding habits
Marine litter
Small scale fisheries
Plastic pollution

ABSTRACT

Plastic particle occurrence in the digestive tracts of fishes from a tropical estuarine system in the Gulf of California was investigated. A total of 1095 fish were analyzed, representing 15 species. In total 1364 particles of plastic debris were recovered from the gastrointestinal tracts of 352 specimens belonging to 13 species, and all consisted of threads, the majority of which were small microplastics (0.23 to 1.89), followed by large microplastics (2.07 to 4.49), and few mesoplastics (3.4 to 19.86). Plastic particles were identified using ATR-FTIR spectroscopy. The mean frequency of occurrence of plastics in the gastrointestinal tracts of fishes from this system was 50.5%, which is higher than frequencies reported in similar systems in other areas. The polymers identified by ATR-FTIR were polyamide (51.2%), polyethylene (36.6%), polypropylene (7.3%), and polyacrylic (4.9%). These results show the first evidence of plastic contamination for estuarine biota in the Gulf of California.

1. Introduction

Ocean plastic pollution is of great concern because the most abundant type of marine debris is composed of plastic materials (Jørgensen et al., 2016), with recent annual production (2018) exceeding 350 million tonnes (Plastics Europe, 2020), implying a threat to aquatic wildlife and fisheries (Lusher et al., 2017; Ryan et al., 2009). Once in the aquatic environment marine debris tend to breakdown into meso (5–25 mm), micro (<5 mm), and nanoplastics (<1 µm) due to weathering processes which are caused by a suite of processes such as photo-degradation, embrittlement, and hydrodynamic forces (GESAMP, 2019; Thompson et al., 2004).

Plastic debris (PD) are widely concentrated and available in the marine environment, meaning that they are able to interact with every

trophic guild, as they are being directly ingested and subsequently transferred across trophic levels (Ferreira et al., 2018a), a reason for the ensuing high contamination rates which are found in top predator fishes (Ferreira et al., 2018a; Setälä et al., 2014). Top predators are one of the strongest links between humans and marine wildlife, because these include the most commercially valuable and consumed species by humans (Pauly et al., 1998), implying that PD may be indirectly affecting human populations due to fish consumption (Santillo et al., 2017; Wang et al., 2019). Top predators could be a pathway for the transport of harmful chemicals through the food web (United Nations Environment Programme, 2014). However, PD are not recognised as the primary vector for harmful chemicals (Kochmans et al., 2016), even though most chemicals used for producing plastic polymers are derived from non-renewable crude oil, many of which are hazardous, and that

* Corresponding author.

E-mail address: famezcua@ola.icmyl.unam.mx (F. Amezcua).<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112705>

Received 10 February 2021; Received in revised form 2 July 2021; Accepted 4 July 2021

Available online 16 July 2021

0025-326X/© 2021 Elsevier Ltd. All rights reserved.

CONGRESOS

Sixth International Marine Debris Conference

March 12-16, 2018
San Diego, California, USA
Conference Proceedings



