

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**Caracterización de microplásticos con espectroscopia de infrarrojo medio y módulo ATR presentes en el ambiente marino de la Isla Puná.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Química

**Autor:**

Inés Guadalupe Arteaga Arteaga

**Director:**

Verónica Patricia Pinos Vélez

**ORCID:** 0000-0001-8278-5873

**Asesor:**

María Elena Cazar Ramírez

**ORCID:** 0000-0001-5228-3514

**Cuenca, Ecuador**

2023-04-19

## Resumen

La producción de plástico durante los últimos 50 años se ha disparado considerablemente llegando a generarse más de 380 millones de toneladas para en el año del 2015. Es indudable su utilidad, sin embargo, la contaminación que producen se ha convertido en una problemática a nivel mundial. La presencia de plásticos en mares y océanos llega a afectar la fauna marina y consecuentemente al ser humano al infiltrarse en nuestra cadena alimentaria. Los microplásticos (MPs) son plásticos con tamaño de partícula reducido ( $\leq 5$  mm) que pueden acumular sustancias tóxicas en su superficie y al estar presentes en el medio ambiente figuran como un contaminante de gran riesgo potencial. Estudios a nivel del mundo han encontrado microplásticos en todo tipo de aguas; sin embargo, los estudios en nuestro país son escasos y limitados. El enfoque de esta investigación consistió en extraer y caracterizar MPs presentes en muestras de agua y de sedimentos recolectadas alrededor de esteros y zonas costeras de la Isla Puná, Guayas. Las muestras fueron filtradas, cuantificadas y clasificadas por morfología y color con ayuda de un espectroscopio. Los resultados obtenidos se analizaron usando estadística descriptiva y multivariada. Se encontró que las muestras más contaminadas fueron las aguas de los esteros. Además, los colores que más sobresalieron fueron el transparente, plateado y negro, así como las morfologías de pellets (81 %) y fragmentos (46 %). Finalmente, los análisis de las bandas de FTIR indicaron la presencia de poliamidas, policarbonato, poliestireno y polipropileno.

*Palabras clave:* microplásticos (MPs), contaminantes emergentes, espectroscopía de infrarrojo medio (FITR), Puná

### Abstract

Plastic production during the last 50 years has skyrocketed considerably, reaching more than 380 million tons in 2015. The usefulness of plastics is unquestionable, although the pollution they produce has become a worldwide problem. The presence of plastics in seas and oceans affects marine fauna and consequently human beings as they infiltrate our food chain. Microplastics (MPs) are plastics with small particle size ( $\leq 5$  mm) that can accumulate toxic substances on their surface and when present in the environment they figure as a pollutant of great potential risk. Studies worldwide have found microplastics in all types of waters; however, studies in our country are scarce and limited. The focus of this research consisted of extracting and characterizing MPs present in water and sediment samples collected around estuaries and coastal areas of Puná Island, Guayas. The samples were filtered, quantified and classified by morphology and color using a spectroscope. The results obtained were analyzed using descriptive and multivariate statistics. It was found that the most contaminated samples were the waters of the estuaries. In addition, the colors that stood out the most were transparent, silver and black, as well as pellet (81 %) and fragment (46 %) morphologies. Finally, analysis of the FTIR bands indicated the presence of polyamides, polycarbonate, polystyrene and polypropylene.

*Keywords:* emerging pollutants, mid-infrared spectroscopy (FITR), Puná

## Índice

Dedicatoria .....	10
Agradecimientos .....	11
Capítulo I .....	12
Introducción.....	12
Objetivos de la Investigación .....	13
Objetivo General.....	13
Objetivos Específicos .....	13
Capítulo II .....	14
2. Marco Teórico .....	14
2.1 Plásticos .....	14
2.1.2. Clasificación de los Plásticos .....	14
2.2. Contaminación Marina por Plásticos .....	16
2.3. Macroplásticos .....	17
2.4. Microplásticos.....	17
2.4.1. Clasificación de los Microplásticos .....	18
2.5. Ocurrencia e Impacto de los Microplásticos en los Ambientes Marinos .....	20
2.5.1. Ocurrencia.....	20
2.5.2. Impacto.....	23
2.6. Normativa .....	24
Capítulo III .....	27
3. Metodología .....	27
3.1. Descripción del Lugar de Muestreo .....	27
3.2. Población y Muestra.....	29
3.3. Procedimiento .....	30
3.3.1. Extracción de Microplásticos .....	30

<b>UCUENCA</b>	5
3.3.2. Cuantificación de microplásticos .....	33
3.3.3. Caracterización de Microplásticos.....	36
3.4. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos.....	37
Capítulo IV .....	38
4. Resultados .....	38
4.1. Muestras de Agua .....	38
4.1.1. Color y Morfología de las Partículas de Microplásticos.....	38
4.2. Análisis de Clústeres de las Partículas de Microplásticos .....	43
4.2.1. Análisis de los Componentes Principales de las Partículas de Microplásticos .....	44
4.2.2. Caracterización de las Partículas de Microplásticos .....	47
4.3. Muestras de Sedimento .....	51
4.3.1. Color y Morfología de las Partículas de Microplásticos.....	51
4.3.2. Análisis de Clústeres de las Partículas de Microplásticos .....	55
4.3.3. Análisis de los Componentes Principales de las Partículas de Microplásticos .....	57
4.3.4. Caracterización de las Partículas de Microplásticos .....	59
Capítulo V .....	63
5. Discusión.....	63
5.1. Abundancia de Microplásticos Presentes en las Muestras de Agua y de Sedimento .....	63
5.2. Color y Morfología de las Muestras de Agua y Sedimento.....	66
5.3. Análisis de Correlación de las Muestras de Agua y de Sedimento .....	69
5.4. Caracterización de las Partículas de Microplásticos.....	70
Conclusiones.....	72
Recomendaciones .....	73
Anexos .....	85

## Índice de figuras

Figura 1 Microplásticos primarios (A-B) y secundarios (C-D) presentes en un cuerpo de agua.	17
Figura 2 Fuentes y rutas de los MPs en el medio ambiente.....	19
Figura 3 Tipos de MPs: 1) pellet, 2) fragmento, 3) fibra, 4) film, 5) foam.....	20
Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo.....	27
Figura 5 Muestras líquidas y de sedimentos.....	29
Figura 6 Preparación de las muestras líquidas.....	30
Figura 7 Digestión química.....	31
Figura 8 Filtración al vacío.....	31
Figura 9 Preparación y secado.....	31
Figura 10 Tamizado y lavado de las muestras. ....	32
Figura 11 Digestión ácida.....	32
Figura 12 Filtración al vacío. ....	33
Figura 13 a) Estereomicroscopio, b) división de una muestra en cuadrantes y c) identificación y cuantificación de microplásticos.....	33
Figura 14 Sistema de clasificación por tamaños y colores estandarizados (SCS). ....	34
Figura 15 Ejemplo de codificación de microplásticos según el SCS.....	35
Figura 16 Equipo de FITR con módulo ATR.....	37
Figura 17 Módulo ATR.....	37
Figura 18 Microplásticos a) gotas y esferas (pellets), b) fibras y c) fragmentos.....	38
Figura 19 Ocurrencia de la morfología de microplásticos en los lugares de muestreo a) PL 60 - 1 – PL 60 – 5, b) PL 60 - 6 – PL 300 – 4, c) PL 300 - 5 – PL 500 – 3, d) PL 500 - 4 – M1, e) M2 – M7, f) M8 – M12 y g) M13 – M15. ....	40
Figura 20 Ocurrencia de los colores de microplásticos en los lugares de muestreo a) PL 60 - 1 – PL 60 – 5, b) PL 60 - 6 – PL 300 – 4, c) PL 300 - 5 – PL 500 – 3, d) PL 500 - 4 – M1 e) M2 – M7, f) M8 – M12 y g) M13 – M15. ....	43
. Figura 21 Clúster general de las muestras de agua.....	44
Figura 22 Clúster de las muestras de agua en función de su morfología.....	44
Figura 23 Clúster de las muestras de agua en función de su color. ....	44
Figura 24 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras líquidas en función de su morfología.....	45
Figura 25 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras líquidas en función de sus colores.....	46

Figura 26 Biplot en conjunto de las muestras de agua.....	47
Figura 27 Espectro infrarrojo de la muestra PL 500 - 4.....	49
Figura 28 Espectro infrarrojo de la muestra M6.....	50
Figura 29 Espectro infrarrojo de la muestra M9.....	50
Figura 30 Espectro infrarrojo de la muestra PL 60 - 2.....	51
Figura 31 Ocurrencia de la morfología de microplásticos de las muestras de sedimento a) Sed1 – Sed5, b) Sed6 – M1, c) M2 – Ms2 y d) Ms3 – Ms5.3.....	53
Figura 32 Ocurrencia de los colores de microplásticos de las muestras de sedimento a) Sed1 – Sed5, b) Sed6 – M1, c) M2 – Ms2 y d) Ms3 – Ms5.3.....	55
Figura 33 Clúster general de las muestras de sedimento. ....	56
Figura 34 Clúster de las muestras de sedimento según su morfología. ....	56
Figura 35 Clúster de las muestras de sedimento en función de su color.....	56
Figura 36 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras de sedimentos en función de su morfología. ....	57
Figura 37 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras de sedimentos en función de sus colores.....	58
Figura 38 Biplot general de las muestras de sedimentos.....	59
Figura 39 Espectro infrarrojo de la muestra Sed6. ....	61
Figura 40 Espectro infrarrojo de la muestra MG1.....	61
Figura 41 Espectro infrarrojo de la muestra M1.....	62
Figura 42 Espectro infrarrojo de la muestra Ms5.2.....	62

**Índice de Tablas**

Tabla 1 Clasificación de los plásticos termoplásticos.....	14
Tabla 2 Puntos de muestreo. ....	28
Tabla 3 Abreviaturas de los colores por el SCS. ....	34
Tabla 4 Abreviatura de polímeros más comunes según el SCS. ....	35
Tabla 5 Cantidad, categoría y concentración de microplásticos contenidos en 100 ml de cada muestra de agua. ....	39
Tabla 6 Ocurrencia de las partículas de microplásticos de las muestras de agua según sus colores.....	41
Tabla 7 Comparación de los números de ondas de la muestra PL 500-4 con respecto a los espectros de referencia. ....	48
Tabla 8 Comparación de los números de ondas de la muestra M6 con los espectros de referencia. ....	48
Tabla 9 Comparación de los números de ondas de la muestra M9 con los espectros de referencia. ....	48
Tabla 10 Comparación de los números de ondas de la muestra PL 60-2 con los espectros de referencia. ....	49
Tabla 11 Cantidad, categoría y concentración de microplásticos contenidos en 100 g de muestra de sedimento.....	52
Tabla 12 Ocurrencia de las partículas de microplásticos de las muestras de sedimento según sus colores.....	54
Tabla 13 Comparación de los números de ondas de la muestra Sed6 con respecto a los espectros de referencia. ....	59
Tabla 14 Comparación de los números de ondas de la muestra MG1 con respecto a los espectros de referencia. ....	60
Tabla 15 Comparación de los números de ondas de la muestra M1 con respecto a los espectros de referencia. ....	60
Tabla 16 Comparación de los números de ondas de la muestra Ms5.2 con respecto a los espectros de referencia ....	60
Tabla 17 Abundancia de microplásticos en diferentes unidades de medida presentes en muestras de agua y sedimento de varios autores .....	63
Tabla 18 Abundancia y frecuencia de aparición (morfología y color) de los microplásticos presentes en muestras de agua de varios autores.....	66

Tabla 19 Abundancia y frecuencia de aparición (morfología y color) de los microplásticos presentes en muestras de sedimentos de varios autores. .... 67

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación le quiero dedicar en primer lugar a Dios, por brindarme la sabiduría necesaria para poder llegar a terminar mis estudios y por amarme infinitamente.

A mi madre Luz y en especial a mi tía Lidia, quienes me han apoyado incondicionalmente para salir adelante y culminar con mi formación universitaria.

A mis hermanos Karen, Dayana, Diego, Ma. José, y David, quienes también han velado por mí y me han apoyado en todo lo que pudieron.

A mis queridos sobrinos Sebastián, Sofía, Camila, y Eliam, quienes siempre han alegrado mi corazón con sus ocurrencias y afectos.

A todos mis familiares que con su apoyo y cariño de alguna u otra manera me han brindado su mano y me han ayudado para poder lograr mi sueño.

## **Agradecimientos**

A la Universidad de Cuenca, por permitirme crecer profesionalmente y llegar a culminar mi carrera satisfactoriamente.

A todos mis docentes de la Facultad de Ciencias Químicas quienes me han impartido sus valores y conocimientos durante todos estos años.

A mi profesora y directora de tesis Dra. Verónica Pinos, por su calidad de ser humano, profesionalismo y su vocación como docente, al motivarme para salir adelante con mis estudios.

Al muestreador Eduardo Rebolledo del PUCESE Esmeraldas, al facilitarme tan gentilmente las muestras de estudio para desarrollar mi trabajo de investigación.

A la Dra. María Elena Cazar, Ing. Mónica Abril y al Dr. Geovanny Larriva, quienes me han brindado su apoyo incondicional y disponibilidad de tiempo durante todo el transcurso del desarrollo de mi trabajo de tesis.

## Capítulo I

### Introducción

Los plásticos son materiales no biodegradables que se obtienen a partir de recursos naturales, principalmente del petróleo, gas natural, carbón y sal común. Sus inicios datan de los años 50's y su uso hoy en día se encuentra muy extendido por ser un material eficiente y muy versátil, que presenta facilidad de moldeo y bajo costo de producción. A nivel mundial la producción de plásticos se encuentra en crecimiento llegando a generar alrededor de 320 millones de toneladas por año y destinando sólo el 40% para material plástico de un solo uso (Plastivida, 2007; Wright et al., 2013).

Las personas se benefician masivamente de su uso, por lo que generan una gran cantidad de residuos plásticos (> 75 %) hacia la biota; es decir, exponen estos residuos a la acción de diversos factores naturales esperando su degradación física y química, sin darles gestión alguna. En consecuencia, se genera una gran cantidad de contaminantes emergentes en forma de pequeñas partículas de plástico a nivel microscópico conocidos como microplásticos (MPs de tamaño < 5 mm). La World Wild Fund for Nature (WWF), mencionan que la presencia de estos residuos plásticos es altamente contaminante debido a que en los últimos años han alcanzado niveles muy críticos y significativos sobre nuestro hábitat natural, ocasionando consecuencias muy nocivas a quienes vivimos ahí (Cabrera, 2018; Calderón et al., 2020; Flores & Orozco, 2022; León Muez et al., 2020; López et al., 2020; Rochman et al., 2013; Sarria & Gallo, 2016).

Los MPs son capaces de transportar, absorber, y acumular una gran cantidad de sustancias químicas que pueden provocar efectos adversos en quien las consuma; esto se debe a que se encuentran contaminando los diversos entornos del planeta (ríos, lagos, océanos, suelos agrícolas, productos alimenticios, etc.) y a su vez llegando a ingresar por diferentes medios a la cadena alimentaria al tener un tamaño de partícula muy reducido (López et al., 2020; Torres, 2021).

El Ecuador, un país productor de petróleo, produce aproximadamente el 90 % de los plásticos a partir de los derivados del petróleo. En función de lo anterior, la generación de residuos

contaminantes se ha incrementado a niveles alarmantes en los años 2015 y 2017, registrándose cifras de 499,33 toneladas de desecho a nivel nacional (López et al., 2020; Rochman et al., 2013).

Hoy en día la presencia de plásticos en el mar representa una gran problemática que preocupa a la población, ya que anualmente toneladas de plástico terminan en el mar. Su presencia en estos ambientes marinos lo vuelven un potencial contaminante debido a que como se mencionó anteriormente, pueden llegar a absorber una gran variedad de contaminantes hidrofóbicos, persistentes y bioacumulables que tienden a liberar un sin número de compuestos químicos provenientes de su proceso de manufactura (Teuten et al., 2009; Torres, 2021).

La contaminación de MPs en el medio marino, es consecuencia de la falta de conocimiento o información del cómo poder desechar o reciclar estos residuos de forma correcta. En función de lo anterior, se pretende realizar un estudio de caracterización e identificación de MPs presentes en muestras de agua de mar y en sedimentos de arena de playa de la isla Puná. Esto con la finalidad de determinar el nivel de contaminación por MPs de este entorno y de esta manera aportar con información que sirva para generar conciencia en la producción, consumo y manejo de este tipo de desechos.

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

- Caracterizar los microplásticos contenidos en muestras de agua y sedimentos colectados alrededor de la Isla Puná con espectroscopia de infrarrojo medio y módulo ATR.

### **Objetivos Específicos**

- Procesar las muestras de agua y sedimentos provenientes de la isla Puná.
- Caracterizar la presencia de partículas obtenidas de las muestras a través de un microscopio.
- Identificar y analizar las muestras a través de espectroscopia IR con módulo ATR.
- Analizar la información a través de la estadística multivariada.

## Capítulo II

### 2. Marco Teórico

#### 2.1 Plásticos

Son materiales de origen orgánico y de elevado peso molecular que se obtienen del petróleo y gas natural, que pueden ser extruidos, moldeados, retorcidos, y preformados. Están constituidos principalmente por largas cadenas de polímeros naturales o sintéticos, los cuales se encuentran sometidos a varios procesos de polimerización de monómeros y adición de aditivos químicos (pigmentos, catalizadores, disolventes, etc.) (Acosta, 2014).

##### 2.1.2. Clasificación de los Plásticos

Los plásticos se pueden clasificar en diferentes categorías según la posición de las macromoléculas que contienen.

➤ **Termoplásticos.** – se componen de moléculas lineales que poseen un proceso físico reversible; es decir, estos polímeros se pueden ablandar y endurecer mediante un ciclo de calentamiento y enfriamiento sin sufrir alteraciones. Por consiguiente, su reciclaje mecánico se lo considera sencillo y habitual únicamente para este tipo de plásticos (Castells, & de Gracia, 2012; Raimond & Charles, 1995).

Es el tipo de plástico más empleado a nivel mundial, se asume que su producción actual se encuentra alrededor del 80 % del total distribuido en diferentes materiales de uso cotidiano (Castells, & de Gracia, 2012).

Entre ellos tenemos los siguientes, ver tabla 1.

*Tabla 1 Clasificación de los plásticos termoplásticos.*

<b>Nombre</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Código de Reciclaje</b>	<b>Aplicaciones</b>
Polietileno Tereftalato	PETE		Se usan en la elaboración de botellas de refresco y envases de alimentos.

<i>Polietileno de alta densidad</i>	HDPE		Se encuentra en tuberías, contenedores, cosméticos, botellas de leche/zumo, bolsas de envase, etc.
<i>Cloruro de Polivinilo</i>	PVC		Puede ser flexible o rígido y se encuentra en botellas, tuberías, revestimiento de moquetas, films, tubos de aplicación médica, pavimento sintético, etc.
<i>Polietileno de baja densidad</i>	LDPE		Films, contenedores flexibles, y bolsas de plástico.
<i>Polipropileno</i>	PP		Cajas de frutas y botellas, componentes de automoción, contenedor de líquidos calientes, fibras, etc.
<i>Poliestireno</i>	PS		Rígido: cajas, tapas, y contenedores Expandido: vasos desechables, aislante en construcción, etc.
<i>Otros</i>	-		Material elaborado a partir de mezclas complejas de diferentes tipos de plástico.

Fuente: Propia

➤ **Termoestables.** – material rígido donde cuyos enlaces de sus macromoléculas se encuentran entrecruzados impidiéndoles adoptar nuevas formas mediante calentamiento o presión (Raimond & Charles, 1995).

### Ejemplo

- Fenoles (aislantes eléctricos, interruptores)
- Aminas (recubrimiento de tableros, clavijas)
- Resinas de Poliéster (fibras, embarcaciones)

- Resinas Epoxi (adhesivos, material deportivo)

➤ **Elastómeros.** – polímeros cuya cadena principal está constituida por enlaces dobles entrecruzados parcialmente. Esta disposición a su vez les confiere un mayor grado de flexibilidad permitiéndole que sus cadenas se puedan enrollar y desenrollar fácilmente adquiriendo su forma inicial cuando un esfuerzo deje de actuar sobre ellos (Beltrán & Marcilla, 2012).

#### **Ejemplo**

- Cauchos (neumáticos, mangueras, artículos de goma)
- Neoprenos (traje de submarino, correas)
- Poliuretanos (piel artificial, gomaespuma)
- Siliconas (sondas, prótesis, cierres herméticos)

## **2.2. Contaminación Marina por Plásticos**

El Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas (UNEP), define como basuras marinas a cualquier material sólido, persistente fabricado y/o procesado que haya sido eliminado o depositado en el mar o zonas costeras. Entre los diferentes tipos de basuras marinas se encuentra el papel, vidrio, cartón, tela, metal, madera, residuos sanitarios, cuerdas, residuos relacionados a la pesca, plástico, etc., siendo los plásticos el principal contaminante llegando a representar más del 80 % de la basura que se encuentra en el mar según estudios de varios autores (Buceta et al., 2017; UNEP, 2005).

Como se comentó anteriormente, los plásticos son la basura marina que más preocupación capta debido a su volumen y persistencia. Se ha comprobado que las principales fuentes de entrada son aquellas que provienen de tierra especialmente de zonas industrializadas, zonas cercanas a plantas de tratamiento de residuos o regiones con un mayor número de población, las cuales han alcanzado el 80 % del total de residuos sólidos encontrados (GESAMP, 2015). En ese sentido, pueden llegar de forma indirecta mediante ríos, aguas residuales, vientos, aguas pluviales al mar (Buceta et al., 2017). La contaminación marina al estar presente y distribuida en todo el planeta estaría llegando a generar un problema de gran relevancia a todos los ecosistemas de agua dulce y marina volviéndose una amenaza para toda la fauna de su hábitat. Por consiguiente, es

necesario tratar de gestionar medidas de prevención en estas zonas o puntos calientes para reducir sus aportes hacia el sistema acuático (GESAMP, 2015).

### 2.3. Macroplásticos

Son todos aquellos residuos provenientes de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño. Surgen de la disposición final inadecuada de los residuos plásticos a partir de sus múltiples usos diarios por parte de los seres humanos, y se encuentran presentes en los ecosistemas acuáticos y terrestres con un tamaño de partícula superior a 25 mm, ver figura 2 (Flores & Orozco, 2022; Torres, 2021).

### 2.4. Microplásticos

Son contaminantes emergentes definidos como partículas sólidas sintéticas, no biodegradables e insolubles en agua. Por lo general, son fragmentos de partículas con tamaños y formas variadas que se producen a partir de polímeros derivados del petróleo o de bases biológicas que llegan a oscilar en un rango comprendido entre 5 mm y 1  $\mu\text{m}$  respectivamente, ver figura 1 (CEDEX, 2017; De la Torre, 2019; García Regueiro, 2019).

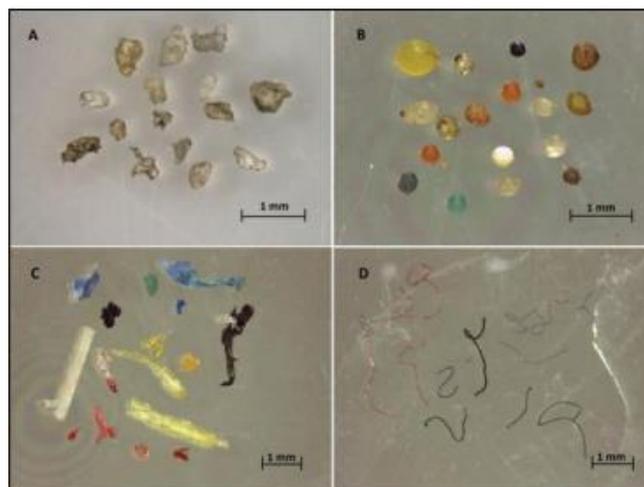


Figura 1 Microplásticos primarios (A-B) y secundarios (C-D) presentes en un cuerpo de agua.  
Fuente: (IntecoAstur, 2022; Seraffini, 2017)

Según sea el origen los microplásticos se puede clasificar en lo siguiente:

## 2.4.1. Clasificación de los Microplásticos

### 2.4.1.1. Por su Tamaño

#### Microplásticos Primarios

Se denominan microplásticos primarios a todos los plásticos que presentan un tamaño de partícula microscópico. Es decir, que se han manufacturado con ese tamaño de partícula para su comercialización llegando a variar de forma, tamaño, y composición según el requerimiento de elaboración de cada producto (Correa, 2020; De-la-Torre, 2019; Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

Entre estas micropartículas sobresalen las microesferas o microexfoliantes (<500  $\mu\text{m}$ ), las cuales se encuentran presentes en productos cosméticos, cremas dentales, y exfoliantes. También tenemos los pellets industriales, polvos micronizados para recubrimientos textiles, productos farmacéuticos, entre otros. No obstante, debido a su flotabilidad y tamaño de partícula reducido, no pueden ser removidas de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) y terminan siendo liberadas a los cuerpos de agua (Correa, 2020; De-la-Torre, 2019; Rojo-Nieto & Montoto, 2017; Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).

#### Microplásticos Secundarios

Los microplásticos secundarios, se producen a partir de la fragmentación de estructuras sintéticas plásticas más grandes (macroplásticos). Esto se debe, a que estos materiales al encontrarse expuestos a diferentes condiciones externas del medio ambiente tienden a degradarse física (calor, luz UV y acción mecánica), química (oxidación), y biológicamente (Correa, 2020; Nudelman, 2020; Rojo-Nieto & Montoto, 2017; Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).

Las partículas plásticas al degradarse se asocian a un sinnúmero de factores como decoloraciones de plásticos, desprendimientos de aditivos químicos, erosiones en sus superficies, y aumento de su fragilidad. A su vez contribuyen como una fuente de entrada de microplásticos y nanoplásticos hacia el medio. Este tipo de partículas por lo general se encuentran como hilos de microfibras sintéticas o fragmentos irregulares de forma variada, provenientes de diferentes fuentes como lavado de ropa, neumáticos, redes de pesca, colillas de cigarrillo, entre otros (Nudelman, 2020; Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

Las posibles fuentes y rutas que siguen los microplásticos hacia el medio marino se puede visualizar en el siguiente esquema presente en la figura 2 que se encuentra a continuación.

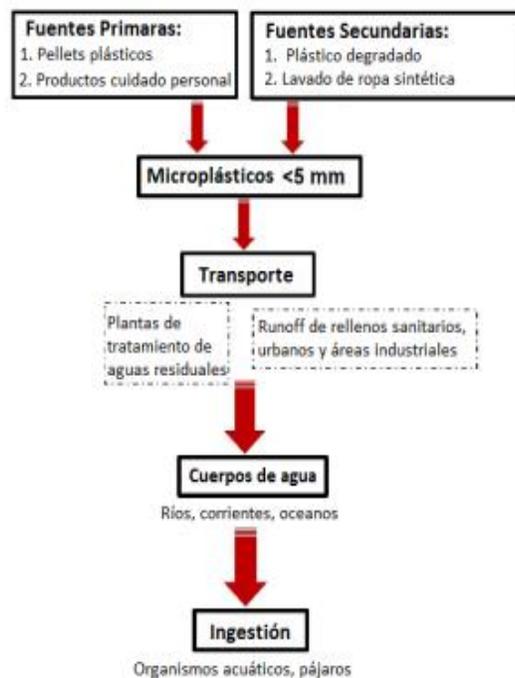


Figura 2 Fuentes y rutas de los MPs en el medio ambiente.  
Fuente:(Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016)

#### 2.4.1.2. Por su Forma

Los microplásticos se pueden clasificar en función de sus formas y tonalidades variadas que suelen presentar. Según Rezania et al., (2018), llega a clasificar a los MPs en cinco categorías (ver figura 3) en función de su morfología y frecuencia de aparición con el único objetivo de tratar de vincularlos con su fuente de origen (Pazos, 2021).

La guía de microplásticos mencionados por la bibliografía es la siguiente:

- **Pellet.** - pedazo de plástico de forma variada (cilíndricas, discoides, ovoides o esferoides), con superficie lisa y morfología homogénea.
- **Fragmento.** - pedazo de plástico de forma irregular, de bordes afilados, angulares y subangulares.

- **Fibra.** - hebra de plástico con una alta relación longitud/radio, de espesor aproximadamente igual en toda su longitud y con una flexión generalmente tridimensional.
- **Film.** - lámina de plástico delgada, plana y maleable.
- **Foam.** – pedazos de plástico liviano, compresible y de color blanco, y presentan aspecto como esponja.



Figura 3 Tipos de MPs: 1) pellet, 2) fragmento, 3) fibra, 4) film y 5) foam.  
Fuente: (Rezania et al., 2018)

## 2.5. Ocurrencia e Impacto de los Microplásticos en los Ambientes Marinos

### 2.5.1. Ocurrencia

Ivar do Soul, en su investigación en las playas de Fernando de Noronha encontró la presencia de partículas de microplásticos en 13 de las 15 playas muestreadas de las dos islas de estudio. La frecuencia de abundancia de las partículas en el plancton del subsuelo fueron las de forma de fragmentos predominando en las 2 islas (Sotavento y Barlovento); sin embargo, las bolas de plástico virgen se registraron únicamente en la isla Barlovento, siendo la más contaminada. A partir de dichos resultados, concluyeron que su presencia se puede deber a una flota pesquera aledaña a las islas (Ivar do Soul, 2009).

Acosta en su estudio sobre microplásticos primarios en el ambiente marino de una playa urbana en Cartagena de Indias, demostró la presencia de microplásticos en forma de pelotas de diferente color en las siete muestras evaluadas. Donde la composición química de estas partículas plásticas arrojó resultados positivos para la presencia de PE y PP en mayor proporción, así como también indican que las estaciones climáticas no influyeron en la frecuencia de aparición de los MPs y su patrón de ubicación sobre la superficie costanera (Acosta, 2014).

Zhao y col, verifico la cantidad de microplásticos presente en los estuarios Jiaojiang y Oujiang y Minjiang en China. El análisis de las partículas con un diámetro <5 mm, determinó la abundancia de fragmentos de plástico y gránulos en todas las muestras (> 90 %) destacando las partículas

de color y en menor proporción las de color blanco. Finalmente, su matriz polimérica arrojó resultados positivos para PP, PE, PVC, y PTEF, determinando que su concentración se debe a la contaminación del agua por residuos marinos y principalmente por que los estuarios se encuentran dentro de una estructura económica urbana influyendo negativamente sobre los mismos (Zhao et al., 2015).

Ríos, 2017, en su trabajo de investigación en el balneario Costa Azul, Ventanilla – Callao, identificó partículas de microplásticos de tamaño variado en todas sus muestras según los tamices empleados (106  $\mu\text{m}$ , 850  $\mu\text{m}$ , 2000  $\mu\text{m}$  y  $>2000 \mu\text{m}$ ). El promedio en peso de estas partículas fue de 24,05 g en 0,05  $\text{m}^3$  de muestra, donde presentaron mayor peso los de color blanco. Los tipos de polímeros encontrados fueron HDPE y PP, vinculándose su origen al río y población aledaño del lugar; así como también, a la actividad turística de la zona costera del lugar (Ríos, 2017).

González, 2019, en su trabajo sobre la ocurrencia de microplásticos en los sedimentos de la Isla Santay, demostró la presencia de microplásticos en la totalidad de sus muestras de estudio con un valor total de 692 partículas con un tamaño de diámetro comprendido entre los 0,5 y 5 mm. La mayor frecuencia de microplásticos registrados se encontró en la zona Norte de la isla y la menor en la parte Sur, predominando las formas de fragmentos, fibras y films. La presencia de estas partículas en el sedimento marino, les atribuyo a la contaminación expuesta por las urbes grandes de la provincia del Guayas (González, 2019).

Castillo, 2020 en su estudio en la costa de la Patagonia de Chile, determinó la presencia de partículas plásticas entre 0,1 – 7 por  $\text{m}^3$  y de 12 – 475 por kg de sedimento. La presencia de fragmentos y films se caracterizaron mediante ATR-FTIR, llegando a identificarse la presencia de acrílicos, resinas epoxi, polietileno Tereftalato (PET), polipropileno (PP) y celofán. Cabe señalar que la presencia de estas partículas plásticas en los puntos de evaluación de aguas profundas se debe a la consecuencia del transporte de las aguas oceánicas (Castillo, 2020).

Capparelli y col, en su investigación en ríos y costa de la provincia de Esmeraldas en Ecuador, determinaron la presencia de MPs en un 84 % de la respuesta total en playas y ríos de la zona costera de Esmeraldas. Las playas resultaron ser los principales focos de contaminación al acumular MPs en mayor cantidad provenientes de los ríos y otras fuentes (Capparelli et al., 2020).

Diferentes investigaciones han detectado microplásticos en entornos marinos. Por ejemplo, un estudio en arroyos y ríos de la España peninsular demostró que la presencia de estos contaminantes en más del 70 % de las muestras evaluadas. De los 157 puntos de agua estudiados, se logró determinar en mayor proporción la aparición de fragmentos, films y fibras. Para su análisis se utilizó la microscopía infrarroja por transformada de Fourier, determinando la composición de 33 polímeros diferentes y obteniéndose en mayor relevancia la aparición de polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), poliéster y fibroplástico (León Muez et al., 2020).

Pazos en su estudio de microplásticos en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur), evidencio la existencia de MPs con forma de fibras azules ( $500 \leq 1000 \mu\text{m}$ ) en todas las muestras analizadas. Mediante su análisis de caracterización, identificó la presencia de los polímeros PE y PP en mayor proporción. Además, concluyo que los sectores con una calidad de entorno deteriorado presentaron una mayor concentración de MPs debido a que acumulaban un sinnúmero de aguas no tratadas provenientes de diferentes zonas; así como también que la presencia del viento influye en gran medida para la distribución de estas partículas (Pazos, 2021).

Cisneros y col, en su trabajo en sedimentos marinos en Tumbes, Perú, determino la presencia de microplásticos en 30 de sus 76 muestras de sedimentos marinos. Dichas muestras contenían fibras y/o fragmentos de plástico en un 73 % asociando a las fibras a sedimentos arcillosos en las zonas más alejadas de la costa, y a los fragmentos a sedimentos arenosos y arcillosos. Las muestras inspeccionadas presentaron una coloración variada (verde, rojo, negro, y blanco), las mismas que se las vincularon con restos de pintura de embarcación y fibras usadas para la pesca artesanal. Consecuentemente, se determinaron que los microplásticos provenían de aquellas actividades desarrolladas en su zona costera (Cisneros et al., 2021).

Claessens y col, en su investigación examinaron los sedimentos marinos de la costa Belga, determinando la presencia de partículas de microplásticos en todas sus muestras de estudio con una concentración total de 390 partículas de microplásticos por kilogramo de sedimento seco. Además, determinaron que su variación espacial de sus concentraciones fue relativamente pequeña llegando a figurar las morfologías de fibras, gránulos, film, esférulas y fragmentos, correspondientes a diversos polímeros como PP, PS, PE, nylon y alcohol polivinílico (PVA) según su identificación química. Finalmente, llegaron a inferir que el aumento de microplásticos se debe

principalmente al aumento indiscriminado de plástico, la geometría del lugar y el temporal (Claessens et al., 2021)

Dávila y Montalvan, en su investigación inspeccionaron las playas Pozo de Lisas y Montecarlo en Perú, determinando la existencia de partículas de microplásticos primarios (<1 mm) y secundarios (5 – 1 mm) categorizándolas por su color, tamaño y peso (mg de MP/cm<sup>3</sup>). Determinado que su presencia en el ambiente marino puede ocasionar gran impacto ambiental sobre la ecología marina (Dávila & Montalvan, 2021).

### 2.5.2. Impacto

Los posibles riesgos por generarse tanto medioambientales como para la salud humana, van a depender principalmente del nivel de exposición y efectos adversos que pueden presentar estas partículas de plástico. Donde cuyos efectos se vinculan directamente con los factores físicos y químicos que presentan los microplásticos; es decir, tamaño, forma, reactividad, contaminantes, toxicidad, etc. En ese sentido, mientras más pequeñas sean las partículas de microplásticos estas van a tener una mayor área superficial con la capacidad de presentar una mayor toxicidad intrínseca (Cole et al., 2011; Guasti, 2022).

La ingesta o absorción de estas partículas de plástico por diferentes especies en el medio marino afectarían varios niveles de la cadena trófica (aves, mamíferos marinos, peces e invertebrados) y consecuentemente nuestra salud mediante su consumo. El proceso de ingestión en este medio se produce principalmente por el nivel de exposición a la que se encuentran estos organismos y se puede realizar de forma interna como externa mediante alimentación activa o en contacto con la superficie externa del organismo (branquias), presentando esta última una menor concentración con respecto a la ingesta que sufren por alimentación (Cole et al., 2011; Guasti, 2022).

Sin embargo, se puede decir que los riesgos a suscitarse se encuentran aún en proceso de caracterización debido a la falta de información existente generando a su vez más incertidumbre.

## 2.6. Normativa

En la actualidad no existen legislaciones o normativas que nos indique en que concentraciones se deben encontrar los microplásticos en el medio marino; sin embargo, existen algunos convenios internacionales donde cuyas estrategias están centradas en tratar de reducir la emisión de estas basuras marinas hacia los océanos. A continuación de manera breve se da a conocer algunos de estos convenios vigentes para el control y prevención de la contaminación marina.

### Convenios Internacionales

- **Asamblea General de las Naciones Unidas y la Convención de las Naciones Unidas por el derecho del Mar (UNCLOS). “Protección y preservación del medio marino”.** Constituida por 167 participantes, exige que cada uno de sus estados adopte medidas de protección necesarias para reducir la contaminación y liberación de sustancias tóxicas, nocivas y perjudiciales hacia el mar proveniente de diferentes fuentes o actividades.
- **Programa de las Naciones Unidas por el Medio Ambiente (PNUMA).** Establecido en 1972 actúa como catalizador, promotor, educador y facilitador para promover el uso racional y el desarrollo sostenible del medio ambiente mundial en el marco del sistema de las Naciones Unidas. En su “Programa Global de Acción para la Protección del Ambiente Marino de Actividades de la Superficie Terrestre” adoptado en 1995, tiene como objetivo principal abordar todos los efectos negativos sobre el medio marino y costero consecuente de las actividades provenientes de la superficie terrestre, siendo la basura marina una de las 9 categorías a las que hace frente el programa.
- **Convenio MARPOL. “Prevención de la contaminación de basuras por buques”.** En su anexo V establece ocho reglas de enmienda para mitigar verter estos residuos hacia el mar, y a su vez, especifica sus áreas y/o zonas marinas especiales de protección (mar Negro, mar mediterráneo, mar Rojo, mar Báltico, mar Norte, la Antártida, los Golfos, y la zona del Gran Caribe).

- **Convenio de Londres. “Prevención de contaminación marina por vertido de basuras”.** Constituida por 87 estados se ocupa únicamente de los vertidos provenientes desde los buques, con el propósito de promover un control efectivo de sus fuentes y consecuentemente adoptar las medidas pertinentes para evitar verter estos desechos. Su protocolo establece una lista inversa que detalla exclusivamente aquellos desechos que se pueden verter hacia el mar. Entre ellos tenemos el material dragado, lodos depurados, material proveniente de la manipulación de pescados, materia orgánica natural, buques/plataformas, construcciones en el mar, material geológico inorgánico inerte, y aquellos objetos grandes e inocuos sin posibilidad de tener otras formas de eliminación.
- **Convenio de OSPAR. “Protección del medio marino Atlántico del Nordeste”.** Resulta de la combinación de los convenios OSLO y PARÍS para prevenir la contaminación marina derivados de fuentes terrestres, buques y aeronaves. Está formada por los estados de Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Irlanda, Islandia, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y la Comunidad Europea, que tienen la obligación de cumplir cada una de sus seis estrategias propuestas mediante sus instrumentos de monitoreo.

Sus objetivos se encuentran enfocados en conservar los ecosistemas marinos y la salud humana, y a su vez restaurar las áreas marinas afectadas por las actividades humanas mediante la prevención y eliminación de la contaminación y su protección. Además, entre sus instrumentos de monitoreo de sus estrategias para determinar su progreso.
- **Convenio de Barcelona. “Protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo”.** Constituido por 22 partes contratantes: Albania, Argelia, Bosnia Herzegovina, Croacia, Chipre, Egipto, la Unión Europea, Francia, Grecia, Israel, Italia, Líbano, Malta, Mónaco, Marruecos, Serbia y Montenegro, Eslovenia, España, Siria, Túnez y Turquía. Exige a sus partes contratantes adoptar medidas necesarias, individuales o en conjunto para proteger, reforzar, y reducir la contaminación del medio marino y las zonas del mar Mediterráneo a fin de contribuir en su desarrollo sostenible; he Implementar programas para garantizar la gestión sostenible de los recursos naturales marinos y costeros.
- **Norma ISO 21070. “Norma de seguridad marítima para la prevención de la contaminación, por la basura de los equipos flotantes de la ACP”.** Establece los criterios

para gestionar la basura y prevenir la contaminación por desechos provenientes de los equipos flotantes de la ACP, contratistas y terceros que presenten una eslora (longitud del equipo flotante) igual o superior a 12 metros. Los equipos flotantes deberán tener un plan de gestión de basuras, donde la información debe ir en rótulos para que pueda ser visualizada por la tripulación y las personas a bordo. Además, se prohíbe botar basuras (materia plástica, fibras sintéticas, bolsas de plástico, vidrios, forros de estiba, papel, restos de comida, etc.) hacia el canal, y a su vez establece un criterio de eliminación en tierra una vez clasificada por categorías de su naturaleza en contenedores de diferentes colores.

### Convenios Nacionales

- **Marco Legal Nacional. “Ley orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso”.** Se rige en todo el territorio nacional ecuatoriano que tiene por objetivo el marco legal de regular la generación de residuos plásticos y la reducción progresiva de plásticos de un solo uso mediante el consumo responsable, la reutilización, reciclaje y reemplazo de estos productos por material reciclado o biodegradable.

En su art. 9 establece la reducción de plásticos de un solo uso a partir de los 12, 24 y 36 meses de entrada en vigencia la ley, lo cual prohíbe el uso de bolsas, envoltorios y envases de plástico en todas las áreas que son parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) incluyendo las playas, islas, islotes, ríos, lagos, lagunas, páramos, y bosques. Sin embargo, en el art. 10 excluye la prohibición de usar empaques y bolsas plásticas que constituyen el envase primario de productos alimenticios, de limpieza, higiene, salud, medicina y sorbetes de base polimérica adheridos a envases o productos que se pueden reciclar.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GAD) tienen la obligación de implementar todas las medidas y acciones necesarias (programas, proyectos, políticas) para contribuir con el cuidado de la salud y medio ambiente en general.

## Capítulo III

### 3. Metodología

#### 3.1. Descripción del Lugar de Muestreo

La Isla Puná parroquia rural de Guayaquil, se encuentra ubicada en la provincia del Guayas al Suroeste de Ecuador. La cual se halla rodeada hacia el norte por la desembocadura del río Guayas (formado por los ríos Babahoyo, Daule y por el Estero Salado constituido por una red de drenajes), al este por el canal de Jambelí, al oeste por el canal del Morro, y hacia el sur por el Océano Pacífico. En lo que concierne a la calidad de agua, esta se encuentra contaminada debido a que abarca un sinnúmero de aguas residuales sin tratar provenientes de desechos domésticos e industriales, también por el sector camaronero, por el uso de barbasco, desechos sólidos procedentes de las áreas costeras, entre otros (Etelégrafo, 2012; Moncayo, 2019)

La localización respectiva de cada uno de los puntos de muestreo se puede visualizar en la imagen siguiente en uso de la aplicación “Google Erths” y de las coordenadas de cada una de las muestras, ver figura 4. Los detalles de los puntos de muestreo se pueden ver en la tabla 2.

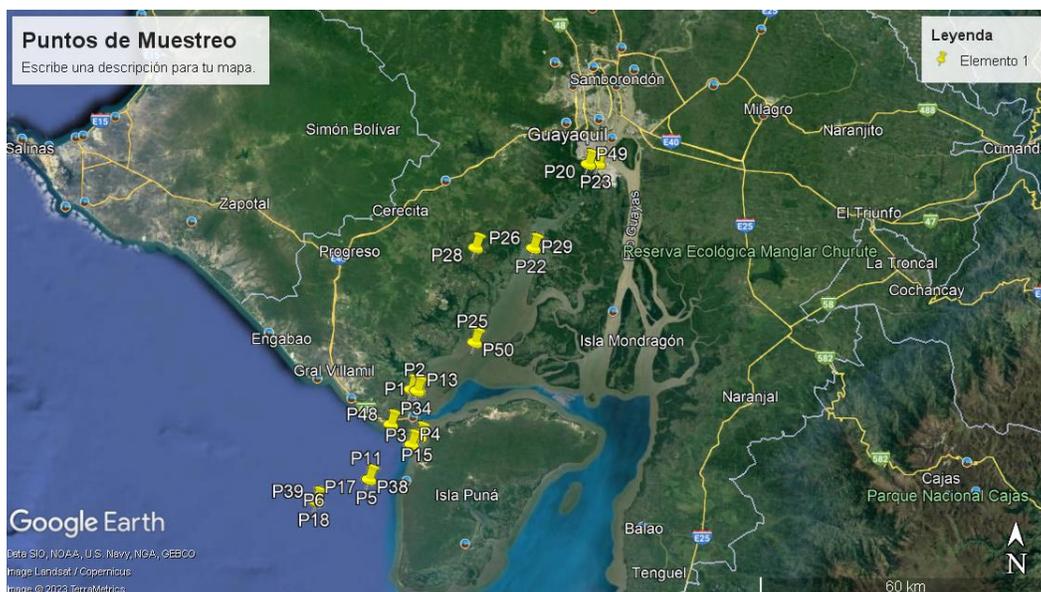


Figura 4 Ubicación de los puntos de muestreo.

Fuente: Propia

Tabla 2 Puntos de muestreo.

Muestras	Puntos de muestreo	Código *	Coordenadas		Fecha
			X	Y	
	P1	PL 60 - 1	584521	9703176	15/05/2022
	P2	PL 60 - 2	584185	9703030	15/05/2022
	P3	PL 60 - 3	584769	9693737	15/05/2022
	P4	PL 60 - 4	583158	9692125	16/05/2022
	P5	PL 60 - 5	574465	9684919	16/05/2022
	P6	PL 60 - 6	563699	9680316	16/05/2022
	P7	PL 300 - 1	584521	9703176	15/05/2022
	P8	PL 300 - 2	584185	9703030	15/05/2022
	P9	PL 300 - 3	584769	9693737	15/05/2022
	P10	PL 300 - 4	583158	9692125	16/05/2022
	P11	PL 300 - 5	574465	9684919	16/05/2022
	P12	PL 500 - 6	563699	9680316	16/05/2022
	P13	PL 500 - 1	584521	9703176	15/05/2022
	P14	PL 500 - 2	584185	9703030	15/05/2022
	P15	PL 500 - 3	584769	9693737	15/05/2022
	P16	PL 500 - 4	583158	9692125	16/05/2022
Muestras de Agua	P17	PL 500 - 5	574465	9684919	16/05/2022
	P18	PL 500 - 6	563699	9680316	16/05/2022
	P19	M1	578845	9696144	11/07/2022
	P20	M2	578845	9696144	11/07/2022
	P21	M3	618868	9749424	11/07/2022
	P22	M4	618868	9749424	11/07/2022
	P23	M5	578845	9696144	11/07/2022
	P24	M6	578845	9696144	11/07/2022
	P25	M7	607751	9732248	11/07/2022
	P26	M8	620893	9749572	11/07/2022
	P27	M9	618863	9749424	11/07/2022
	P28	M10	620893	9749572	11/07/2022
	P29	M11	595920	9712987	11/07/2022
	P30	M12	607751	9732248	11/07/2022
	P31	M13	620893	9749572	11/07/2022
P32	M14	595920	9732248	11/07/2022	
P33	M15	607751	9732248	11/07/2022	
	P34	Sed1	584521	9703176	15/05/2022
	P35	Sed2	584185	9703030	15/05/2022
	P36	Sed3	584769	9693737	15/05/2022
	P37	Sed4	583158	9692125	16/05/2022
	P38	Sed5	574465	9684919	16/05/2022
	P39	Sed6	563699	9680316	16/05/2022
Muestras de Sedimento	P40	MG1	583120	9703083	15/05/2022
	P41	MG2	583073	9703189	15/05/2022
	P42	MG3	583000	9703316	15/05/2022
	P43	M1	27792	802209	08/05/2022
	P44	M2			08/05/2022
	P45	M3			08/05/2022
	P46	M4			08/05/2022
	P47	Ms1	620893	9749572	11/07/2022

P48	Ms2	578845	9696144	11/07/2022
P49	Ms3	618868	9749424	11/07/2022
P50	Ms4	595920	9712987	11/07/2022
P51	Ms5	607751	9732248	11/07/2022

Fuente: Propia.

\* Los códigos empleados corresponden a los lugares de muestreo, la cual se puede observar en el anexo A

### 3.2. Población y Muestra

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se contó con dos bloques de muestra. El primer bloque contenía 18 muestras líquidas y 13 muestras con sedimentos, mientras que el segundo bloque contenía 15 muestras líquidas y 5 muestras de sedimentos.

El tipo de muestreo realizado fue del tipo simple sin réplicas en varios puntos de diferentes zonas de la provincia del Guayas como Puná, Bellavista, DP World de Posorja, estero Cobina, estero Santa Ana, y estero del Muerto tomados los días 14 y 15 del mes de mayo, y el día 17 del mes de julio del 2022.

La obtención de cada una de las muestras se realizó de forma manual. Es decir, para sedimentos de manglar provenientes de faenas de concheo y cangrejeo se empleó una draga Van Veen con superficie de mordida para recolectar los sedimentos blandos; mientras que para las muestras de arrastre planctónico se usó tamices con diferente abertura de malla con la finalidad de que cada una de las muestras sea representativa. Las muestras recolectadas y almacenadas en botellas de vidrio fueron enviadas al laboratorio de IRCMA de la Universidad de Cuenca, figura 5.



Figura 5 Muestras líquidas y de sedimentos.  
Fuente: Propia

### 3.3. Procedimiento

#### 3.3.1. Extracción de Microplásticos

##### Muestras líquidas

El desarrollo de este método se realizó en función de la metodología establecida por Capparelli et al., 2020.

- **Preparación.** – colocar 100 ml de cada una de las muestras en los vasos de precipitación de forma lenta evitando que las partículas sedimentadas lleguen a transferirse hacia los vasos. Posteriormente, someter las muestras a calentamiento a una temperatura de 60 ° C en uso de una estufa durante dos días para que se lleguen a evaporar las muestras, figura 6.



*Figura 6 Preparación de las muestras líquidas.  
Fuente: Propia.*

- **Reacción oxidativa**

Fase cuyo propósito es el de eliminar cualquier resto de materia orgánica que puedan contener las muestras. Esto se realiza con diferentes reactivos inherentes a degradar los polímeros con la finalidad de no llegar a generar algún error visual al momento de cuantificar e identificar las partículas de microplásticos. Los tipos de reactivos empleados para este tipo de digestión necesitan tener gran capacidad de disolver cualquier tejido de materia orgánica; sin embargo, debido a sus condiciones de operación pueden provocar la degradación de algunos polímeros y generar residuos aceitosos provocando errores de identificación de microplásticos. Entre estos reactivos más empleados tenemos a los siguientes: Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), Ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y Peróxido de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Para este proceso, se adicionó a las muestras 50 ml de peróxido de hidrógeno al 3 % para degradar la materia orgánica y se calentó a 60°C durante 24 a 72 horas. El tiempo de duración y la cantidad de peróxido de hidrógeno empleado, dependió principalmente de la cantidad de materia orgánica presente en cada muestra, figura 7.



*Figura 7 Digestión química.  
Fuente: Propia.*

- **Filtración al vacío.** – el líquido resultante de la digestión química, se lo procedió a filtrar al vacío en uso de filtros de membrana de nylon con tamaño de poro de 45  $\mu\text{m}$ . Se retiraron los filtros y se almacenaron en cajas Petri para que puedan secarse a temperatura ambiente hasta su posterior etapa (cuantificación), figura 8.



*Figura 8 Filtración al vacío.  
Fuente: Propia.*

### Muestras sólidas

La metodología que se empleó para el desarrollo de este proceso es el establecido por Masura et al. (2015) presentando algunas modificaciones y ajustes para nuestra cantidad de muestras.

- **Preparación.** – se secaron las muestras de sedimento en la estufa a una temperatura de 60°C durante 48 horas con la finalidad de lograr eliminar el agua contenida. Después, se colocaron sobre bandejas de papel aluminio y se procedió a secarlas durante 48 horas, figura 9.



*Figura 9 Preparación y secado.  
Fuente: Propia.*

- **Tamizado.** – se tomaron 100 g de cada muestra seca y se procedió a realizar el proceso de tamizado en húmedo lavando cada una de las muestras con la finalidad de eliminar las arcillas, limos y arenas que puedan contener, figura 10.



*Figura 10 Tamizado y lavado de las muestras.  
Fuente: Propia.*

- **Digestión ácida.** - para eliminar la materia orgánica de las muestras, se procedió a adicionar 20 ml de la solución peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al 35 % a cada una de las muestras tamizadas y lavadas. Posteriormente, cada muestra se calentó a una temperatura de  $75^{\circ}C$  durante 30 minutos. En el caso que las muestras burbujearan con peligro de desbordarse, se procedió a retirarlas de la placa caliente hasta que dejen de burbujear, caso contrario se adiciona agua destilada y nuevamente se llevó a calentamiento por 30 minutos más para dejarlas reaccionar durante dos días, figura 11.



*Figura 11 Digestión ácida.  
Fuente: Propia.*

- **Separación por densidad.** – una vez que las muestras dejaron de reaccionar con el peróxido de hidrógeno, se les adicionó una solución saturada de cloruro de sodio ( $NaCl$ ). Se procedió a agitar vigorosamente y se dejó reposar hasta observar que los sólidos se hayan sedimentado. Posteriormente, el líquido sobrenadante se filtró al vacío llegando a colocar los filtros en cajas Petri para su secado a temperatura ambiente, figura 12.



Figura 12 Filtración al vacío.  
Fuente: Propia.

### 3.3.2. Cuantificación de microplásticos

El estudio de observación y análisis de los microplásticos presentes en las muestras, se efectuó con un estereomicroscopio binocular SMZ-10 de la marca Nikon en uso del lente de 4x. Donde su proceso de identificación consistió en dividir en cuatro cuadrantes a cada uno de los microfiltros secos procedentes de las muestras de agua como de sedimentos. Esto se realizó con la finalidad de lograr tener una mejor apreciación de las partículas de plástico presentes en cada cuadrante y así determinar el número total de cada muestra, figura 13.

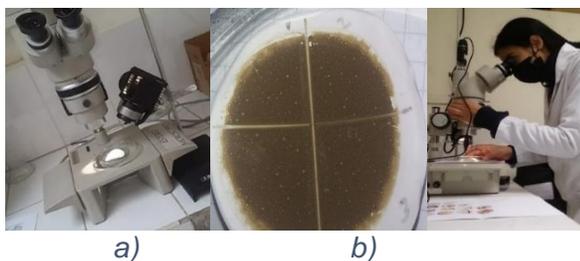


Figura 13 a) Estereomicroscopio, b) división de una muestra en cuadrantes y c) identificación y cuantificación de microplásticos.

Fuente: Propia.

Las partículas evaluadas en cada una de las muestras fueron fibras de plástico, pellets, foam, fragmentos y películas de film, las cuales se llegaron a anotar en una tabla de registro detallando su cantidad y color.

El procedimiento para el recuento de las partículas de microplásticos en el medio ambiente identificadas en el microscopio, fue el sistema de clasificación por tamaños y colores estandarizados (SCS). El cual consiste en cuantificar el micro plástico por unidad para luego asignarle un código de identificación único que se genera en función de su información detallada (tamaño y aspecto que pueden presentar), ver figura 14 (Crawford & Quinn, 2017).

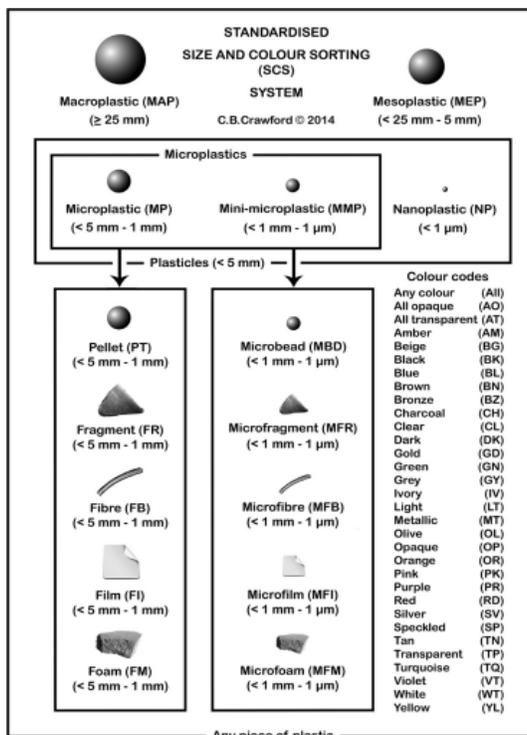


Figura 14 Sistema de clasificación por tamaños y colores estandarizados (SCS).  
Fuente: (Crawford & Quinn, 2017)

A continuación, se resume el procedimiento de clasificación por el SCS.

- 1. Tipo.** – se procedió a catalogar a los plásticos en función de su morfología y aspecto asignándoles su abreviatura correspondiente como pellet (PT), fragmento (FR), fibra (FB), film (FI) y foam (FM).
- 2. Color.** – se le asignó un color de identificación individual a cada pedazo de plástico o en su defecto combinaciones de colores. Ver tabla 3.

Tabla 3 Abreviaturas de los colores por el SCS.

Color	Abreviatura	Color	Abreviatura
Charcoal	CH	Speckled	SP
Clear	CL	Tan	TN
Dark	DK	Transparent	TP
Gold	GD	Turquoise	TQ
Green	GN	Violet	VT
Grey	GY	White	WT
Ivory	IV	Yellow	YL
Light	LT	Any colour	ALL
Metallic	MT	All opaque	AO
Olive	OL	All transparent	AT
Opaque	OP	Amber	AM
Orange	OR	Beige	BG

Pink	PK	Black	BK
Purple	PR	Blue	BL
Red	RD	Brown	BN
Silver	SV	Bronze	BZ

Fuente: Propia.

**3. Polímero.** – a cada muestra se le asigno la abreviatura del polímero correspondiente (ver tabla 4) una vez que se analizaron los plásticos mediante espectroscopia FTIR.

Tabla 4 Abreviatura de polímeros más comunes según el SCG.

<b>Polymer</b>	<b>Abbreviation</b>
High-density polyethylene	HDEP
Low-density polyethylene	LDEP
Polyethylene terephthalate	PET
Polypropylene	PP
Polystyrene	PS
Polyvinyl chloride	PVC
Polyamide (nylon)	PA
Nylon 6	PA 6
Nylon 11	PA 11

Fuente: Propia

**4. Cantidad.** – se registró la cantidad de plástico presente en cada muestra por piezas individuales o repetitivas.

- Piezas de plástico únicas: se escribe el número 1 después del código.
- Piezas de plásticos iguales: el número de piezas se escribe al final del código.

Finalmente, cada pieza de plástico se llegó a codificar detallando su tipo, color, polímero y su cantidad como se aprecia en la figura 15 (Ver anexo J).

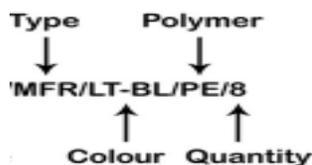


Figura 15 Ejemplo de codificación de microplásticos según el SCS.  
Fuente: (Crawford & Quinn, 2017)

### 3.3.3. Caracterización de Microplásticos

La técnica de análisis que se empleó para determinar los diferentes tipos de polímeros existentes en las muestras, fue la de Espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) con módulo ATR (Reflectancia Total Atenuada).

**FITR.** - Esta técnica estudia la interacción entre la materia y la radiación infrarroja proporcionando información cualitativa y cuantitativa sobre la estructura molecular de una muestra sólida, líquida o gaseosa al trabajar en un rango de frecuencia de  $4000 - 600 \text{ cm}^{-1}$ . Esta técnica analítica establece que la energía de radiación de la región infrarroja es absorbida por la molécula que se encuentra vibrando en su estado basal a la misma longitud de onda que la radiación infrarroja incidente provocando a su vez un cambio en la intensidad de vibración. Es decir, los fotones de luz que componen la luz infrarroja pueden ser absorbidos por la muestra, la cual al ganar energía los enlaces de sus moléculas se van a distorsionar; caso contrario, al no presentar interacción la luz llega a pasar directamente (Cortez, 2017; Crawford & Quinn, 2017).

Mediante este método se puede llegar a identificar MPs en un rango de  $50 - 500 \mu\text{m}$  en un periodo de tiempo muy corto, además de poseer una alta resolución espacial ( $10 - 20 \mu\text{m}$ ); sin embargo, puede presentar inconvenientes al momento de preparar las muestras (Muñante, 2020).

**ATR.** - Este detector se utiliza en muestras sólidas y líquidas al introducir un haz de luz IR de forma atenuada adquiriendo a su vez su composición e información estructural (Mondragón & Arriola, 2016; Toledo, s.f.). Se fundamenta principalmente en la reflexión que experimenta la radiación IR en la interfaz de dos superficies con diferente índice de refracción. Al pasar la radiación por el cristal transmisor de elevado índice de refracción en determinado ángulo, este va a generar una reflexión total interna en forma de onda evanescente. La cual se extiende hacia la muestra que se encuentra en contacto íntimo con el cristal registrando a su vez el espectro del analito (Gavira, 2017; Otero & Guadarrama, 2022).

Una vez procesadas las muestras, se procedió a realizar la respectiva clasificación polimérica de cada uno de los microplásticos encontrados. El equipo que se empleó fue el espectrómetro Nicolet™ iS™5 FT-IR en conjunto con el accesorio iD7 ATR de la marca Thermo Scientific™.

Donde el registro de los espectros de las muestras se realizó en uso de un cristal de ZnSe para líquidos y sólidos blandos, el cual trabaja en un rango espectral de  $7800 - 550 \text{ cm}^{-1}$ , ver figuras 16 y 17.



*Figura 16 Equipo de FTIR con módulo ATR.  
Fuente: Propia.*



*Figura 17 Módulo ATR.  
Fuente: Propia.*

### **3.4. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos**

Los datos fueron organizados en el programa Excel para plasmar toda la información recopilada en tablas. Posteriormente, se usó el software libre R con interfaz RStudio para realizar la estadística descriptiva y multivariada: clúster y componentes principales.

## Capítulo IV

### 4. Resultados

Al evaluar cada una de las muestras de estudio provenientes de diferentes zonas de la isla Puná, se logró constatar la presencia de microplásticos en cada una de ellas. Las cuales, se llegaron a caracterizar para determinar el tipo de morfología, cantidad de partículas, y tipo de polímero correspondiente.

#### 4.1. Muestras de Agua

##### 4.1.1. Color y Morfología de las Partículas de Microplásticos

Mediante la observación a través del estereomicroscopio, se logró apreciar la cantidad de partículas de microplásticos presentes en muestras de 100 ml de agua y 100 g de sedimento. La cantidad de microplásticos encontrados en las muestras de agua, se pueden observar en la tabla 5.

En conjunto con la cuantificación, se procedió a categorizar a las partículas en función de su morfología variada como fibras, pellets, fragmentos, film, y foam. No obstante, cabe mencionar que cada una de las muestras presentaba microplásticos de tamaño, grosor, y color variado como se puede apreciar en la figura 18 que se visualiza a continuación.



Figura 18 Microplásticos a) gotas y esferas (Pellets), b) fibras y c) fragmentos.  
Fuente: Propia.

El recuento total de microplásticos presentes en las muestras de agua provenientes de la isla Puná fue de 29302 unidades. Las de mayor ocurrencia fueron los pellets 23749 unidades (81.05 %), seguido de las películas de film 2707 unidades (9.24 %), fragmentos 1471 unidades (5.02 %), fibras 1363 unidades (4.65 %) y en menor frecuencia o casi nula los foam con 12 unidades (0.041 %), ver tabla 5.

Tabla 5 Cantidad, categoría y concentración de microplásticos contenidos en 100 ml de cada muestra de agua.

<b>Código</b>	<b>Fibra (U)</b>	<b>Film (U)</b>	<b>Fragm entos (U)</b>	<b>Pellets (U)</b>	<b>Foam (U)</b>	<b>Concentración Total (U)</b>
PL 60 - 1	58	112	124	54	0	348
PL 60 - 2	40	26	32	54	5	157
PL 60 - 3	36	333	50	246	0	665
PL 60 - 4	42	88	11	124	0	265
PL 60 - 5	35	76	20	155	0	286
PL 60 - 6	59	276	82	109	0	526
PL 300 - 1	37	27	4	60	0	128
PL 300 - 2	40	50	27	34	0	151
PL 300 - 3	54	18	34	15	0	121
PL 300 - 4	59	109	53	59	0	280
PL 300 - 5	53	112	88	96	0	349
PL 500 - 6	27	106	18	36	0	187
PL 500 - 1	48	75	31	40	0	194
PL 500 - 2	25	20	63	49	0	157
PL 500 - 3	22	9	41	20	0	92
PL 500 - 4	47	18	36	60	0	161
PL 500 - 5	54	97	18	81	0	250
PL 500 - 6	31	17	12	9	0	69
M1	97	68	38	107	0	310
M2	35	57	37	30	0	159
M3	10	108	3	76	0	197
M4	30	85	25	844	0	984
M5	46	100	237	49	0	432
M6	25	46	12	1260	0	1343
M7	33	14	58	13675	0	13780
M8	43	34	86	123	4	290
M9	48	56	127	64	0	295
M10	41	25	28	33	0	127
M11	22	47	27	602	2	700
M12	34	141	3	1180	0	1358
M13	39	34	18	1121	0	1212
M14	29	300	12	1459	0	1800
M15	66	23	16	1825	1	1931
<b>N</b>	1363	2707	1471	23749	12	29302
<b>F</b>	4.65 %	9.24 %	5.02 %	81.05 %	0.041 %	100%

Fuente: Propia.

Se puede observar que el lugar de muestreo con mayor concentración de microplásticos fue M7 con 13780 unidades; mientras que los lugares con menor concentración fueron PL 500 - 3 y PL 500 - 6 con 29 y 69 unidades. Además, se visualiza que las muestras PL 60 - 3, PL 60 - 6, M4, M6, M7 y M11 hasta M15, presentaron un mayor número de partículas distribuidas en film, fragmentos y pellets siendo en esta última la de mayor proporción.

La frecuencia de aparición de los microplásticos por punto de muestreo en función de su morfología fue calculada (ver anexo B), los resultados se pueden visualizar en los diagramas de barras de la figura 19, donde se observa una distribución heterogénea de las partículas en todas sus categorías.

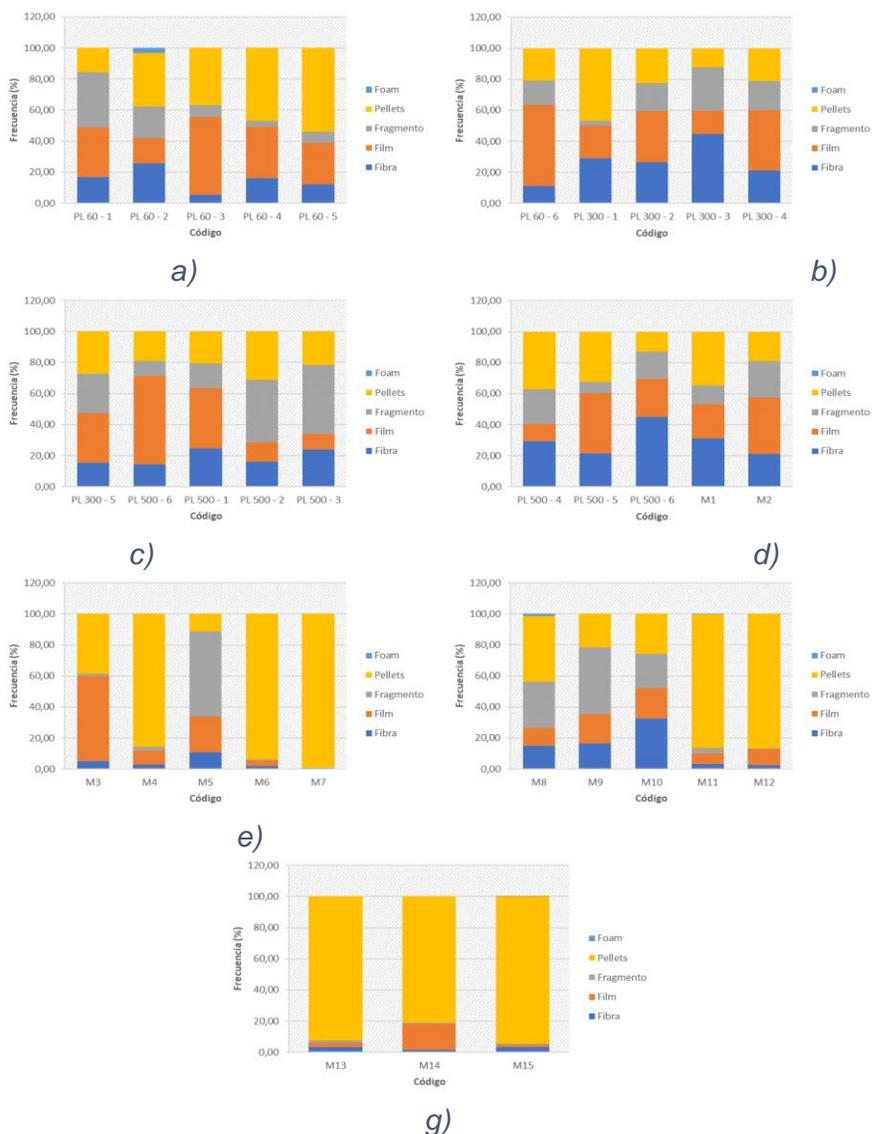


Figura 19 Ocurrencia de la morfología de microplásticos en los lugares de muestreo a) PL 60 - 1 – PL 60 – 5, b) PL 60 - 6 – PL 300 – 4, c) PL 300 - 5 – PL 500 – 3, d) PL 500 - 4 – M1, e) M2 – M7, f) M8 – M12 y g) M13 – M15.  
Fuente: Propia.

Se observa que las categorías film y pellets se encontraron presentes en la mayoría de las zonas de muestreo con frecuencias relativas superiores al 30 %. Sin embargo, solo los lugares M6, M7, M9, M11 - M14 registraron microplásticos en forma de pellets con valores superiores al 80 %. Por otra parte, en todos los lugares la frecuencia de los microplásticos en forma de foam fue casi nula ya que solo se registraron en PL 60 - 2, M8, M11 y M15 con valores inferiores al 3 %.

En cuanto a los colores de los microplásticos, la tabla 6 nos muestra el consolidado del conteo y las frecuencias relativas encontradas considerando la totalidad de las muestras de agua. La tonalidad que más resalto fue el transparente donde se contabilizaron 25668 unidades (87.60 %), seguido del color blanco 1032 unidades (3.52 %) y naranja con 835 unidades (2.85 %) representando a las morfologías de pellets, film y en parte a las fibras; mientras que las tonalidades restantes se encontraron en menor proporción (< 2 %) siendo de diferentes formas.

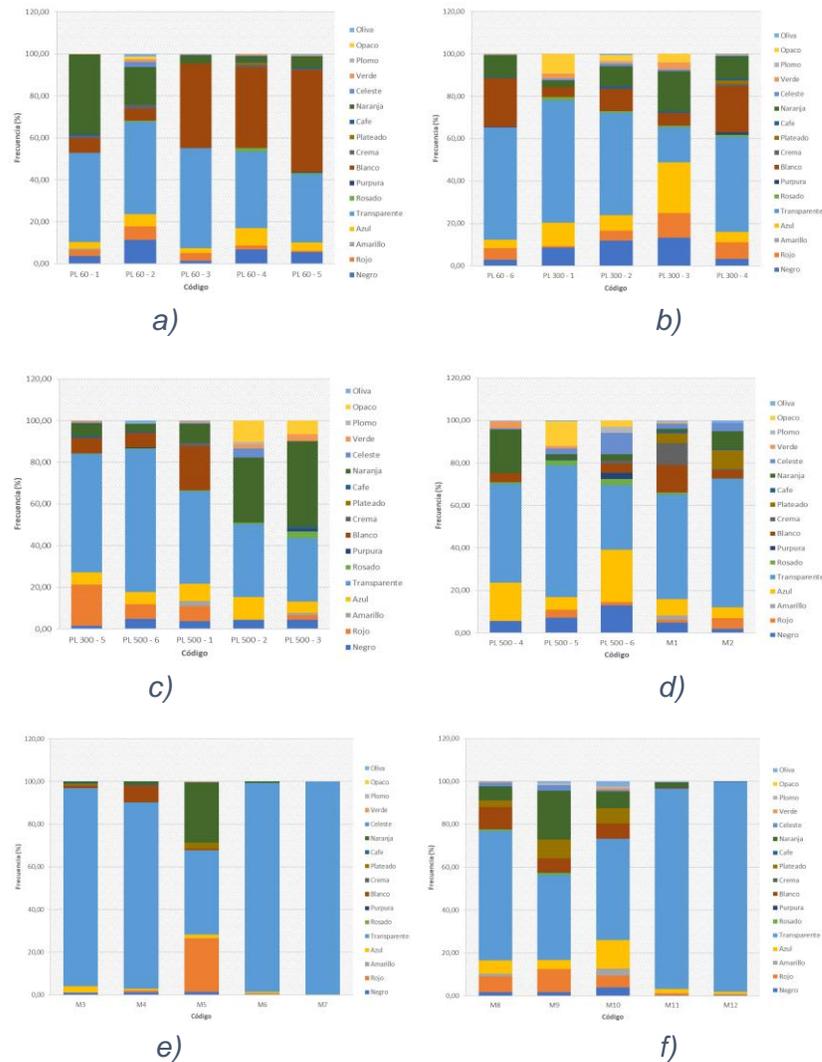
*Tabla 6 Ocurrencia de las partículas de microplásticos de las muestras de agua según sus colores.*

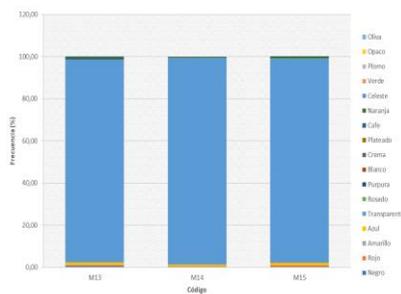
<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>f</b>
Negro	293	1 %
Rojo	468	1.6 %
Amarillo	40	0.14 %
Azul	493	1.68 %
Transparente	25668	87.6 %
Rosado	40	0.14 %
Púrpura	11	0.04 %
Blanco	1032	3.52 %
Crema	56	0.19 %
Plateado	97	0.33 %
Café	29	0.1 %
Naranja	835	2.85 %
Celeste	72	0.25 %
Verde	42	0.14 %
Plomo	17	0.06 %
Opaco	76	0.26 %
Oliva	33	0.11 %
Total	29302	100 %

*Fuente: Propia.*

La figura 20 que se aprecia a continuación, nos muestra los porcentajes de abundancia de las diferentes tonalidades de microplásticos ya mencionados anteriormente por sitio de muestreo (ver tablas de frecuencia en anexo B). Como resultado, se observa una distribución heterogénea de sus datos llegando a encontrarse el color transparente con frecuencias superiores al 30 %,

siendo las muestras M3, M4, M7, y M11 – M15 las que presentaron las frecuencias más altas (87,30 – 99,55 %). Motivo por el cual, se puede decir que estos lugares resultaron ser los más contaminados por microplásticos. En cuanto a la abundancia del color blanco se encontró en PL 60 - 3, PL 60 – 4, PL 60 – 5, PL 60 – 6, PL 300 – 4 y PL 500 - 3 frecuencias superiores al 21 %. Mientras que las tonalidades púrpuras, plomo y oliva se registraron frecuencias inferiores al 3 %, ya que se encontraban presentes en concentraciones muy pequeñas y en parte a que también no se los encontró en todas las muestras de estudio.





g)

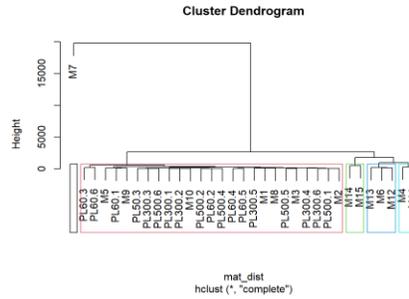
Figura 20 Ocurrencia de los colores de microplásticos en los lugares de muestreo a) PL 60 - 1 – PL 60 – 5, b) PL 60 - 6 – PL 300 – 4, c) PL 300 - 5 – PL 500 – 3, d) PL 500 - 4 – M1, e) M2 – M7, f) M8 – M12 y g) M13 – M15.

Fuente: Propia.

#### 4.2. Análisis de Clústeres de las Partículas de Microplásticos

La representación jerárquica de los datos se resumió de forma gráfica en un árbol o dendrograma, permitiéndonos identificar los diferentes clúster o grupos que se llegaron a agrupar en función de la distancia que presentan las muestras. Las figuras 21, 22 y 23 esquematizan los diferentes clústeres de forma general, según su categoría y en función de sus colores. En cada una de ellas se puede visualizar 2 clústeres grandes que tienden a agrupar a las muestras en un solo grupo. Posteriormente, se llegó a estimar un número aproximado de cinco clústeres los cuales guardan similitud entre las muestras agrupadas en función de la distancia más cercana con las muestras subyacentes.

En las gráficas se puede apreciar que las muestras con mayor similitud en el dendrograma general fueron la PL 500 - 4 y PL 60 -2 con una distancia de 30,19 seguido de las muestras PL 300 – 2 y M10 con una distancia de 35,20. Seguido del dendrograma en función de su morfología donde las muestras que guardaron similitud fueron PL 500 – 4 con PL 60, 2 (13,78) y M2 con PL 300 – 2 (14,63). En cuanto a las muestras similares a partir de la tonalidad que presentaron fueron PL 300 – 2 con PL 60 – 2 y M10 con PL 300 – 1 al presentar unas distancias de 17,26 y 19, 26 y así sucesivamente. Sin embargo, en todos los dendrogramas la muestra con mayor divergencia es M7 con distancias superiores a 11844,01. Además, en los dendrogramas se puede visualizar de forma general que todo el grupo tiene cierto grado de similitud en función de sus distancias ya que su altura se encuentra muy próxima a la base; no obstante, se puede apreciar que los grupos de clústeres presentan mayor agrupación hacia la derecha, siendo un indicativo de heterogeneidad entre los grupos.



. Figura 21 Clúster general de las muestras de agua.  
Fuente: Propia.

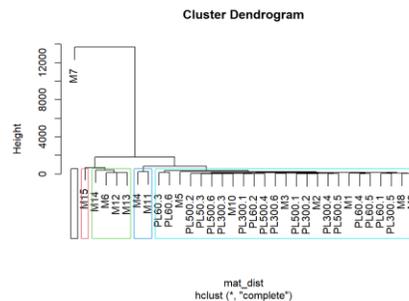


Figura 22 Clúster de las muestras de agua en función de su morfología.  
Fuente: Propia.

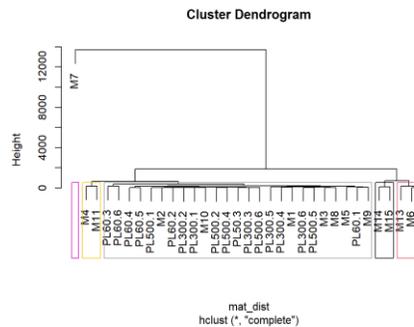


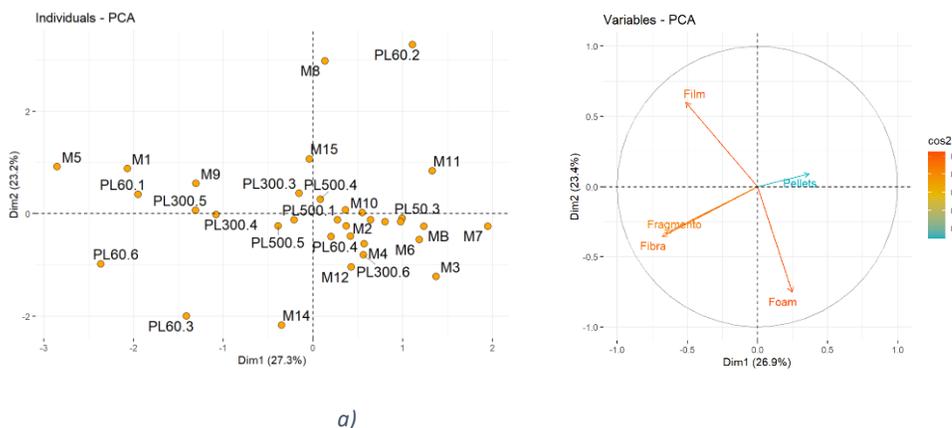
Figura 23 Clúster de las muestras de agua en función de su color.  
Fuente: Propia.

#### 4.2.1. Análisis de los Componentes Principales de las Partículas de Microplásticos

En esta sección se analizaron los diferentes factores (PCA) con mayor porcentaje de variabilidad, en cada uno de ellos se eligieron los dos primeros factores (PCA 1 y PCA 2) ya que estos contienen una mayor información de los datos a ser analizados; es decir, el PCA 1 representa la

mayor cantidad de variabilidad de los datos y el PC 2 la máxima variabilidad posible no explicada por el PC1.

Los PCA de la figura 24 nos permite visualizar la correlación que existe entre los datos en forma individual (a) y en función de sus variables (b, morfología). El PCA 1 contiene una varianza del 26,9 % con una desviación estándar de 1,1599 y el PC2 el 23,4 % con una desviación estándar de 1,0817 y entre los dos componentes representan el 50,3 % de la información.



a) b)  
 Figura 24 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras líquidas en función de su morfología.  
 Fuente: Propia.

El PCA individual agrupa las muestras que tienen mayor similitud, como las muestras PL 60 - 1 con M1, PL 300 - 5 con PL 300 – 4/M9, PL 300 – 6 con M12/M4 y así sucesivamente, por otro lado, las muestras M5, PL 60 - 6, PL 60 - 2, PL 60-3, M3, M7, M8, M11 y M14 no tienen similitud alguna con el grupo. Sin embargo, las muestras que se encuentran agrupadas hacia el centro u origen no se encuentran bien representadas.

En el PCA de variables, las varianzas positivamente correlacionadas le corresponden a la morfología de fragmentos y fibra, las que presentan una varianza altamente negativa son film-foam y pellets-fibra/fragmento; mientras que las que no presentan correlación alguna entre las variables son foam-pellets, film/foam-fibra/fragmentos. Por otro lado, se puede apreciar que la morfología de la categoría de foam con respecto a los pellets es la que aproximadamente tiene una mayor representación (> 0,6).

La gráfica en conjunto relaciona las muestras con las variables (morfología) en función de su ubicación indicándonos que las muestras que se encuentran hacia un mismo lado de la variable

van a tener un valor alto, caso contrario si se ubica a su lado opuesto su valor será bajo. En este caso, la muestra M7 y las otras muestras agrupadas en ese cuadrante presentan un valor alto en pellets, pero bajo en fibras y fragmentos, mientras que la muestra M5 y las que se encuentran a su alrededor tienen un valor alto en fibras y fragmentos, pero bajo en pellets.

Los PCA por colores obtenidos de la figura 25 nos da a conocer el 32,2 % de la información de las correlación de forma individual y en función de sus tonalidades. El PCA 1 representa una varianza del 17,6 % con una desviación estándar de 1,7305 y el PC2 el 14,6 % con una desviación estándar de 1,5753.

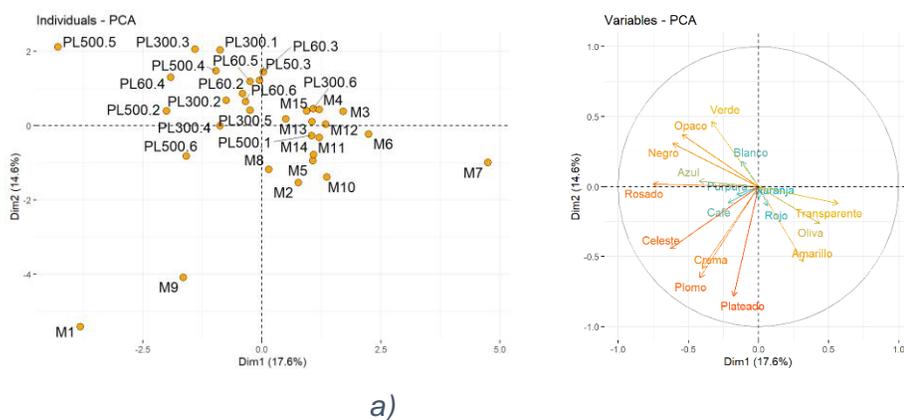


Figura 25 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras líquidas en función de sus colores.  
Fuente: Propia.

En el PCA individual por colores, las muestras con gran similitud son PL 500 -1 con M11, PL 60 – 6 con PL 60 – 2/PL 300 – 5, PL 300 – 6 con M4/M5, entre otras siendo las muestras M7, M9, M1, y PL 500 - 5 las que se encuentran muy distantes sin guardar similitud al conjunto de muestras. El PCA de variables nos indica que las varianzas positivamente correlacionadas para estas componentes son los colores crema/plomo, café/púrpura-celeste, blanco-verde, rojo-amarillo, naranja-plateado, azul-rosado, y negro-opaco. Los colores que representan una correlación alta pero negativa son verde-amarillo, rojo-blanco, negro-oliva, y rosado-transparente, y los colores que no guardan correlación alguna son el plateado-rosado, celeste-verde/blanco/opaco/negro, y opaco con crema/plomo. En función de ello, se puede decir que los colores plateados y plomo tienen una mayor representación con respecto a los otros colores (> 0,6).

Por consiguiente, las gráficas indican que la muestra M8 presenta un valor bajo de correlación con respecto al color plateado, la muestra PL 300 – 1 tiene mayor correlación para el color plateado, la muestra PL 300-4 tiene un valor alto de correlación para el color transparente, la muestra M6 tiene mayor valor de correlación para los colores transparente y oliva, pero bajo para azul, rosado, y negro.

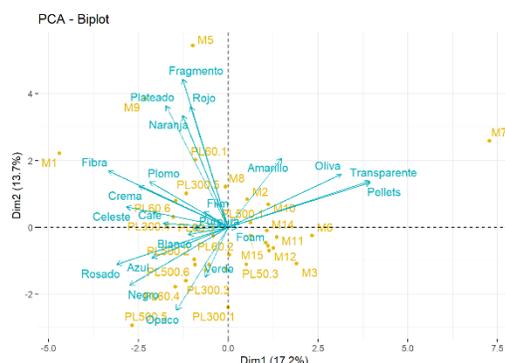


Figura 26 Biplot en conjunto de las muestras de agua.  
Fuente: Propia.

En el biplot general (figura 26), se puede visualizar que la similitud de las muestras PL 300 – 4, PL 300 – 6 y PL 300 – 5, se debe principalmente a la presencia de los colores café, celeste, plomo y también a su morfología como fibra. Las muestras PL 60 - 1 y M9 guardan relación con los colores plateado, rojo, naranja y con la forma de foam, en cuanto a las muestras M10 y PL 500 -1 se relacionan con sus microplásticos en forma de pellets y con los colores oliva y transparente.

#### 4.2.2. Caracterización de las Partículas de Microplásticos

La caracterización de microplásticos se realizó aplicando Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier (FTIR). La adquisición de espectros se desarrolló con el software OMNIC Spectra®. Los espectros obtenidos fueron comparados con la biblioteca de espectros IR de polímeros, la cual apoya a la identificación de los diferentes tipos de polímeros presentes en las muestras de agua. Además, se identificaron las bandas características de los polímeros más frecuentemente reportados en muestras de agua (Ver anexo F - H), donde la asignación a los diferentes números de ondas específicos encontrados en cada una de las muestras se resume

con algunos ejemplos en las tablas 7, 8, 9, y 10. Ver más ejemplos de los espectros y tablas de comparación en la sección de anexos (ver anexo D e I).

*Tabla 7 Comparación de los números de ondas de la muestra PL 500-4 con respecto a los espectros de referencia.*

Frecuencia de Banda cm-2 M6	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	w														x			
2930	m							x	x									
2850	s		x			x		x	x									
1630	s														x			
1540	s							x	x						x			
1470	s							x	x									
1410	s						x	x	x									
1370	s						x					x						
1280	s								x						x			
1200	s						x		x					x				
934	s								x			x		x				
729	m	x				x		x	x						x			
690	s								x						x			
579	s								x									

Fuente: Propia.

*Tabla 8 Comparación de los números de ondas de la muestra M6 con los espectros de referencia.*

Frecuencia de Banda cm-2 M6	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	w														x			
2930	m							x	x									
2850	s		x			x		x	x									
1630	s														x			
1540	s							x	x						x			
1470	s							x	x									
1410	s						x	x	x									
1370	s						x					x						
1280	s								x						x			
1200	s						x		x					x				
934	s								x			x		x				
729	m	x				x		x	x						x			
690	s								x						x			
579	s								x									

Fuente: Propia

*Tabla 9 Comparación de los números de ondas de la muestra M9 con los espectros de referencia.*

Frecuencia de Banda cm-2 M9	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2940	w							x	x			x						
2860	s		x			x		x	x			x						
1630	s														x			
1540	s							x	x									
1460	s							x	x									
1410	s						x	x	x									
1270	s								x						x			
1200	s						x		x					x				
933	w								x									
728	s	x				x		x	x						x			
689	s								x						x			
579	s								x									

Fuente: Propia.

Tabla 10 Comparación de los números de ondas de la muestra PL 60-2 con los espectros de referencia.

Frecuencia de Banda cm-2 PL 60-2	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrílica	Poliéster	Celofán
3300	m														*			
2930	s							x	x									
2860	w		x			x		x	x		x							
1630	s														*			
1540	s							x	x						*			
1470	s							x	x									
1420	s						x	x	x									
1370	w						x					x						
1280	m								x						*			
1200	s						x		x					x				
936	s								x									
729	s	x				x		x	x						*			
686	m								x						*			
580	s								x						*			

Fuente: Propia

\* Los colores en conjunto situados a diferentes números de ondas les corresponden a un determinado rango de bandas características de esos polímeros.

En función de lo anterior, se realizó el análisis espectral de las muestras a partir de las longitudes de onda similares con respecto a las bandas de referencia mencionadas.

**Policarbonato (PC).** - la figura 27 expone a 2940 y 2860  $\text{cm}^{-1}$  movimientos de tensión C – H con picos simétricos y asimétricos de intensidad débil, movimientos de tensión C – C en un rango de 1530 a 1420  $\text{cm}^{-1}$  con señales de intensidad media - baja y finalmente, movimientos de tensión –  $\text{CH}_2$  y flexión en un rango de 1270 – 580.

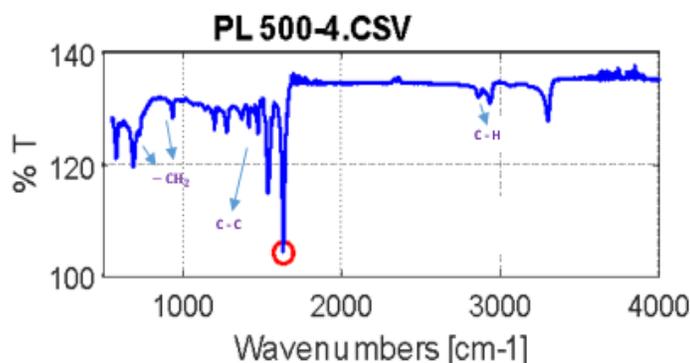


Figura 27 Espectro infrarrojo de la muestra PL 500 - 4. Fuente: Propia.

**Poliamida (Nylon 6).** – el espectro de la figura 28, nos muestra un pico muy agudo indicando una señal fuerte de estiramiento en 1630  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al grupo C = O, seguido de un

movimiento de flexión dentro del plano N – H en  $1530\text{ cm}^{-1}$ , un estiramiento C – N en  $1280\text{ cm}^{-1}$  de intensidad baja y movimientos de flexión en  $729$  y  $690\text{ cm}^{-1}$ .

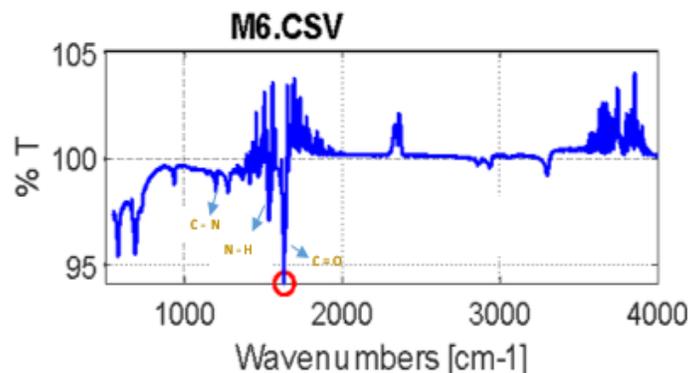


Figura 28 Espectro infrarrojo de la muestra M6.  
Fuente: Propia.

**Poliestireno (PS).** – se puede observar que el espectro de la figura 29 presenta movimientos de tensión C – H con picos asimétricos y simétricos de longitud media en  $2940 - 2860\text{ cm}^{-1}$ , movimientos de tensión C – C entre  $1410 - 1540\text{ cm}^{-1}$  y un movimiento de flexión y tensión del anillo aromático en  $728\text{ cm}^{-1}$  con un pico agudo de intensidad muy débil.

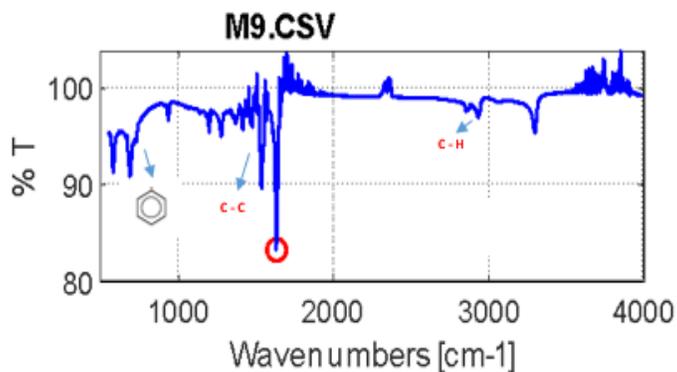


Figura 29 Espectro infrarrojo de la muestra M9.  
Fuente: Propia.

**Polipropileno (PP).** – en la figura 30 se visualizan varios movimientos de tensión C – C entre  $1370 - 1420\text{ cm}^{-1}$  con señales de picos muy agudos de intensidad débil y un movimiento de flexión –  $\text{CH}_3$  en  $1200\text{ cm}^{-1}$ .

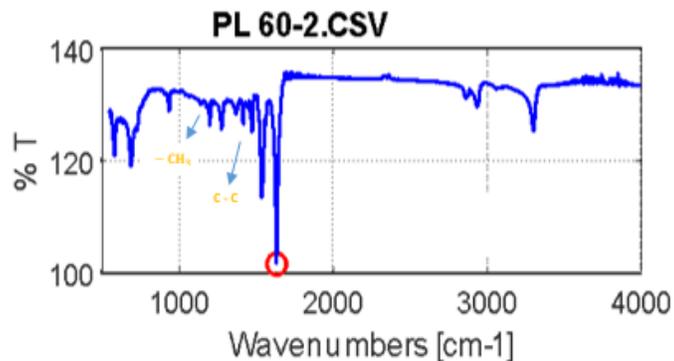


Figura 30 Espectro infrarrojo de la muestra PL 60 - 2.  
Fuente: Propia.

A partir del análisis espectral de señales realizado, se puede decir que las muestras se asemejan a los grupos funcionales característicos de las bandas principales de los espectros de policarbonato (PC), poliamida (Nylon 6), poliestireno (PS), y polipropileno (PP) en concentraciones bajas. Donde la intensidad de las bandas de absorción del conjunto de muestras presentan picos muy cortos, los cuales se pueden corroborar con los resultados obtenidos por el equipo ya que ninguna de las muestras presencio un match de coincidencia superior al 50 % con los polímeros de la biblioteca (ver anexo E).

### 4.3. Muestras de Sedimento

#### 4.3.1. Color y Morfología de las Partículas de Microplásticos

Las partículas de microplásticos presentes en las muestras de sedimento fueron de 5997 unidades. Para este grupo de muestras (ver tabla 11), se encontró que los fragmentos están presentes en mayor cantidad con 2733 unidades (45.57 %), seguido de los pellets con 1978 unidades (32.98 %), fibras con 794 unidades (13.24 %), films con 442 unidades (7.37 %), y en menor proporción los foam con 50 unidades (0.83 %). También se puede observar que las muestras Ms1 – Ms5, M2, Sed3 y Sed5 presentaron mayor concentración de microplásticos en las categorías de pellets, fragmentos y film.

Tabla 11 Cantidad, categoría y concentración de microplásticos contenidos en 100 g de muestra de sedimento.

<b>Código</b>	<b>Fibra (U)</b>	<b>Film (U)</b>	<b>Fragmentos (U)</b>	<b>Pellets (U)</b>	<b>Foam (U)</b>	<b>Concentración Total (U)</b>
Sed1	14	2	147	111	8	282
Sed2	9	1	80	52	0	142
Sed3	18	10	321	17	0	366
Sed4	12	23	61	18	3	117
Sed5	36	33	163	67	3	302
Sed6	7	5	47	9	4	72
MG1	47	12	136	13	0	208
MG2	7	1	22	12	0	42
MG3	17	1	21	27	3	69
M1	13	2	56	28	2	101
M2	318	4	303	52	0	677
M3	43	0	170	97	1	311
M4	36	5	45	31	1	118
Ms1	47	64	187	261	4	563
Ms2	41	125	221	315	7	709
Ms3	49	47	150	165	8	419
Ms4	28	39	179	200	2	448
Ms4.2	17	10	39	125	0	191
Ms5	25	36	215	183	3	462
Ms5.2	3	13	94	112	0	222
Ms5.3	7	9	76	83	1	176
<b>N</b>	794	442	2733	1978	50	5997
<b>F</b>	13.24 %	7.37 %	45.57 %	32.98 %	0.83 %	100 %

Fuente: Propia

La frecuencia de ocurrencia de las diferentes morfologías de microplásticos registradas en las muestras de sedimentos por punto de muestreo se pueden observar en la figura 31. Donde los fragmentos destacaron con valores superiores al 50 % en los lugares provenientes de las zonas costeras Sed1 – MG3, M3 y M4. Los pellets registraron valores superiores al 30 % en 12 de los 18 lugares de muestreo, siendo los lugares Ms1 – Ms5.3 los que presentaron mayores porcentajes. En cuanto a las fibras y film, se encontraron presentes con valores inferiores al 30 %; sin embargo, para este grupo de muestras la presencia de las partículas con forma de foam se registró en 14 de los 18 lugares de muestreo en cantidades inferiores al 6 %.

De igual forma se puede apreciar una distribución heterogénea de las partículas en todas las muestras.

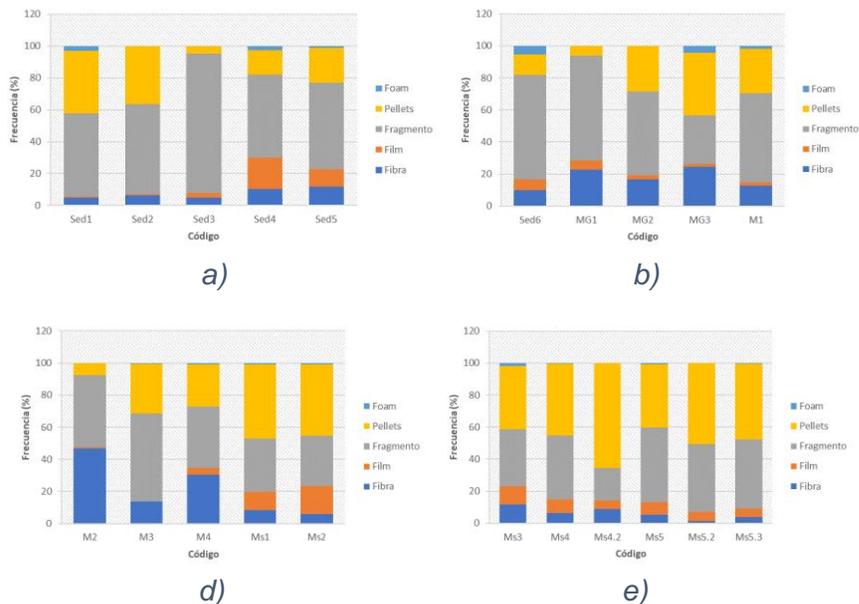


Figura 31 Ocurrencia de la morfología de microplásticos de las muestras de sedimento a) Sed1 – Sed5, b) Sed6 – M1, c) M2 – Ms2 y d) Ms3 – Ms5.3.  
Fuente: Propia.

El color de mayor abundancia fue el plateado con 2524 unidades representando el 42.09 % de los datos, seguido del transparente con 1954 unidades (32.58 %), opaco, amarillo, naranja, blanco, azul y negro con valores entre 331 a 93 unidades oscilando su frecuencia de ocurrencia entre 5.5 al 1.5 % a comparación de los demás colores registrados en menores proporciones (Ver tabla 12). Además, se puede observar que las tonalidades rasado, crema, café, y plomo al no estar presente en todas las muestras fueron las que registraron los porcentajes más bajos del grupo de muestras (< 0.3 %). En cuanto a la distribución de los datos, se visualiza un grupo de muestras algo heterogéneo donde las muestras que presentaron unidades de microplásticos altas oscilando entre 522 a 162 fueron Ms1 – Ms5.3, seguidas de los lugares M2, Sed1, Sed3 y Sed5.

Tabla 12 Ocurrencia de las partículas de microplásticos de las muestras de sedimento según sus colores.

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>f</b>
Negro	93	1.55 %
Rojo	46	0.80%
Amarillo	324	5.40%
Azul	181	3.02%
Transparente	1954	32.52%
Rosado	18	0.30%
Blanco	186	3.10%
Crema	3	0.05%
Plateado	2524	42.09%
Café	4	0.07%
Naranja	284	4.74%
Celeste	26	0.43%
Verde	20	0.33%
Plomo	3	0.05%
Opaco	331	5.52%
Total	5997	100 %

Fuente: Propia.

Agregando a lo anterior, la frecuencia de distribución de los colores por punto de muestreo de las partículas de plástico se puede observar en la figura 32 (ver tablas de frecuencia en anexo C). Donde el color plateado se encuentra presente en todas las muestras, llegando a sobresalir en las muestras costeras Sed1 – Ms1 al encontrarse en mayor proporción (50 – 80 %); mientras que los lugares pertenecientes a los esteros M4 – Ms5.3 presentaron valores inferiores al 40 %. En cuanto al color transparente, se encontró en abundancia en las muestras de los esteros con valores entre 37 - 73 % (Ms1 – Ms5.3), en cambio que su presencia para las muestras restantes se halló con valores inferiores al 25 %. A lo que respecta el color amarillo, solo la muestra M2 registro su ocurrencia con un valor del 43.45 %; sin embargo, las muestras restantes llegaron a presentar como no valores inferiores al 7 % para esta tonalidad. De igual manera, el color opaco solo se presentó en un rango de 30.23 – 11.35 % en 7 de las 13 muestras de las zonas costeras, mientras que las muestras de los esteros a excepción de una (Ms5 < 0.5 %) no se llegó a registrar su presencia.

En la figura 32 se puede observar la frecuencia de distribución de los datos analizados previamente en las tablas que se pueden observar en la parte de anexos (anexo E).

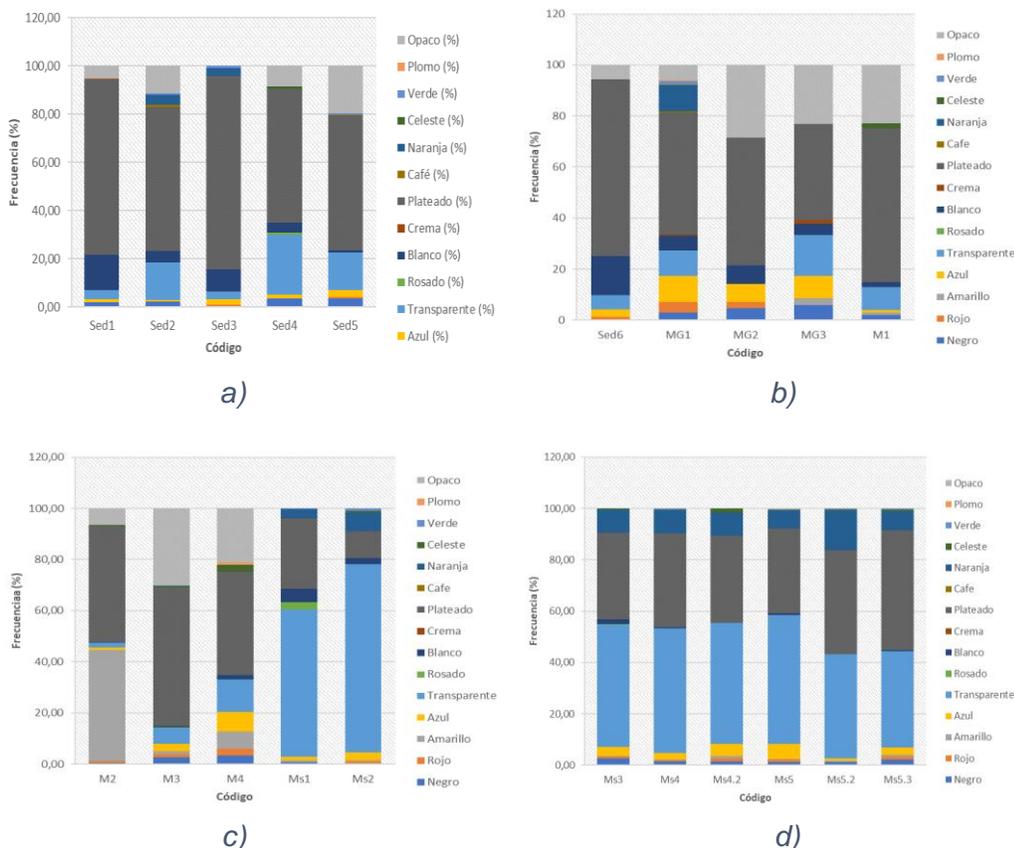


Figura 32 Ocurrencia de los colores de microplásticos de las muestras de sedimento a) Sed1 – Sed5, b) Sed6 – M1, c) M2 – Ms2 y d) Ms3 – Ms5.3.  
Fuente: Propia.

### 4.3.2. Análisis de Clústeres de las Partículas de Microplásticos

Los dendrogramas obtenidos para este grupo de muestras se pueden visualizar en las figuras 33, 34, y 35 respectivamente. En este bloque de muestras se puede apreciar que existen saltos bruscos entre los diferentes conjuntos de datos, lo cual nos indica que existe mucha divergencia entre los mismos.

En todas las figuras se visualizan 3 clústeres grandes que a su vez se los agrupo en 8 clústeres en función de la medida de similitud con la distancia a los datos más próximos. En el dendrograma general las muestras con mayor similitud son M1 y M4 (distancia de 31,72), seguido de Sed6 y Sed4 (distancia de 39,60); mientras que los dendrogramas en función de su morfología y color las muestras MG 2 y 3 (distancia de 18,30 y 13,45), seguidas de las muestras M1 y M4 (distancia de 25,87 y 18,36). En cuanto a los datos con gran diferencia significativa tenemos a

las muestras Ms2 y M2 correspondiente a los dendrogramas general y por colores con una distancia de 754, 61 y 634,13; de igual manera, el dendrograma en función de su morfología las muestras MG2 y M2 con una distancia de 421,06.

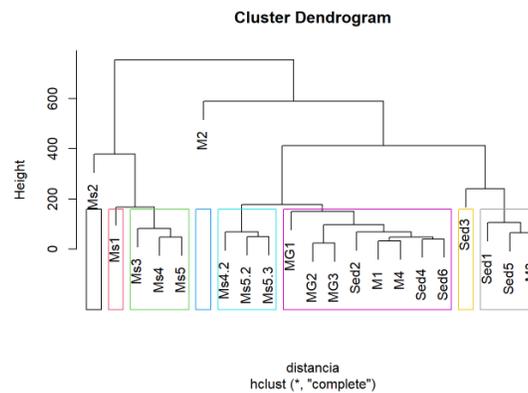


Figura 33 Clúster general de las muestras de sedimento.  
Fuente: Propia.

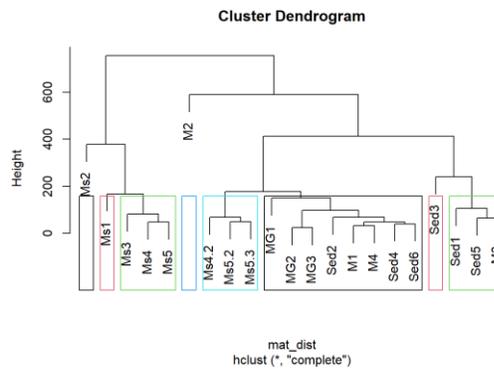


Figura 34 Clúster de las muestras de sedimento según su morfología.  
Fuente: Propia.

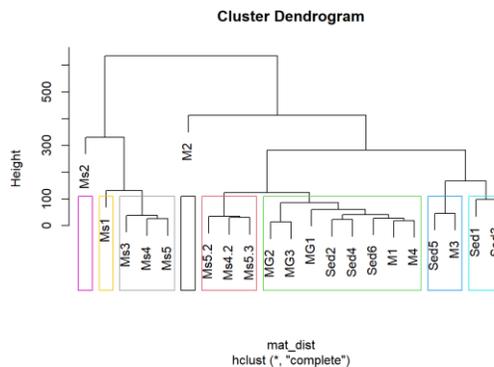


Figura 35 Clúster de las muestras de sedimento en función de su color.  
Fuente: Propia.

4.3.3. Análisis de los Componentes Principales de las Partículas de Microplásticos

El PCA1 (figura 36 a) representa una varianza del 49,7 % con una desviación estándar de 1,5788 y el PC2 el 29,5 % con una desviación estándar de 1,2224 y entre los dos componentes se obtiene un 79,2 % de la información.

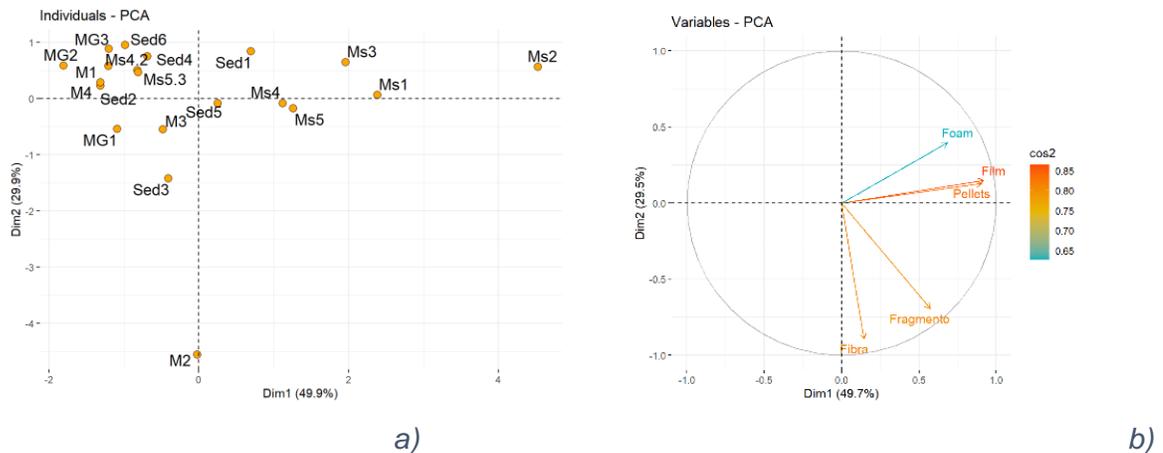


Figura 36 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras de sedimentos en función de su morfología. Fuente: Propia.

El PCA individual nos indica que las muestras que guardan cierta similitud son Ms4 y Ms5, MG3-M1/Sed6, y Ms5, 3 con Sed4, a lo que respecta las muestras restantes son las que se encuentran más lejanas a los grupos de datos encontrados.

En el PCA de variables, las varianzas positivamente correlacionadas le corresponden a los pellets y film. Sin embargo, los que no tienen correlación alguna es al foam con los fragmentos y los pellets/film con la fibra. Además, se puede observar que las variables que tienen una mayor contribución a los componentes son los film y pellets con un valor de 0,85 seguido de los fragmentos y fibras en un rango de 0,80 a 0,75, mientras que el foam no tiene una buena apreciación con un aporte inferior a 0,70.

En función de lo anterior, se puede decir que la muestra M2 tiene una correlación alta para fibras, las muestras Ms1 y Ms3 un valor alto para film y pellets, mientras que la muestra de Sed2 tiene una baja correlación para lo que son film y pellets.

Según los colores, el PCA 1 representa una varianza del 27,5 % con una desviación estándar de 2,0315 y el PC2 el 17,1 % con una desviación estándar de 1,6025, representando el 45,2 % de la información (figura 37 a).

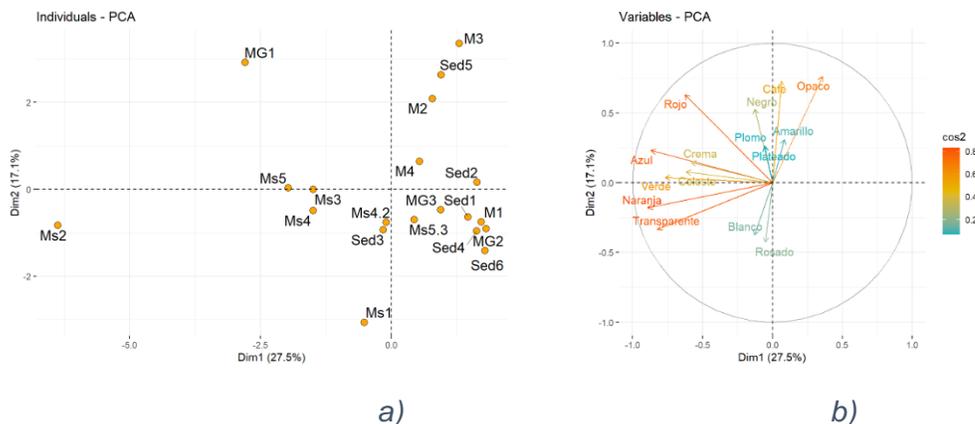


Figura 37 a) PCA individual, b) PCA de variables de las muestras de sedimentos en función de sus colores.  
Fuente: Propia.

El PCA individual nos indica que las muestras con gran similitud son Ms5 - Ms3 - Ms4, Ms4.4 – Sed3, M1 – Sed1, y MG2 – M1/Sed4; mientras que las muestras MG1, Ms2, Ms1, M2, Sed5 y M3 son las que se encuentran más dispersas sin guardar similitud alguna.

En el PCA de las variables, los vectores correlacionados positivamente son los colores crema-celeste, plateado-amarillo, blanco-rosado, transparente-naranja, y amarillo-café/opaco. Sin embargo, los que no tienen correlación alguna son los colores negros/plomo/plateado-transparente, café-celeste, y opaco-azul/crema, mientras que los que presentan una correlación altamente negativa son los colores blancos/rosado-café/opaco. Por otro lado, las variables con mayor contribución ( $\geq 0,8$ ) fueron los colores rojo, azul, naranja, transparente, y opaco; mientras que las variables con baja contribución ( $\leq 0,2$ ) fueron el color plateado, amarillo, plomo, blanco, y rosado.

De igual manera, se puede observar que la muestra Ms2 tiene una correlación alta para los colores naranja y transparente, las muestras M3, Sed5 y M2 para los colores opaco y café, pero también una correlación baja para el color blanco y rojo. Las muestras M1 y Sed2 presentan una baja correlación para los colores azul, verde, crema y celeste, al igual que la muestra Ms1 para los colores amarillo, plateado, opaco y café.

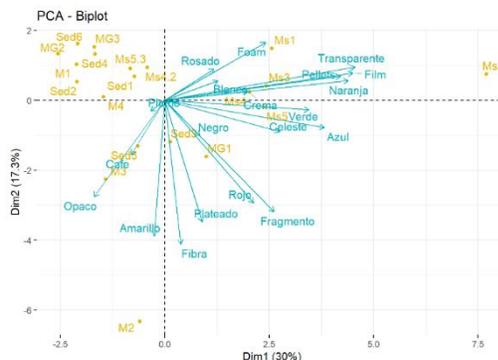


Figura 38 Biplot general de las muestras de sedimentos.  
Fuente: Propia.

En el biplot de la figura 38, se puede visualizar que las muestras con gran similitud son las muestras Sed5 y M3 con respecto a los colores café y opaco, y las muestras Ms3 y Ms4 con respecto a los pellets, film, naranja y transparente.

#### 4.3.4. Caracterización de las Partículas de Microplásticos

Al igual que las muestras de agua, se logró apreciar la presencia de bandas características (ver tabla 13, 14, 15 y 16) a longitudes de ondas específicas de los polímeros de PC, PP, PS y nylon 6 con señales de absorbancia de baja intensidad.

Tabla 13 Comparación de los números de ondas de la muestra Sed6 con respecto a los espectros de referencia.

Frecuencia de Banda cm-2	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrífica	Poliester	Celofán
<b>Sed6</b>																		
3300	m														x			
2940	m							x	x		x							
2870	s		x			x		x	x									
1630	s														x			
1530	s							x	x									
1480	s							x	x									
1410	s						x	x	x									
1370	s						x					x						
1280	m								x						x			
1200	s						x		x					x				
1060	s		x			x			x									
934	s								x					x				
730	m	x				x		x	x						x			
686	s								x						x			
581	s								x									

Fuente: Propia.

Tabla 14 Comparación de los números de ondas de la muestra MG1 con respecto a los espectros de referencia.

Frecuencia de Banda cm-2 MG1	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w							x	x									
2870	w		x			x		x	x									
1630	s														x			
1540	s							x	x						x			
1470	s							x	x									
1420	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m								x						x			
1200	s							x	x					x				
936	s								x									
729	s	x				x		x	x						x			
687	s								x						x			
580	s								x									

Fuente: Propia.

Tabla 15 Comparación de los números de ondas de la muestra M1 con respecto a los espectros de referencia.

Frecuencia de Banda cm-2 M1	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2940	w							x	x		x							
2870	w		x			x		x	x									
1630	s														x			
1540	s							x	x						x			
1470	s							x	x									
1410	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m								x						x			
1200	s							x	x					x				
935	s								x							x		
730	s	x				x		x	x						x			
687	m								x						x			
581	s								x									

Fuente: Propia.

Tabla 16 Comparación de los números de ondas de la muestra Ms5.2 con respecto a los espectros de referencia.

Frecuencia de Banda cm-2 Ms5.2	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w							x	x									
2850	w		x	x		x		x	x									
1630	s														x			
1540	s							x	x						x			
1480	s							x	x									
1410	w							x	x	x								
1370	s							x				x						
1280	s								x						x			
1200	s							x	x					x				
935	s								x							x		
730	s	x				x		x	x						x			
687	s								x						x			
579	s								x									

Fuente: Propia.

**Polycarbonato (PC).** – en el espectro de la figura 39 se observan movimientos de tensión C – H en 2940 y 2870  $\text{cm}^{-1}$ , movimiento de tensión C – C entre 1530 - 1410  $\text{cm}^{-1}$ , y movimiento de tensión – CH<sub>2</sub> y flexión entre 1270 – 581.

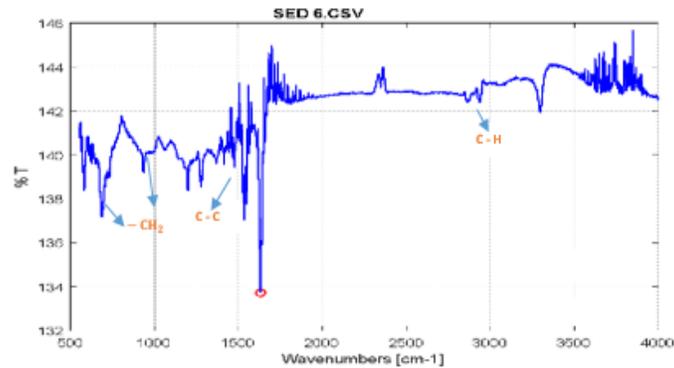


Figura 39 Espectro infrarrojo de la muestra Sed6.  
Fuente: Propia.

**Poliamida (Nylon 6).** – la figura 40 presenta una señal fuerte de estiramiento en 1631  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al grupo C = O, seguido de un movimiento de flexión dentro del plano N – H en 1540  $\text{cm}^{-1}$ , un estiramiento C – N en 1280  $\text{cm}^{-1}$  con una señal de intensidad baja, y movimientos de flexión en 729 y 687  $\text{cm}^{-1}$  (fig. 40).

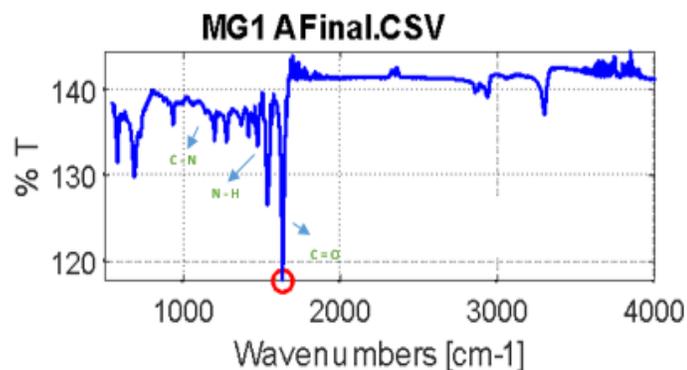


Figura 40 Espectro infrarrojo de la muestra MG1.  
Fuente: Propia.

**Polestireno (PS).** – en el espectro de la figura 41 muestra movimientos de tensión C – H en 2940 y 2870  $\text{cm}^{-1}$ , movimientos de tensión C – C entre 1410 – 1540  $\text{cm}^{-1}$  y un movimiento de flexión y tensión del anillo aromático con intensidad de señal débil en 730  $\text{cm}^{-1}$ .

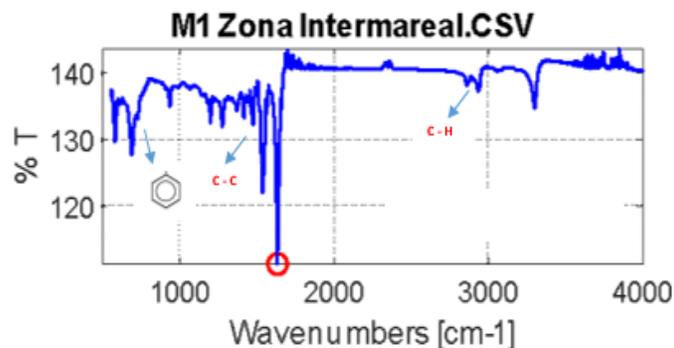


Figura 41 Espectro infrarrojo de la muestra M1.  
Fuente: Propia.

**Polipropileno (PP).** – el espectro de la figura 42 presenta entre 1370 - 1410  $\text{cm}^{-1}$  algunos movimientos de tensión C – C y un movimiento de flexión –  $\text{CH}_3$  en 1200  $\text{cm}^{-1}$ .

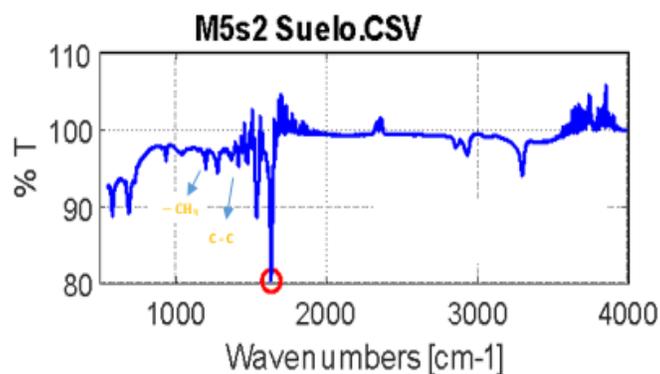


Figura 42 Espectro infrarrojo de la muestra Ms5.2.  
Fuente: Propia.

## Capítulo V

## 5. Discusión

## 5.1. Abundancia de Microplásticos Presentes en las Muestras de Agua y de Sedimento

Los resultados de los microplásticos encontrados en diferentes lugares de estudio según varias fuentes de autores, se puede visualizar en la tabla 17.

Tabla 17 Abundancia de microplásticos en diferentes unidades de medida presentes en muestras de agua y sedimento de varios autores

Lugar	Abundancia en promedio Agua	Abundancia en promedio en Sedimento	Referencias
Playas de Fernando de Noronha (Atlántico Occidental Ecuatorial)	-	0,3 – 4,6 g part. / Kg arena	Ivar do Sul et al., 2009
Playa Marbella, Cartagena		45520 part.	Acosta, 2014
Jiaojiang, Oujiang, Minjiang (China)	680 / $m^3$ 955,6 / $m^3$ 1245,8 / $m^3$	-	Zhao et al., 2015
Costa Azul – Ventanilla, Callao	-	24,05 g / 0,05 $m^3$	Ríos, 2017
Isla Santay	-	692 part.	González, 2019
Costa de Patagonia (mar interior de Chiloé)	0,1 – 7 / $m^3$	12 – 472 / Kg	Castillo, 2020
Zonas costeras y ríos de Esmeraldas	1706 part.	-	Capparelli et al., 2020
Arroyos y ríos de la España Peninsular	2351 part. / 0,05 $m^3$	-	León Muez et al., 2020
Costa Belga		390 part. / Kg (seco)	Claessens et al., 2021
Arena de las playas de la costa sur del Perú	-	141,98 g part. / $cm^3$ y 246, 1473 g part./ $cm^3$	Dávila & Montalvan, 2021
Estuario Río Plata, Argentina	164 part. / $m^3$	114 part. / $m^3$	Pazos, 2021
Puná, Ecuador	863,24 part. / 0,0034 $m^3$ 29302 part. Costas: 4386 part. Esteros: 24916 part.	285,57 part. / Kg 5997 part. Costas: 2807 part. Esteros: 3190 part.	Este trabajo*

Fuente: Propia.

\* Se procedió a estimar los resultados por volumen y peso de bloque en promedios estimados.

Como se puede visualizar en la tabla, la abundancia en promedio de los microplásticos en  $0,0034 \text{ m}^3$  encontrados en este estudio exceden en cantidad a los estudios realizados en Argentina, Chile y China “Minijang” (Castillo, 2020; Pazos, 2021; Zhao et al., 2015). Sin embargo, su cantidad es menor con respecto a los estudios realizados en España, y a los dos estuarios restantes de China “Jiaojiang y Oujiang” (León Muez et al., 2020; Zhao et al., 2015). En cuanto a los hallazgos en las muestras de sedimento, se encontraron 285,57 partículas MPs/kg guardando similitud con un estudio realizado en la Patagonia Chilena (Castillo, 2020); sin embargo, resulto ser inferior al estudio realizado en la costa Belga con 390 partículas por Kg (Claessens et al., 2021).

Además, la cantidad de MPs encontrados en la zona costera de la isla Puná fue mayor a la encontrada en un estudio en Esmeraldas (Capparelli et al., 2020),  $4386 > 1706$ . Sin embargo, se asemejan ya que estas partículas llegaron a variar en un rango de 7 a 508 partículas entre cada una de las muestras con respecto al rango de 6 - 340 registrado en la investigación. De igual manera, la cantidad total de MPs registrados en España y China (León Muez et al., 2020; Zhao et al., 2015) fueron de 2351 y 1009 en sus muestras de agua, variando significativamente con las encontradas en este estudio que fue de 29302 partículas de microplásticos.

Con respecto a las muestras de sedimentos, un estudio de las playas de Cartagena (Acosta, 2014) registraron 45520 partículas de MP, resultando ser una cantidad muy elevada para la cantidad registrada para este estudio (5997). Por otro lado, este valor resulto ser superior con los resultados obtenidos de los estudios de las Playas de Noronha del Atlántico Occidental Ecuatorial y de la Isla Santay del Guayas con respectivamente 277 y 692 MPs (Ivar do Sul et al., 2009; González, 2019).

En función de lo expuesto anteriormente, se puede decir que la variación de los datos registrados en cada una de las muestras se le atribuye a la ocurrencia y distribución que pueden tener estas partículas plásticas en todo el ambiente marino. Siendo su factor principal el incremento indiscriminado de la producción de plástico a nivel mundial, motivo por el cual sus concentraciones pueden llegar a variar dependiendo el lugar y profundidad donde se llegó a realizar el muestreo (Cisneros, 2021).

La cantidad de microplásticos en las muestras de agua como de sedimentos en sus diferentes categorías no llegaron a variar significativamente de una muestra a otra. Sin embargo, a lo que concierne las muestras PL 60 – 3, PL 60 – 6, M4, M6, M7, M11, M12, M13, M14 y M15 (muestras

de agua) y Ms1, Ms2, Ms3, Ms4, Ms5, M2, Sed3 y Sed5 (muestras de sedimentos) presentaron concentraciones elevadas de microplásticos. Donde el posible incremento se le puede vincular al desarrollo económico de estos sectores, ya que dependen principalmente de las actividades marítimas (pesca artesanal), actividades portuarias y actividad turística. La mezcla de efluentes de agua dulce con el agua de mar puede ser un causante principal ya que estaría desplazando los contaminantes hacia mar abierto.

Por ejemplo, en un estudio realizado por investigadores ecuatorianos sobre la calidad de las aguas en el Estero del Muerto en Guayaquil, indicaron la existencia de problemas de contaminación debido a que sus efluentes abarcan aguas de drenajes provenientes de empresas camaroneras, producto de la pesca artesanal y de los moradores (Suárez et al., 2020). Por otro lado, la falta de alcantarillado en sectores marginales ha provocado que las aguas residuales lleguen a ser drenadas al estero a partir de conexiones clandestinas aumentando considerablemente su contaminación (Calero, 2010). La acción antropogénica del Estero Salado lo ha convertido en una problemática ambiental relacionada directamente con el crecimiento poblacional e industrial de la ciudad de Guayaquil. Donde su crecimiento económico se vincula con las industrias alimenticias, industrias químicas (jabón, y detergente), tejidos, plásticos, abonos, metalmecánicos, construcción, farmacia, etc., donde cuyos residuos son vertidos de manera incontrolable a sistemas de alcantarillado público y consecuentemente hacia el río Guayas y Estero Salado.

Otros estudios realizados en la Bélgica y en Australia (Claessens, et al., 2011; Willis, et al., 2017), determinaron que la concentración y distribución microplásticos se debe principalmente a la producción mundial de plásticos, donde su presencia estaría aumentando este tipo de contaminación de manera proporcional. Además, les llegaron a relacionar directamente con la geometría del lugar y profundidad de muestreo; así como también a la presencia de ríos de agua dulce considerándolo como una fuente potencial de microplásticos.

También, varios estudios realizados en España y diferentes países alrededor del mundo (Iñiguez, 2017; Lee, 2021), determinaron presencia de microplásticos en sales de diferentes marcas comerciales. La validación experimental de estos estudios concluyó que la sal marina contiene mayor cantidad de microplásticos en forma de fibras y fragmentos con respecto a las sales que se obtienen de lagos/pozos y rocas.

En conclusión, la contaminación marina con plásticos es un problema a nivel mundial, un estudio en Estados Unidos reveló que pueden llegar a ser liberados hacia el medio marino más de 2.000 millones de partículas plásticas en un periodo de tiempo de tres días (Moore (2008) en Cole et al). Además, las condiciones climáticas son un factor agravante para promover el desplazamiento de los residuos de la tierra al mar. Esto se debe a que los plásticos al presentar una densidad muy baja y al encontrarse bajo la presencia de vientos, lluvias y corrientes oceánicas tienden a flotar y a dispersarse a grandes distancias como trazadores pasivos (Cole, 2011; Corbin & Singh, 1993; Ivar do Soul, et al, 2009). Incluso llegan a lugares protegidos, en un trabajo realizado en las playas de la Lobería (Santa Ana) y Tortuga Bay (Galápagos), determinaron la presencia de nudles con resultados alarmantes (9.073 pellets en 71 metros de playa) (Fidra, 2022). Estos resultados y los obtenidos por otros países indicaron que la presencia de estas partículas se encuentra presente en un 90 % con respecto a los años anteriores 2021 y 2020 (79 % y 87 %) reflejando un ligero aumento de las mismas. (Briz, 2019).

### 5.2. Color y Morfología de las Muestras de Agua y Sedimento

Las tablas 18 y 19 exponen la abundancia de microplásticos registrado por varios autores según su morfología y color.

*Tabla 18 Abundancia y frecuencia de aparición (morfología y color) de los microplásticos presentes en muestras de agua de varios autores.*

Autor	Agua	
	Forma	Color
<i>Ivar do Sul et al., 2009</i>	-	-
<i>Acosta, 2014</i>	-	-
<i>Zhao et al., 2015</i>	Fibras y gránulos (> 90 %)	Colores, negro, transparente y blanco
<i>González, 2019</i>	-	-
<i>Castillo, 2020</i>	Fragmento (99 %) Film (1 %)	-
<i>Capparelli et al., 2020</i>	Fragmentos (61 y 58 %) Fibras (36 y 43 %) Film y esferas (< 4%)	Costa: varios colores Rio: transparente (42 %), marrón (20 %), gris (15 %), negro (9 %)
<i>León Muez et al., 2020</i>	Fibras (1060) Fragmentos (856) Film (308) Esferas y esponjas (89 – 36)	-

<i>Pazos, 2021</i>	Gomas (2)	
	Fibras y fragmentos	Azul (34 %) y negro (15 %)
<i>Este trabajo</i>	Pellets 23749 (81.05 %)	Transparente 25668 (87.60 %),
	Film 2707 (9.27 %)	Blanco 1033 (3.52 %),
	Fragmentos 1471 (5,02 %)	Naranja 835 (2.85 %),
	Fibra 1363 (4,65 %)	Rojo - azul 468 y 493 (1.6 - 1.68 %),
	Foam 12 (0.041 %)	Negro 293 (1.0 %) y Otros (512, < 1 %)

Fuente: Propia.

Estudios realizados en Esmeraldas, Chile, España, Argentina y China (Capparelli et al., 2020; Castillo, 2020; León Muez et al., 2020; Pazos 2022; Zhao et al., 2015), presentaron cierta similitud ya que los microplásticos registrados en mayor frecuencia fueron las fibras y fragmentos y en menor proporción o casi escasa la presencia de films, foams, pellets, esponjas y gomas. Los cuales comparados con nuestro estudio (muestras de agua) llegan a guardar cierto grado de relación, ya que los pellets y films fueron las partículas de mayor ocurrencia sin dejar de lado los fragmentos y fibras con cantidades relevantes.

Tabla 19 Abundancia y frecuencia de aparición (morfología y color) de los microplásticos presentes en muestras de sedimentos de varios autores.

<b>Autor</b>	<b>Sedimento</b>	
	<b>Morfología</b>	<b>Color</b>
<i>Ivar do Sul et al., 2009</i>	Fragmentos (65 %), Bolas de plástico virgen (23 %), Fragmento de vidrio (6 %), Monofilamento de nylon (5 %), Perla de poliestireno y alquitrán (0,5 %)	-
<i>Acosta, 2014</i>	Pellets	Blanco, arena, gris, ámbar, amarillo claro, otros colores y marrón
<i>Zhao et al., 2015</i>	-	-
<i>González, 2019</i>	Fibras (44 %) Fragmentos (29, 34 %) Film (25,28 %) Foam (1,3 %)	-
<i>Castillo, 2020</i>	Fibras (81 %) Fragmentos (15 %) Film (3 %)	Azul y blanco
<i>Capparelli et al., 2020</i>	-	-
<i>León Muez et al., 2020</i>	-	-
<i>Cisneros et al., 2021</i>	Fragmentos (73 %) Fibras	Verde, rojo, negro y blanco.

<i>Claessens et al., 2021</i>	Fibras (59 %) Gránulos (25 %) Esférulas (12 %) Film (4 %)	-
<i>Dávila &amp; Montalván, 2021</i>	-	Azul, naranja, blanco, verde, gris, celeste y rojo.
<i>Pazos, 2021</i>	Fibras y fragmentos	Azul (34 %) y negro (15 %)
<i>Este trabajo</i>	Fragmentos 2733 (45.57 %)	Plateado 2524, (42.09 %)
	Pellets 1978 (32.98 %)	Transparente 1954, (32.52 %)
	Fibras 794 (13.24 %)	Opaco - Amarillo 331 y 324 (5.52 - 5.40 %)
	Films 442 (7.37 %)	Naranja 284 (4.74 %)
	Foam 50 (0.83 %)	Blanco - Azul 186 y 181 (3.10 - 3.02 %)
		Otros 213 (< 1 %)

*Fuente: Propia.*

Los microplásticos de mayor abundancia en las muestras de sedimento fueron los fragmentos, los cuales tienen similitud con los trabajos realizados en el Atlántico Occidental Ecuatorial, Guayas, Chile, y Argentina (Ivar do Sul et al., 2009; González, 2019; Castillo, 2020; Pazos, 2021); sin embargo, el trabajo realizado en Cartagena únicamente registro partículas en forma de pellets (Acosta, 2014). Pese a lo anterior, para nuestro estudio la presencia de partículas en forma de pellets fue la segunda más predominante del grupo de muestras.

En cuanto a la distribución por colores, las muestras líquidas destacaron el color transparente, seguido por el color blanco, la presencia de colores varios y color el negro. Los cuales coinciden con los colores registrados por los estudios realizados en Esmeraldas y China por (Capparelli et al., 2020; Zhao et al, 2015), donde se especificaron la presencia de varios colores, así como también los colores transparente, blanco y negro. Mientras que en Chile y Perú (Pazos, 2021; Castillo, 2020) identificaron únicamente la presencia de los colores azul, blanco y negro en la totalidad de sus muestras.

Para el caso de las muestras de sedimento, el color predominante fue el plateado seguido del color transparente, opaco, blanco y en menor proporción colores varios. Los mismos que al ser comparados con los estudios de Cartagena, Chile, y Perú, (Acosta, 2014; Castillo, 2020; Cisneros et al., 2021, Dávila & Montalván, 2021; Ríos, 2017), guardaron cierta similitud con el color blanco que frecuentaba en todos estos estudios; así como también la presencia de varios colores. Sin

embargo, en cuanto al color negro se registró en varios estudios realizados en Perú (Cisneros et al., 2021; Pazos, 2014; Ríos, 2017).

En cuanto a la distribución por color, en las muestras de agua como de sedimento la abundancia del color transparente coexistió, seguido de los colores neutros (blanco, gris, negro), mientras que las otras distintas variaciones de color se encontraron en menor proporción. Acosta, (2014), insinúa que la presencia del color blanco en las muestras de microplásticos se debe a que las partículas son nuevas con un bajo nivel de oxidación superficial. No obstante, determino que las variaciones de color se debían a materiales adheridos a la superficie (arena, materia orgánica), grado de transparencia y su composición química respectivamente. Estudios indican que los plásticos en el medio marino tienden a decolorarse hasta blanquear o a oxidarse a causa de la exposición solar y la fragmentación, destacando la abundancia de plásticos de color blanco localizados a grandes distancias de la costa (Martí, 2019).

### **5.3. Análisis de Correlación de las Muestras de Agua y de Sedimento**

Al analizar la similitud de las muestras en los gráficos de los dendrogramas, nos dieron a conocer los sitios que presentaron mayor semejanza a partir de las variables de estudio. Las muestras de agua resultaron ser más homogéneas y las más próximas entre sí a los sitios frente al muelle DP más hacia el centro del canal con Bellavista y subida alta, frente al muelle DP World, barra externa de arrastre a 500 m, barra externa a 500 m y Estero del Muerto a 300 m. Por otro lado, las muestras de sedimento resultaron tener una distribución algo heterogénea guardando una breve similitud con los sitios de la zona intermareal y Comuna Bellavista, Puná a 30 m de la zona intermareal, manglar continuo a DP world por el este y mar abierto a 30 km de Posorja con Bellavista y subida alta.

Los esquemas de los biplot de los dos grupos de muestra, nos dieron a conocer mediante la superposición de las gráficas de los PCA (individuos y variabilidad), una apreciación más detallada de la similitud de las muestras. Para las muestras de agua la varianza explicada fue del 30, 9 % y para las muestras de sedimento fue del 47, 3 %. Razón por la cual, en cada grupo de muestras se logró observar que existen muestras que no guardan correlación alguna o tienen bajo grado de correlación con las variables de estudio.

#### 5.4. Caracterización de las Partículas de Microplásticos

Los microplásticos analizados por el espectro infrarrojo se llegaron a estimar como nylon o poliamida “6”, policarbonato, polipropileno y poliestireno a partir del proceso de comparación resultando ser similar para todas las muestras. Por consiguiente, estos resultados al ser comparados con los trabajos realizados en Cartagena, Perú, Chile y China (Acosta, 2014; Ríos, 2017; Castillo, 2020; Zhao et al, 2015), guardaron una ligera similitud con respecto al polipropileno ya que sus investigaciones determinaron principalmente la presencia de polietileno y propileno. Al ser comparados con el estudio realizado en España (León Muez et al., 2020), guardo un baja similitud al encontrar polietileno (PE), fibroplástico y cloruro de polivinilo (PVC). Mientras que, al ser comparados con un estudio realizado en la Costa Belga (Claessens et al., 2011), guardaron un mayor grado de similitud ya que los microplásticos encontrados estaban constituidos principalmente por poliestireno, polipropileno, polietileno, nylon y por alcohol polivinílico (PVA). Por el contrario, no guardaron similitud alguna con los trabajos realizados en Chile (Castillo, 2020) donde sus muestras determinaron la presencia de acrílicos (compuestos a base PMMA), polietileno de tereftalato (PET), celofán y poliéster.

Los espectros infrarrojos obtenidos para las muestras en estudio fueron comparados con la biblioteca espectros IR de polímeros, disponible en el software OMNIC ®. Para determinar la composición polimérica de las muestras se debería contar con una biblioteca de espectros IR de polímeros más amplia. Adicionalmente, la presencia de otros compuestos químicos (aditivos) al formar parte de la composición de los diferentes polímeros dificulta la identificación polimérica de las partículas de microplásticos. Otras variables a considerar en el análisis de espectros IR de polímeros en muestras de agua son el estado de degradación del material polimérico y el recubrimiento de materia orgánica (Lenz, et al., 2015).

El nylon o poliamida 6 pertenece al grupo de las poliamidas y se emplea ampliamente en la industria textil e ingeniería por sus diferentes propiedades que presentan, entre sus usos se destacan las fibras de alfombra, cuerdas de guitarra, hilos de pescar, ropa de buceo, cerdas de cepillos de dientes, redes, etc. (Aceromafe, 2021; QuimiNet, 2018). El policarbonato se encuentra presente en diversos artefactos de uso especial y materiales de uso cotidiano como discos compactos, equipo de protección personal, artículos deportivos, bidones, botellas reusables, bandejas, contenedores de comida, lentes para gafas, entre otros (Murcia et al., 2021). El polipropileno es un derivado del petróleo que se utiliza en varios sectores de la industria como

fibras sintéticas, fundas plásticas, cinta adhesiva, alfombras, envases contenedores de alimentos, producción de botellas, etc. (Mariano, 2011; PPCGropu, 2021). El poliestireno representa el 10 % del consumo total de plásticos al poseer una alta gama de productos de aplicación, entre ellos tenemos envases (platos, vasos, bandejas de productos cárnicos, envases de yogurt y gelatina, vasos térmicos), ganchos de ropa, cajas Petri, vacunas, lapiceros, sacapuntas, lámina de anuncios, chalecos salvavidas, entrenadores de natación, entre otros (PT, 2017).

En base a los resultados obtenidos, se puede decir que la posible fuente de donde provienen los microplásticos encontrados son de las zonas costeras y localidades adyacentes. Una revisión general de plásticos en el medio marino (Law, 2017), señaló que la fuente principal de residuos plásticos al océano a escala mundial son los provenientes de tierra. Los cuales ingresan de forma directa e indirecta mediante la realización de varias actividades (pesca y acuicultura), a partir del transporte marítimo, y vertidos de aguas residuales.

## Conclusiones

Se comprobó la existencia de microplásticos en las muestras de agua y de sedimento provenientes de diferentes zonas de la Isla Puná. Las muestras con una mayor concentración de MPs fueron las de agua, principalmente las muestras que provenían de los esteros (zonas Barra interna N° 1 a 500 m, Barra interna N° 2 a 60, 300 y 500 m, Estero del Muerto a 60m, Barra externa de arrastre a 60 m y el Estero Santa Ana a 300 m) con cantidades de MPs superiores a 700 unidades. Donde cuyas zonas contaminadas son aquellas que tienden a abarcar un sinnúmero de aguas sin tratar. Sin embargo, las zonas que registraron cantidades inferiores a 100 unidades de microplásticos fueron las zonas frente a Bellavista y mar abierto a 30 Km de Posorja de las muestras de agua en su tercera fase y frente a Bellavista y manglar continuo a DP World por el este de las muestras de sedimento.

La estadística descriptiva y multivariada de nuestro estudio determinó que existen diferencias significativas en la distribución de los datos con respecto a los parámetros evaluados (morfología y color). Lo cual se corrobora con la existencia de muestras con valores muy diferentes en las observaciones realizadas al grupo de datos reflejándose en los análisis de clústeres y PCA. No obstante, estos diagramas nos indicaron que a pesar de la heterogeneidad presente en los datos algunas muestras guardaron una ligera relación entre ellas en función de sus distancias y vectores (variables de estudio).

La abundancia de los microplásticos en cada una de las muestras se categorizó en función de su morfología y color, llegando a predominar la forma de pellets en las muestras de agua y los fragmentos en las muestras de sedimento; mientras que el foam en ambos casos no fue significativo (< 1 %). En cuanto a los colores destacaron los transparentes y plateados en un 87.53 y 42.09 %, seguido de colores neutros en un rango del 1 – 6 % y diversidad de colores con porcentajes inferiores al 3 %.

Finalmente, se evidenció con base a los análisis de comparación de los espectros infrarrojos que los polímeros encontrados en las muestras presentaron similitud con bandas características de polímeros comunes como de ingeniería (poliamida “Nylon 6”, policarbonato, poliestireno y polipropileno). Los mismos que se encuentran presentes en varios productos de desechos de uso cotidiano y equipos de actividades marítimas que se emplean diariamente (redes, hilos, etc.).

## Recomendaciones

Ante tal escenario, los resultados que se obtuvieron en ese estudio resultaron ser algo contradictorios a los expuestos por otros autores; motivo por el cual, es necesario mencionar ciertas recomendaciones para estudios posteriores.

- Trabajar con volúmenes de muestras significativos con el propósito de poder estandarizar los métodos analíticos empleados y determinar compatibilidad con los datos. Así como también, el de poder llegar a expresar nuestros resultados en diferentes unidades de medida con la finalidad de lograr comparar con los resultados de otros estudios.
- Para tener un mejor reconocimiento de las partículas de microplásticos, se recomienda emplear equipos más sofisticados (con software incorporado) que permitan brindar una mejor visualización y estimación de sus características cualitativas de este tipo de partículas.
- Por otro lado, se recomienda realizar un análisis más detallado para estimar en qué grado influye las condiciones climáticas con las posibles fuentes de contaminación, llegando a actuar indirectamente en su posible concentración y desplazamiento de estas partículas.
- La presencia de estos contaminantes ubicuos en todos los compartimentos ambientales, nos permite promover investigaciones posteriores enfocados hacia el sector alimentario y en función de ello estimar en qué proporción se encuentran y los posibles riesgos que pueden llegar a producir sobre nuestro organismo.
- En base a todo lo expuesto, se recomienda tomar conciencia con respecto a esta problemática ambiental alarmante que se suscita a nivel mundial. Para ello se lo puede realizar mediante políticas de economía circular, al tratar de cumplir con los convenios y legislaciones establecidas, y principalmente contribuir cada uno de nosotros al darles a los residuos un buen gestionamiento, entre otros.

### Referencias

- Aceromafe. (5 de enero de 2021). Nylon 6PA: ¿Cuáles son sus aplicaciones más comunes de la industria? Aceromafe. Obtenido de <https://www.aceromafe.com/aplicaciones-nylon-6pa/>
- Acosta, I. (2014). Caracterización de microplásticos primarios en el ambiente marino de una playa urbana en Cartagena de Indias [Magister, Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/4191/TESISENTREGADAFINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Armelin, E., Franco, L., López, I., Puiggali, J., & Saperas N. (2020). Experimentación e Instrumentación. Escola d'Enginyeria de Barcelona Est (EEBE-UPC). [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/178920/CUADERNO%20DE%20PR%20CTICAS%20Exp%20&%20Instrumentaci%C3%B3n\\_\[2020\].pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/178920/CUADERNO%20DE%20PR%20CTICAS%20Exp%20&%20Instrumentaci%C3%B3n_[2020].pdf)
- Asamblea de la Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (PNUMA). (1985). <https://www.unep.org/environmentassembly/about-united-nations-environment-assembly>
- Beltrán, M. & Marcilla, A. (2012). Tema 2. Tipos de plásticos, aditivación y mezclado. Tecnología de los Polímeros. Procesado y propiedades.
- Buceta, J. L., Gamund, J. L. G., & Martínez-Gi, M. (2017). Seguimiento de basuras marinas en playas españolas. Revista Digital del Cedex, 188, 81-81.
- Bumrah, G. S., & Sharma, R. M. (2016). Raman spectroscopy – Basic principle, instrumentation and selected applications for the characterization of drugs of abuse. Egyptian Journal of Forensic Sciences, 6(3), 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.ejfs.2015.06.001>
- Briz, M. (2019, 06 de marzo). La polución marina por nurdles es un problema global para lo cual se necesita acción. Mingas por el Mar. <https://www.mingasporelmar.org/la-polucion-marina-por-nurdles-es-un-problema-global-para-el-cual-se-necesita-accion-urgente/>

- Cabrera, D. (2018). Determinación de la presencia de microplásticos en playas de Tenerife. [Grado, Universidad de la Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/8703/Determinacion%20de%20la%20presencia%20de%20microplasticos%20en%20las%20playas%20de%20Tenerife.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y>
- Calderón, H., Martínez, P., & Muñoz, J. (2020). Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neivaa, Colombia. Serna, M. (Eds). Desarrollo e Innovación de la Ingeniería. (pp. 2 - 7). CRC Press
- Calero, R. (2010). La gobernanza del Estero Salado. [Especialista, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/10197/1/Tesina%20Gobernanza%20Estero%20Salado.pdf>
- Capparelli, M. V., Molinero, J., Moulatlet, G. M., Barrado, M., Prado-Alcívar, S., Cabrera, M., Gimiliani, G., Ñacato, C., Pinos-Velez, V., & Cipriani-Avila, I. (2021). Microplastics in rivers and coastal waters of the province of Esmeraldas, Ecuador. *Marine Pollution Bulletin*, 173113067. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113067>
- Castells, X. E., & de Gracia, L. J. (2012). Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración: Reciclaje de residuos industriales. Ediciones Díaz de Santos.
- Castillo, C. (2011). Modificación superficial de MWCNTs a partir de la síntesis de nylon-6 asistida por microondas [Magister, Centro de Investigación en Química Aplicada]. <http://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/178>
- Castillo, C. (2020). Microplásticos en la costa de la Patagonia de Chile y su potencial rol como vectores de contaminantes [Magister, Universidad de Concepción]. [http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/462/1/Tesis\\_Microplastico\\_en\\_la\\_costa.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/462/1/Tesis_Microplastico_en_la_costa.pdf)
- CEDEX. (2017). Informe de identificación de fuentes y estimaciones de aportes de microplásticos Recuperado 22 de junio de 2022, de <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion->

medio-marino/23-414-5-

010\_informe\_identificaciondefuentesyestimaciondeaportesdemicroplasticos\_tcm30-486438.pdf

Cisneros, P., Montero, P., & Guevara, M. (2021). Registro de fragmentos y fibras de plástico en sedimentos marinos, Tumbes, Perú. *Inf Inst Mar Perú*. Vol. 48(3): 478-483. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/bitstream/20.500.12958/3583/1/Informe%2048-3%20articulo13.pdf>

Claessens, M., Meester, S., Landuyt, L., De Clerck, K., & Janssen, R. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast., *62(10)*, 2199–2204. doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.06.030

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic identification techniques. *Microplastic Pollutants*, 219–267. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809406-8.00010-4>

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplásticos como contaminantes en el medio marino: una revisión. *62(12)*, 2588–2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>

Convenio de Barcelona (1976). Ratificado por España ratificó en 2007. Ratificado por España en 1999. [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/convenios\\_internacionales/convenio\\_de\\_barcelona.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/convenios_internacionales/convenio_de_barcelona.aspx)

Convenio de Londres sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (1996). [https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/convenios-internacionales/convenio\\_londres.aspx#:~:text=El%20Convenio%20de%20Londres%20tiene,de%20desechos%20y%20otras%20materias](https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-medio-marino/proteccion-internacional-mar/convenios-internacionales/convenio_londres.aspx#:~:text=El%20Convenio%20de%20Londres%20tiene,de%20desechos%20y%20otras%20materias).

Convenio MARPOL sobre la prevención de la contaminación por buques. (1973). Ratificado por OMI en 2005. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx)

Convenio OSPAR sobre la protección del medio ambiente marino del Atlántico Nordeste, hecho en París el 22 de septiembre de 1992. Ratificado por España mediante instrumento de 25 de enero de 1994 (publicado en el BOE de 24 de junio de 1998).

Convención de las Naciones Unidas sobre derechos del mar (UNCLOS) y la adhesión del Reino Unido. (1997). Ratificado por la ONU en 1994. <https://www.afese.com/img/revistas/revista42/unclos.pdf>

Corbin, C.J., & Singh, J.G. (1993). Marine debris contamination of beaches in St. Lucia and Dominica. *Marine Pollution Bulletin* 26, 325–328. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(93\)90575-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(93)90575-5)

Correa, J. (2020). Revisión de la problemática de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico. [Monografía, Universidad de Antioquía]. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15453/4/CorreaJefferson\\_2020\\_Microp lasticosRecursoHidrico.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15453/4/CorreaJefferson_2020_Microp lasticosRecursoHidrico.pdf)

Dávila, Y., & Montalvan, R. (2021). Análisis de la presencia de microplásticos en arenas de las playas de la costa sur del Perú. *Sincretismo - Revista de Divulgación Científica*. Vol. 01(001), 5-9. <http://www.revistas.unam.edu.pe/index.php/sincretismo/article/view/41/50>

De-la-Torre, G. E. (2019). Microplásticos en el medio marino: Una problemática que abordar. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(4), 12.

Ecuador. Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo Uso. Registro Oficial núm. 459. de 15 de diciembre del 2020. <https://www.oficial.ec/ley-organica-racionalizacion-reutilizacion-reduccion-plasticos-solo-uso>

ELTELÉGRAFO. (2012). La contaminación del agua: del estero al océano. *El Telégrafo*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/columnistas/1/la-contaminacion-del-agua-del-estero-al-oceano>

- Fidra. (2022, 03 de diciembre). Más nudles encontrados que nunca: los resultados de Great Global Nurdle Hunt de 2022. The Great Nurdle Hunt. <https://www.nurdlehunt.org.uk/news-events/2022-great-global-nurdle-hunt-results.html>
- Flores, J., & Orozco, K. (2022). Evaluación de la presencia de microplásticos en agua embotellada en la Regional 6. [Grado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21656/1/UPS-CT009511.pdf>
- García Regueiro, J. A. (2019). Microplásticos en el medio ambiente y su impacto en la cadena trófica [Máster, Universitat Oberta de Catalunya]. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/99246/6/jgarciareguTFM0719memoria.pdf>
- Gavira, J, M. (2017, junio 16). Triplenlace. Espectroscopía IR de Reflexión -2: Reflexión Total Atenuada.<https://triplenlace.com/2017/06/16/espectroscopia-infrarroja-de-reflexion-total-atenuada-atr/>
- GESAMP (2015). “Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment” (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- González, A. (2019). Estudio de la ocurrencia de microplásticos en los sedimentos de la Isla Santay. [Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20ALCIVAR%20ADRIANA%20ROSAUR A.pdf>
- Gorassini, A., Adami, G., Calvini, P. y Giacomello, A. (2016). Caracterización ATR-FTIR de cintas adhesivas autoadhesivas antiguas en papeles históricos. *Revista de Patrimonio Cultural*, 21, 775–785. doi: 10.1016/j.culher.2016.03.005
- Guasti, F. (2022). El impacto de microplásticos en organismos marinos. Zambrano, A. (Ed). Contaminación por Microplásticos. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 58-62. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73\\_2/PDF/Ciencia\\_73-2.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf)

- Gulmine, J., Janissek, P., Heise, H., & Akcelrud, L. (2002). Polyethylene characterization by FTIR. *Polymer Testing*, 21(5), 557–563. doi:10.1016/s0142-9418(01)00124-6
- Íñiguez, ME, Conesa, JA, & Fullana, A. (2017). Microplásticos en la sal de mesa española. *Informes científicos*, 7 (1), 8620. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09128-x#Fig2>
- ISO (2013). Norma de seguridad marítima para la prevención de la contaminación por la basura de los equipos flotantes. Requisitos (ISO 21070:2013). <https://docplayer.es/51306020-Norma-de-seguridad-maritima-para-la-prevencion-de-la-contaminacion-por-la-basura-de-los-equipos-flotantes-de-la-acp.html>
- Ivar do Sul, J., Ângela Spengler & Mónica F. Costa. (2009). Here, there and everywhere. Small plastic fragments and pellets on beaches of Fernando de Noronha (Equatorial Western Atlantic)., 58(8), 1236–1238. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.05.004
- Law, KL (2017). Plásticos en el Medio Marino. *Revisión anual de ciencias marinas*, 9(1), 205–229. doi:10.1146/annurev-marine-010816-060409
- Lee, Hee-Jee; Song, Nan-Seon; Kim, Ji-Su; Kim, Seung-Kyu (2021). Variation and Uncertainty of Microplastics in Commercial Table Salts: Critical Review and Validation. *Journal of Hazardous Materials*, 402(), 123743–. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123743
- Lenz, R., Enders, K., Stedmon, C., Mackenzie, D., & Nielsen, T. (2015). A critical assessment of visual identification of marine microplastic using Raman spectroscopy for analysis improvement. *Marine Pollution Bulletin*, (), S0025326X15300424–. doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.09.026
- León Muez, D., Peñalver-Duque, P., Ciudad, C., Muñoz, M., Infante, O., Güemes Santos, S., Parrilla Giráldez, R., & Serrano, L. (2020). First sampling of microplastics in streams and rivers of peninsular Spain. *Ecosistemas*, 29(3). <https://doi.org/10.7818/ecos.2087>

- López, J., Pomaquero, J., & López, J. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Rev. Polo del Conocimiento*. 5(12):725-742. <https://dx.doi.org/10.23857/pc.v5i12.2139>
- Mahdi, HA (2017). Un estudio FTIR de caracterización de películas de polímero de nailon 6,6 puro y estabilizado UV. *Ibn AL-Haitham Revista de Ciencias Puras y Aplicadas*, 24 (1). Obtenido de <https://jih.uobaghdad.edu.iq/index.php/j/article/view/796>
- Mariano. (6 de junio del 2011). Polipropileno. *Tecnología de los plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>
- Martí, E. (2019). Microplásticos en las aguas superficiales del océano global. *Cei.Mar*. <https://campusdelmar.com/una-joven-investigadora-cei%20b7mar-establece-una-ratio-entre-plastico-y-plancton-muy-util-para-establecer-politicas-medioambientales-en-los-oceanos/>
- Masura, J., Baker, J.E., Foster, G.D., Courtney, A., Herring, C. 2015. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for 206 quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandum 31. NOS-OR&R-48.
- Mettler-Toledo. (s.f.). Reflectancia Total Atenuada (ATR). Tecnología de muestreo de ATR para aplicaciones de FITR. [https://www.mt.com/es/es/home/products/L1\\_AutochemProducts/ReactIR/attenuated-total-reflectance-atr.html](https://www.mt.com/es/es/home/products/L1_AutochemProducts/ReactIR/attenuated-total-reflectance-atr.html)
- Moncayo, C. S. (2019). Estrategias para el desarrollo turístico de la isla Puná. Samborondón, Ecuador. ECOTEC 0980804397
- Mondragón-Cortez P., & Arriola-Guevara E., (2016). Espectroscopia de Infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR)-Reflexión Total Atenuada (ATR): Principios y Aplicaciones en la Biotecnología. Editorial Amate, Guadalajara, Jalisco.

- Muñante, R. M. (2020). Microplásticos: El enorme problema de pequeñas partículas de plástico. *Revista de Química*, 34(1-2), 8-14.
- Murcia, A., Sanguino, B. P., Jaimes, C., Barrera, A., Sarmiento, N., Bohórquez, N., Navas, A., Flórez, C., & Rivera, W. (2021). Policarbonato. Unidades Tecnológicas de Santander. Grupo de Investigación en Ingeniería Verde. Obtenido de: <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-policarbonato.pdf>
- Nudelman, N. S. (2020). Residuos plásticos en Argentina. Su impacto ambiental y en el desafío de la economía circular. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 16, 19.
- Otero, M., & Guadarrama, M. (2022, noviembre 6). Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable. Espectroscopía de Infrarrojo/ATR. [http://www.cciqs.unam.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=113&Itemid=86](http://www.cciqs.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=86)
- Pazos, R. (2021). Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur) [Doctor, Universidad Nacional de la Plata]. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/116621/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/116621/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y) 0959804460
- PCCGroup. (29 de julio de 2021). Polipropileno: propiedades, aplicación y todo lo que necesita saber al respecto. PCCGroup. Obtenido de <https://www.products.pcc.eu/es/blog/polipropileno-propiedades-aplicacion-y-todo-lo-que-necesita-saber-al-respecto/>
- Plastivida. (2007). Plásticos: su Origen y su Relación con el Medio Ambiente. Boletín Técnico Informativo N°.3. Centro de Información Técnica.
- PT. (1 de junio de 2017). Termoplásticos: aplicaciones y clasificación del poliestireno (PS). *Plastics Technology México*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/articulos/detr-s-del-poliestireno-ps>

QuimiNet. (7 de octubre de 2018). El nylon y sus diferentes aplicaciones. QuimiNet. Obtenido de <https://www.quiminet.com/articulos/el-nylon-y-sus-diferentes-aplicaciones-2561039.htm>

Raimond B. Seymour & Charles E. Carraher (1995). *Introducción a la Química de los Polímeros*. Ed. Reverté, Barcelona.

Rezania, S., Park, J., Din, M. F. M., Taib, S. M., Talaiekhosani, A., Yadav, K. K., Kamyab, H. 2018. Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 191-208.

Ríos, D. (2017). Caracterización de los microplásticos e identificación de su origen, en el balneario Costa Azul, Ventanilla – Callao 2017. [Grado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/14306>

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

Rodríguez, A. (2019). Estudio de la ocurrencia de microplásticos en los sedimentos de la Isla Santay. [Grado, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/GONZALEZ%20ALCIVAR%20ADRIANA%20ROSAUR A.pdf>

Rojo-Nieto, E., & Montoto, T. (2017). Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos, y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en Acción*. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2013.01.004>

Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Investigación*, 8(1), 21-27.

Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications* (1er Ed). WILEY. <https://www.pharmaresearchlibrary.com/wp-content/uploads/2013/04/Infrared-Spectroscopy-Fundamentals-and-Applications-Barbara-Stuart.pdf>

- Suárez, R., Rivera, F., Guillen, T., & Morales, H. (2020). Calidad del agua del sector Playita del Guasmo, Guayaquil, Ecuador. *FACSalud*, Vol. 4(6), 47-54. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/download/1152/1116/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20los%20resultados,e%20stables%20por%20el%20ICA%2DNFS>.
- Talvitie, J., Mikola, A., & Setälä, O. (2017). Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, 123, 401-407. doi: 10.1016/j.watres.2017.07.005
- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Bjorn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., & Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0284>
- Torres, B. (2021). Estudio de los microplásticos como contaminantes emergentes en la cadena productiva alimentaria continental. [Grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/24215/1/UCFCQTORRES%20BYRON.pdf>
- UNEP (2005). *Marine Litter, an analytical overview*.
- Vahur, S. (s.f). Base de datos de espectros ATR-FT-IR de varios materiales. WordPress. <https://spectra.chem.ut.ee/contact/>
- Velandia, J. R. (2017). Identificación de polímeros por espectroscopía infrarroja. *Revista Ontare*. 5, p 115-140. doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2005
- Willis, K., Eriksen, R., Wilcox, C., & Dureza, B. (2017). Distribución de microplásticos a diferentes profundidades de sedimentos en un estuario urbano. *Fronteras en Ciencias Marinas*, 4(), 419–. doi:10.3389/fmars.2017.00419

Wright, SL., Thompson, RC. Galloway, TS. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review.2013. Environ. Pollut. Vol. (178): 483–492. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>

Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. (2015). Microplastic in three urban estuaries, China. Environmental Pollution, Vol. (206): 597–604. doi: 10.1016/j.envpol.2015.08.027

## Anexos

### Anexo A

Tabla A. Zonas de muestreo.

<b>Muestras</b>	<b>Código</b>	<b>Zona de muestreo</b>
	PL 60 - 1	Frente al muelle DP World
	PL 60 - 2	Frente al Muelle DP más al centro del canal
	PL 60 - 3	Frente a Bellavista
	PL 60 - 4	Entre Bellavista y subida alta
	PL 60 - 5	A la cuadra de Puná hacia punta noreste
	PL 60 - 6	Mar abierto a 30 Km de Posorja
	PL 300 - 1	Frente al muelle DP World
	PL 300 - 2	Frente al Muelle DP más al centro del canal
	PL 300 - 3	Frente a Bellavista
	PL 300 - 4	Entre Bellavista y subida alta
	PL 300 - 5	A la cuadra de Puná hacia punta noreste
	PL 300 - 6	Mar abierto a 30 Km de Posorja
	PL 500 - 1	Frente al muelle DP World
	PL 500 - 2	Frente al Muelle DP más al centro del canal
	PL 500 - 3	Frente a Bellavista
<i>Muestras de Agua</i>	PL 500 - 4	Entre Bellavista y subida alta
	PL 500 - 5	A la cuadra de Puná hacia punta noreste
	PL 500 - 6	Mar abierto a 30 Km de Posorja
	M1	Barra externa, arrastre a 500 m
	M2	Barra Externa, 500 m
	M3	Estero Santa Ana, 60 m
	M4	Estero Santa Ana, 300 m
	M5	Barra Externa, arrastre a 300 m
	M6	Barra Externa, arrastre a 60 m
	M7	Barra Interna N° 2, 500 m
	M8	Estero del muerto, 500 m
	M9	Estero Santa Ana, 500 m
	M10	Estero del muerto, 300 m
	M11	Barra Interna N° 1, 500 m
M12	Barra Interna N° 2, 300 m	
M13	Estero del muerto, 60 m	
M14	Barra Interna N° 2, 60 m	
	M15	Barra Interna N° 2, 60 m
<i>Muestras de Sedimento</i>	Sed1	Frente al muelle DP World
	Sed2	Frente al Muelle DP más al centro del canal
	Sed3	Frente a Bellavista
	Sed4	Entre Bellavista y subida alta
	Sed5	A la cuadra de Puná hacia punta noreste
	Sed6	Mar abierto a 30 Km de Posorja
	MG1	Manglar continuo a DP World por el este
	MG2	Manglar continuo a DP World por el este
	MG3	Manglar continuo a DP World por el este
	M1	Zona Intermareal
M2	Zona Supramareal	

M3	A 20 m de la Zona Intermareal
M4	Comuna a Bellavista, Puná a 30 m de la Zona Intermareal
Ms1	El muerto, Bentos
Ms2	Barra externa, Bentos
Ms3	Santa Ana, Bentos
Ms4	Barra Interna, Bentos N° 1
Ms5	Barra Interna, Bentos N° 2

Fuente: Propia.

## Anexo B

Tabla B1. Ocurrencia de la morfología de las partículas de microplásticos en función del lugar de muestreo

Código	Fibra (%)	Film (%)	Fragmentos (%)	Pellets (%)	Foam (%)	Concentración Total (%)
PL 60 - 1	16.67	32.18	35.63	15.52	0	100
PL 60 - 2	25.48	16.56	20.38	34.39	3.18	100
PL 60 - 3	5.41	50.08	7.52	36.99	0	100
PL 60 - 4	15.85	33.21	4.15	46.79	0	100
PL 60 - 5	12.24	26.57	6.99	54.20	0	100
PL 60 - 6	11.22	52.47	15.59	20.72	0	100
PL 300 - 1	28.91	21.09	3.13	46.88	0	100
PL 300 - 2	26.49	33.11	17.88	22.52	0	100
PL 300 - 3	44.63	14.88	28.10	12.40	0	100
PL 300 - 4	21.07	38.93	18.93	21.07	0	100
PL 300 - 5	15.19	32.09	25.21	27.51	0	100
PL 500 - 6	14.44	56.68	9.63	19.25	0	100
PL 500 - 1	24.74	38.66	15.98	20.62	0	100
PL 500 - 2	15.92	12.74	40.13	31.21	0	100
PL 500 - 3	23.91	9.78	44.57	21.74	0	100
PL 500 - 4	29.19	11.18	22.36	37.27	0	100
PL 500 - 5	21.6	38.8	7.2	32.4	0	100
PL 500 - 6	44.93	24.64	17.39	13.04	0	100
M1	31.29	21.94	12.26	34.52	0	100
M2	21.02	36.31	23.57	19.11	0	100
M3	5.08	54.82	1.52	38.58	0	100
M4	3.05	8.64	2.54	85.77	0	100
M5	10.65	23.15	54.86	11.34	0	100
M6	1.86	3.43	0.89	93.82	0	100
M7	0.24	0.10	0.42	99.24	0	100
M8	14.83	11.72	29.66	42.41	1.38	100
M9	16.27	18.98	43.05	21.69	0	100
M10	32.28	19.69	22.05	25.98	0	100
M11	3.14	6.71	3.86	86	0.29	100
M12	2.50	10.38	0.22	86.89	0	100
M13	3.22	2.81	1.49	92.49	0	100
M14	1.61	16.67	0.67	81.06	0	100
M15	3.42	1.19	0.83	94.51	0.05	100

Fuente: Propia.

TablaB27. Partículas de microplásticos en las muestras de agua (Negro - Rosado) según sus colores.

<b>Código</b>	<b>Negro (U)</b>	<b>Rojo (U)</b>	<b>Amarillo (U)</b>	<b>Azul (U)</b>	<b>Transparente (U)</b>	<b>Rosado (U)</b>
PL 60 - 1	13	10	2	11	148	0
PL 60 - 2	18	10	0	9	69	1
PL 60 - 3	9	25	0	16	317	0
PL 60 - 4	18	5	0	22	97	4
PL 60 - 5	16	2	0	11	93	2
PL 60 - 6	15	29	0	21	288	0
PL 300 - 1	11	1	0	14	74	2
PL 300 - 2	18	7	0	11	73	1
PL 300 - 3	16	14	0	29	20	1
PL 300 - 4	9	22	0	14	125	3
PL 300 - 5	5	69	0	21	198	1
PL 500 - 6	9	13	0	11	128	1
PL 500 - 1	7	14	5	16	86	1
PL 500 - 2	7	0	0	17	55	1
PL 500 - 3	4	2	1	5	28	3
PL 500 - 4	9	0	0	29	75	1
PL 500 - 5	18	9	0	15	152	6
PL 500 - 6	9	1	0	17	21	2
M1	15	4	6	24	153	3
M2	3	8	0	8	95	0
M3	2	0	0	6	183	0
M4	10	5	2	8	483	0
M5	6	108	1	7	170	1
M6	3	4	4	9	1314	0
M7	5	12	5	11	13718	0
M8	5	21	4	18	175	2
M9	5	32	0	12	117	3
M10	5	7	4	17	60	0
M11	2	6	0	15	653	0
M12	4	5	2	15	1327	0
M13	6	6	1	16	1166	0
M14	4	3	2	16	1764	0
M15	5	12	1	22	1874	1

Fuente: Propia.

Tabla B3. Partículas de microplásticos en las muestras de agua (Púrpura - Naranja) según sus colores.

<b>Código</b>	<b>Púrpura (U)</b>	<b>Blanco (U)</b>	<b>Crema (U)</b>	<b>Plateado (U)</b>	<b>Café (U)</b>	<b>Naranja (U)</b>
PL 60 - 1	0	24	5	0	2	132
PL 60 - 2	0	9	3	0	0	28
PL 60 - 3	0	268	0	0	0	25
PL 60 - 4	0	102	3	3	1	7
PL 60 - 5	1	139	2	0	1	16
PL 60 - 6	1	121	0	0	2	56
PL 300 - 1	0	6	0	0	0	4
PL 300 - 2	0	16	0	0	2	14
PL 300 - 3	0	7	0	0	1	23
PL 300 - 4	3	61	3	5	2	30
PL 300 - 5	0	26	0	0	3	21
PL 500 - 6	1	13	0	0	1	7
PL 500 - 1	0	41	3	0	0	18
PL 500 - 2	0	0	0	0	0	49
PL 500 - 3	1	0	0	0	1	38
PL 500 - 4	0	7	0	0	0	33
PL 500 - 5	0	0	0	0	1	6
PL 500 - 6	2	3	1	0	0	2
M1	0	40	32	14	3	4
M2	0	6	1	14	1	13
M3	0	2	0	2	1	1
M4	0	70	2	0	1	12
M5	0	3	0	12	0	122
M6	0	0	0	1	0	8
M7	0	0	0	1	0	16
M8	0	30	0	9	0	19
M9	1	19	0	26	0	67
M10	0	9	0	9	0	10
M11	0	2	0	0	2	16
M12	0	0	0	0	2	2
M13	1	0	0	0	1	12
M14	0	0	0	1	1	7
M15	0	1	0	0	0	14

Fuente: Propia.

Tabla B3. Partículas de microplásticos en las muestras de agua (Celeste – Oliva) según sus colores.

<b>Código</b>	<b>Celeste (U)</b>	<b>Verde (U)</b>	<b>Plomo (U)</b>	<b>Opaco (U)</b>	<b>Oliva (U)</b>
PL 60 - 1	0	1	0	0	0
PL 60 - 2	4	2	0	2	2
PL 60 - 3	3	2	0	0	0
PL 60 - 4	1	2	0	0	0
PL 60 - 5	0	1	0	0	2
PL 60 - 6	0	1	1	0	1
PL 300 - 1	1	3	0	12	0
PL 300 - 2	2	1	1	4	1
PL 300 - 3	1	4	0	5	0
PL 300 - 4	1	1	0	0	1
PL 300 - 5	3	2	0	0	0
PL 500 - 6	0	0	0	0	3
PL 500 - 1	1	1	0	0	1
PL 500 - 2	7	3	2	16	0
PL 500 - 3	0	3	0	6	0
PL 500 - 4	1	5	1	0	0
PL 500 - 5	7	3	0	29	1
PL 500 - 6	7	0	2	2	0
M1	7	1	3	0	1
M2	6	0	0	0	2
M3	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	0	0
M5	1	1	0	0	0
M6	0	0	0	0	0
M7	0	3	0	0	9
M8	5	1	0	0	1
M9	8	0	3	0	2
M10	1	1	1	0	3
M11	1	0	1	0	2
M12	1	0	0	0	0
M13	2	0	0	0	1
M14	0	0	2	0	0
M15	1	0	0	0	0

Fuente: Propia.

Tabla B4. Ocurrencia del color de las partículas de microplásticos en función del lugar de muestreo (negro – crema).

<b>Código</b>	<b>Negro (%)</b>	<b>Rojo (%)</b>	<b>Amarillo (%)</b>	<b>Azul (%)</b>	<b>Transparente (%)</b>	<b>Rosado (%)</b>	<b>Púrpura (%)</b>	<b>Blanco (%)</b>	<b>Crema (%)</b>
PL 60 - 1	3.74	2.87	0.57	3.16	42.53	0.00	0.00	6.90	1.44
PL 60 - 2	11.46	6.37	0.00	5.73	43.95	0.64	0.00	5.73	1.91
PL 60 - 3	1.35	3.76	0.00	2.41	47.67	0.00	0.00	40.30	0.00
PL 60 - 4	6.79	1.89	0.00	8.30	36.60	1.51	0.00	38.49	1.13
PL 60 - 5	5.59	0.70	0.00	3.85	32.52	0.70	0.35	48.60	0.70
PL 60 - 6	2.85	5.51	0.00	3.99	52.85	0.00	0.19	23.00	0.00
PL 300 - 1	8.59	0.78	0.00	10.94	57.81	1.56	0.00	4.69	0.00
PL 300 - 2	11.92	4.64	0.00	7.28	48.34	0.66	0.00	10.60	0.00
PL 300 - 3	13.22	11.57	0.00	23.97	16.53	0.83	0.00	5.79	0.00
PL 300 - 4	3.21	7.86	0.00	5.00	44.64	1.07	1.07	21.79	1.07
PL 300 - 5	1.43	19.77	0.00	6.02	56.73	0.29	0.00	7.45	0.00
PL 500 - 6	4.81	6.95	0.00	5.88	68.45	0.53	0.53	6.95	0.00
PL 500 - 1	3.61	7.22	2.58	8.25	44.33	0.52	0.00	21.13	1.55
PL 500 - 2	4.46	0.00	0.00	10.83	35.03	0.64	0.00	0.00	0.00
PL 500 - 3	4.35	2.17	1.09	5.43	30.43	3.26	1.09	0.00	0.00
PL 500 - 4	5.59	0.00	0.00	18.01	46.58	0.62	0.00	4.35	0.00
PL 500 - 5	7.20	3.60	0.00	6.00	62.00	2.40	0.00	0.00	0.00
PL 500 - 6	13.04	1.45	0.00	24.64	30.43	2.90	2.90	4.35	1.45
M1	4.84	1.29	1.94	7.74	49.35	0.97	0.00	12.90	10.32
M2	1.91	5.10	0.00	5.10	60.51	0.00	0.00	3.82	0.64
M3	1.02	0.00	0.00	3.05	92.89	0.00	0.00	1.02	0.00
M4	1.22	0.71	0.20	0.81	87.30	0.00	0.00	7.83	0.30
M5	1.39	25.00	0.23	1.62	39.35	0.23	0.00	0.69	0.00
M6	0.22	0.30	0.30	0.67	97.84	0.00	0.00	0.00	0.00
M7	0.04	0.09	0.04	0.08	99.55	0.00	0.00	0.00	0.00
M8	1.72	7.24	1.38	6.21	60.34	0.69	0.00	10.34	0.00
M9	1.69	10.85	0.00	4.07	39.66	1.02	0.34	6.44	0.00

M10	3.94	5.51	3.15	13.39	47.24	0.00	0.00	7.09	0.00
M11	0.29	0.86	0.00	2.14	93.29	0.00	0.00	0.29	0.00
M12	0.29	0.37	0.15	1.10	97.72	0.00	0.00	0.00	0.00
M13	0.50	0.50	0.08	1.32	96.20	0.00	0.08	0.00	0.00
M14	0.22	0.17	0.11	0.89	98.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M15	0.26	0.62	0.05	1.14	97.05	0.05	0.00	0.05	0.00

Fuente: Propia.

Tabla B5. Ocurrencia del color de las partículas de microplásticos en función del lugar de muestreo (plateado – oliva).

<b>Código</b>	<b>Plateado (%)</b>	<b>Café (%)</b>	<b>Naranja (%)</b>	<b>Celeste (%)</b>	<b>Verde (%)</b>	<b>Plomo (%)</b>	<b>Opaco (%)</b>	<b>Oliva (%)</b>
PL 60 - 1	0.00	0.57	37.93	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00
PL 60 - 2	0.00	0.00	17.83	2.55	1.27	0.00	1.27	1.27
PL 60 - 3	0.00	0.00	3.76	0.45	0.30	0.00	0.00	0.00
PL 60 - 4	1.13	0.38	2.64	0.38	0.75	0.00	0.00	0.00
PL 60 - 5	0.00	0.35	5.59	0.00	0.35	0.00	0.00	0.70
PL 60 - 6	0.00	0.38	10.65	0.00	0.19	0.19	0.00	0.19
PL 300 - 1	0.00	0.00	3.13	0.78	2.34	0.00	9.38	0.00
PL 300 - 2	0.00	1.32	9.27	1.32	0.66	0.66	2.65	0.66
PL 300 - 3	0.00	0.83	19.01	0.83	3.31	0.00	4.13	0.00
PL 300 - 4	1.79	0.71	10.71	0.36	0.36	0.00	0.00	0.36
PL 300 - 5	0.00	0.86	6.02	0.86	0.57	0.00	0.00	0.00
PL 500 - 6	0.00	0.53	3.74	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60
PL 500 - 1	0.00	0.00	9.28	0.52	0.52	0.00	0.00	0.52
PL 500 - 2	0.00	0.00	31.21	4.46	1.91	1.27	10.19	0.00
PL 500 - 3	0.00	1.09	41.30	0.00	3.26	0.00	6.52	0.00
PL 500 - 4	0.00	0.00	20.50	0.62	3.11	0.62	0.00	0.00
PL 500 - 5	0.00	0.40	2.40	2.80	1.20	0.00	11.60	0.40
PL 500 - 6	0.00	0.00	2.90	10.14	0.00	2.90	2.90	0.00
M1	4.52	0.97	1.29	2.26	0.32	0.97	0.00	0.32
M2	8.92	0.64	8.28	3.82	0.00	0.00	0.00	1.27
M3	1.02	0.51	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M4	0.00	0.10	1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M5	2.78	0.00	28.24	0.23	0.23	0.00	0.00	0.00
M6	0.07	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M7	0.01	0.00	0.12	0.00	0.02	0.00	0.00	0.07
M8	3.10	0.00	6.55	1.72	0.34	0.00	0.00	0.34
M9	8.81	0.00	22.71	2.71	0.00	1.02	0.00	0.68
M10	7.09	0.00	7.87	0.79	0.79	0.79	0.00	2.36
M11	0.00	0.29	2.29	0.14	0.00	0.14	0.00	0.29
M12	0.00	0.15	0.15	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
M13	0.00	0.08	0.99	0.17	0.00	0.00	0.00	0.08
M14	0.06	0.06	0.39	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
M15	0.00	0.00	0.73	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia.

## Anexo C

Tabla C1. Ocurrencia de la morfología de las partículas de microplásticos en función de su lugar de muestreo de las muestras de sedimento.

<b>Código</b>	<b>Fibra (%)</b>	<b>Film (%)</b>	<b>Fragmentos (%)</b>	<b>Pellets (%)</b>	<b>Foam (%)</b>	<b>Concentración Total (%)</b>
Sed1	4,96	0,71	52,13	39,36	2,84	100
Sed2	6,34	0,70	56,34	36,62	0	100
Sed3	4,92	2,73	87,70	4,64	0	100
Sed4	10,26	19,66	52,14	15,38	2,56	100
Sed5	11,92	10,93	53,97	22,19	0,99	100
Sed6	9,72	6,94	65,28	12,5	5,56	100
MG1	22,60	5,77	65,38	6,25	0	100
MG2	16,67	2,38	52,38	28,57	0	100
MG3	24,64	1,45	30,43	39,13	4,35	100
M1	12,87	1,98	55,45	27,72	1,98	100
M2	46,97	0,59	44,76	7,68	0	100
M3	13,83	0,0	54,66	31,19	0,32	100
M4	30,51	4,24	38,14	26,27	0,85	100
Ms1	8,35	11,37	33,21	46,36	0,71	100
Ms2	5,78	17,63	31,17	44,43	0,99	100
Ms3	11,69	11,22	35,80	39,38	1,91	100
Ms4	6,25	8,71	39,96	44,64	0,45	100
Ms4.2	8,90	5,24	20,42	65,45	0	100
Ms5	5,41	7,79	46,54	39,61	0,65	100
Ms5.2	1,35	5,86	42,34	50,45	0	100
Ms5.3	3,98	5,11	43,18	47,16	0,57	100

Fuente: Propia

Tabla C2. Partículas de microplásticos de las muestras de sedimentos (negro – crema) según su color.

<b>Código</b>	<b>Negro (U)</b>	<b>Rojo (U)</b>	<b>Amarillo (U)</b>	<b>Azul (U)</b>	<b>Transparente (U)</b>	<b>Rosado (U)</b>	<b>Blanco (U)</b>	<b>Crema (U)</b>
Sed1	5	0	0	4	11	0	41	0
Sed2	3	0	0	1	22	0	7	0
Sed3	1	3	0	8	11	0	34	0
Sed4	4	0	0	2	29	1	5	0
Sed5	11	2	0	8	47	0	3	0
Sed6	0	1	0	2	4	0	11	0
MG1	6	9	0	21	21	0	12	1
MG2	2	1	0	3	0	0	3	0
MG3	4	0	2	6	11	0	3	1
M1	2	0	1	1	9	0	2	0
M2	3	5	295	6	14	0	2	0
M3	8	4	4	9	19	1	1	0
M4	4	3	8	9	15	0	2	0
Ms1	4	0	4	8	325	15	30	0
Ms2	2	5	3	23	522	0	16	1
Ms3	11	3	1	15	199	1	8	0
Ms4	7	2	1	12	217	0	2	0
Ms4.2	3	2	2	9	90	0	0	0
Ms5	6	4	1	27	232	0	3	0
Ms5.2	3		1	2	90	0	0	0
Ms5.3	4	2	1	5	66	0	1	0

Fuente: Propia.

Tabla C3. Partículas de microplásticos de las muestras de sedimentos (plateado – opaco) según su color.

<b>Código</b>	<b>Plateado (U)</b>	<b>Café (U)</b>	<b>Naranja (U)</b>	<b>Celeste (U)</b>	<b>Verde (U)</b>	<b>Plomo (U)</b>	<b>Opaco (U)</b>
Sed1	206	0	0	0	0	1	14
Sed2	85	1	6	0	1	0	16
Sed3	294	0	12	0	3	0	0
Sed4	65	0	0	1	0	0	10
Sed5	169	1	0	0	2	0	59
Sed6	50	0	0	0	0	0	4
MG1	99	1	21	1	3	1	12
MG2	21	0	0	0	0	0	12
MG3	26	0	0	0	0	0	16
M1	61	0	0	2	0	0	23
M2	305	0	0	3	0	0	44
M3	168	1	1	1	0	0	94
M4	48	0	0	3	0	1	25
Ms1	156	0	20	0	1	0	0
Ms2	75	0	50	6	6	0	0
Ms3	142	0	37	2	0	0	0
Ms4	164	0	40	1	2	0	0
Ms4.2	65	0	17	3	0	0	0
Ms5	153	0	33	1	0	0	2
Ms5.2	90	0	34	1	1	0	0
Ms5.3	82	0	13	1	1	0	0

Fuente: Propia.

Tabla C4. Ocurrencia del color de las partículas de microplásticos de las muestras de sedimento en función del lugar de muestreo (negro – crema).

<b>Código</b>	<b>Negro (%)</b>	<b>Rojo (%)</b>	<b>Amarillo (%)</b>	<b>Azul (%)</b>	<b>Transparente (%)</b>	<b>Rosado (%)</b>	<b>Blanco (%)</b>	<b>Crema (%)</b>
Sed1	1.77	0	0	1.42	3.90	0	14.54	0
Sed2	2.11	0	0	0.70	15.49	0	4.93	0
Sed3	0.27	0.82	0	2.19	3.01	0	9.29	0
Sed4	3.42	0	0	1.71	24.79	0.85	4.27	0
Sed5	3.64	0.66	0	2.65	15.56	0	0.99	0
Sed6	0	1.39	0	2.78	5.56	0	15.28	0
MG1	2.88	4.33	0	10.10	10.10	0	5.77	0.48
MG2	4.76	2.38	0	7.14	0	0	7.14	0
MG3	5.80	0	2.90	8.70	15.94	0	4.35	1.45
M1	1.98	0	0.99	0.99	8.91	0	1.98	0
M2	0.44	0.74	43.57	0.89	2.07	0	0.30	0
M3	2.57	1.29	1.29	2.89	6.11	0.32	0.32	0
M4	3.39	2.54	6.78	7.63	12.71	0	1.69	0
Ms1	0.71	0	0.71	1.42	57.73	2.66	5.33	0
Ms2	0.28	0.71	0.42	3.24	73.62	0	2.26	0.14
Ms3	2.63	0.72	0.24	3.58	47.49	0.24	1.91	0
Ms4	1.56	0.45	0.22	2.679	48.44	0	0.45	0
Ms4.2	1.57	1.05	1.05	4.712	47.12	0	0	0
Ms5	1.30	0.87	0.22	5.844	50.22	0	0.65	0
Ms5.2	1.35	0	0.45	0.901	40.54	0	0	0
Ms5.3	2.27	1.14	0.57	2.841	37.5	0	0.57	0

Fuente: Propia.

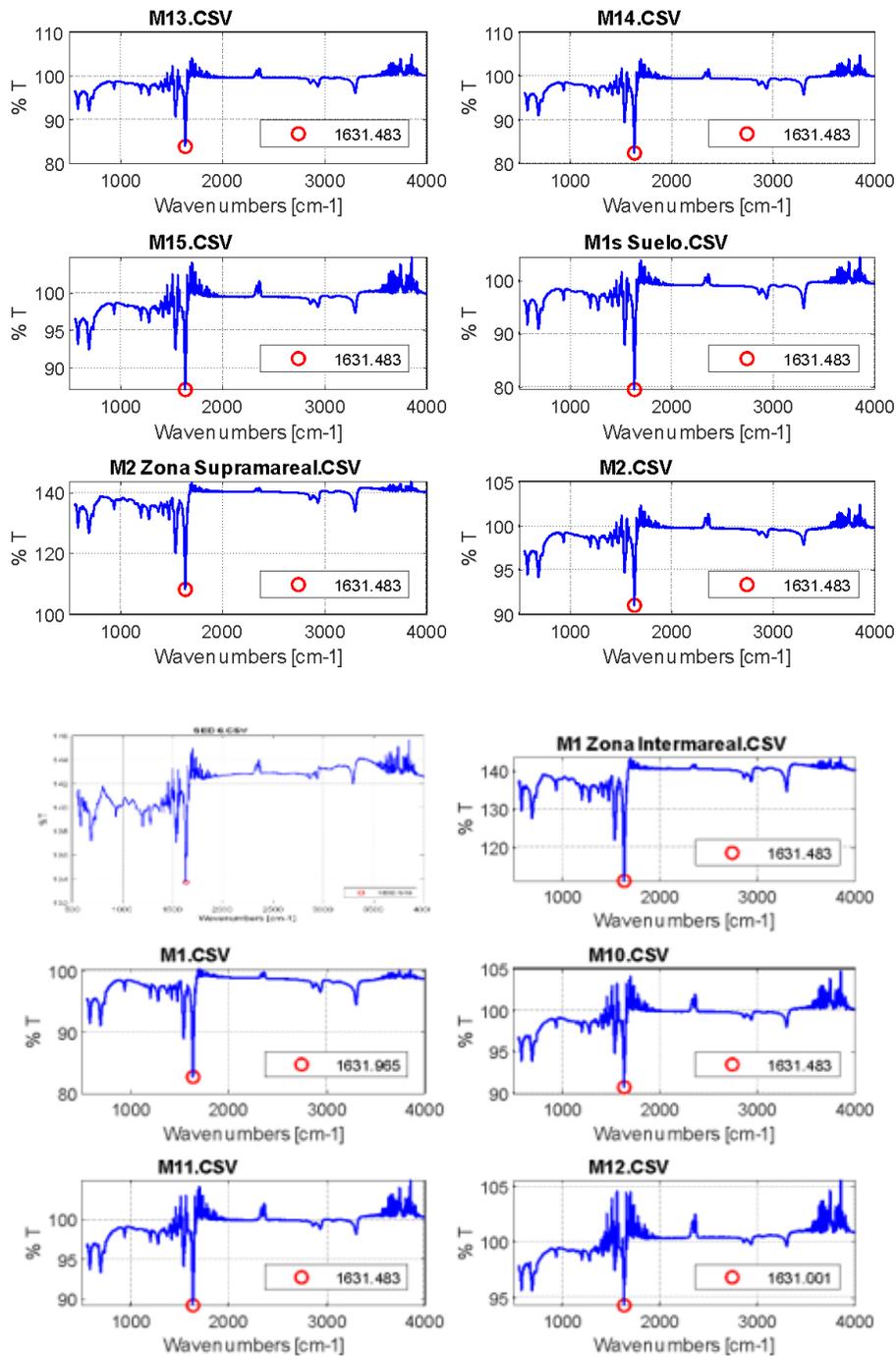
Tabla C5. Ocurrencia del color de las partículas de microplásticos de las muestras de sedimento en función del lugar de muestreo (plateado – opaco).

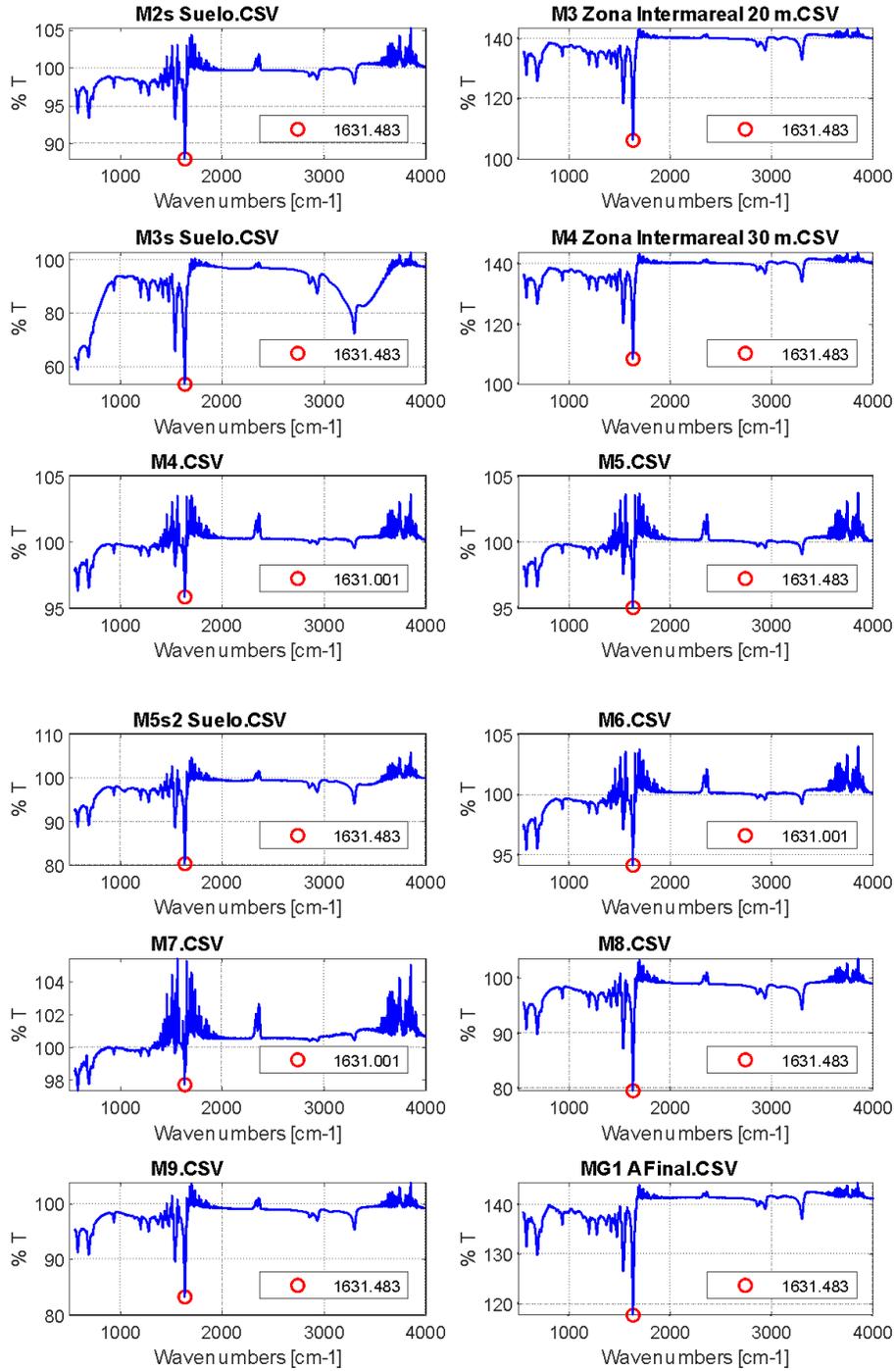
<b>Código</b>	<b>Plateado (%)</b>	<b>Café (%)</b>	<b>Naranja (%)</b>	<b>Celeste (%)</b>	<b>Verde (%)</b>	<b>Plomo (%)</b>	<b>Opaco (%)</b>
Sed1	73.05	0	0	0	0	0.35	4.96
Sed2	59.86	0.7042	4.23	0	0.70	0	11.27
Sed3	80.33	0	3.28	0	0.82	0	0
Sed4	55.56	0	0	0.85	0	0	8.55
Sed5	55.96	0.33	0	0	0.66	0	19.54
Sed6	69.44	0	0	0	0	0	5.56
MG1	47.60	0.48	10.10	0.48	1.44	0.48	5.77
MG2	50	0	0	0	0	0	28.57
MG3	37.68	0	0	0	0	0	23.19
M1	60.40	0	0	1.98	0	0	22.77
M2	45.05	0	0	0.44	0	0	6.50
M3	54.02	0.32	0.32	0.32	0	0	30.23
M4	40.68	0	0	2.54	0	0.85	21.19
Ms1	27.71	0	3.55	0	0.18	0	0
Ms2	10.58	0	7.05	0.85	0.85	0	0
Ms3	33.89	0	8.83	0.48	0	0	0
Ms4	36.61	0	8.93	0.22	0.45	0	0
Ms4.2	34.03	0	8.90	1.57	0	0	0
Ms5	33.12	0	7.14	0.22	0	0	0.43
Ms5.2	40.54	0	15.32	0.45	0.45	0	0
Ms5.3	46.59	0	7.39	0.57	0.57	0	0

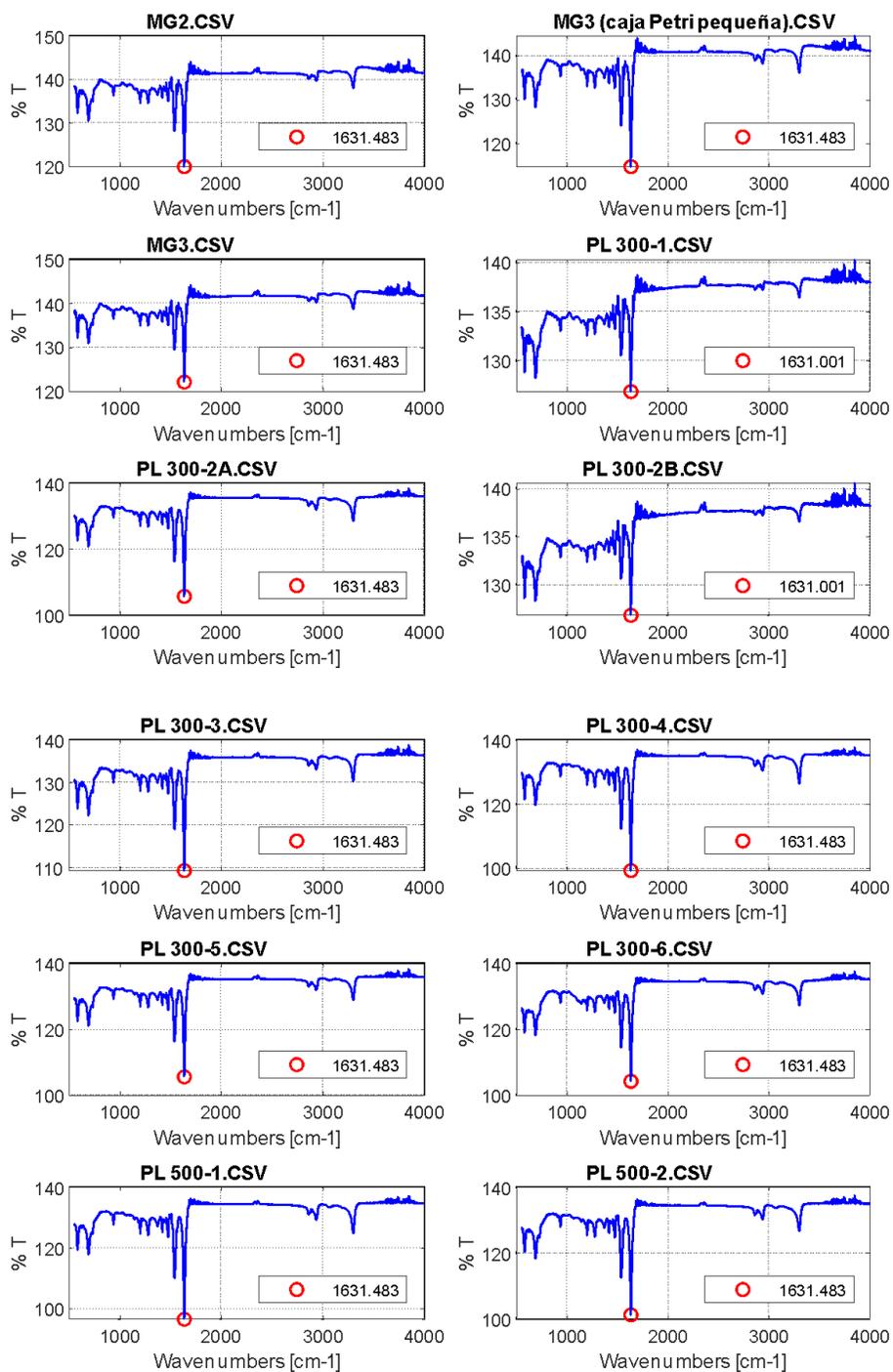
Fuente: Propia.

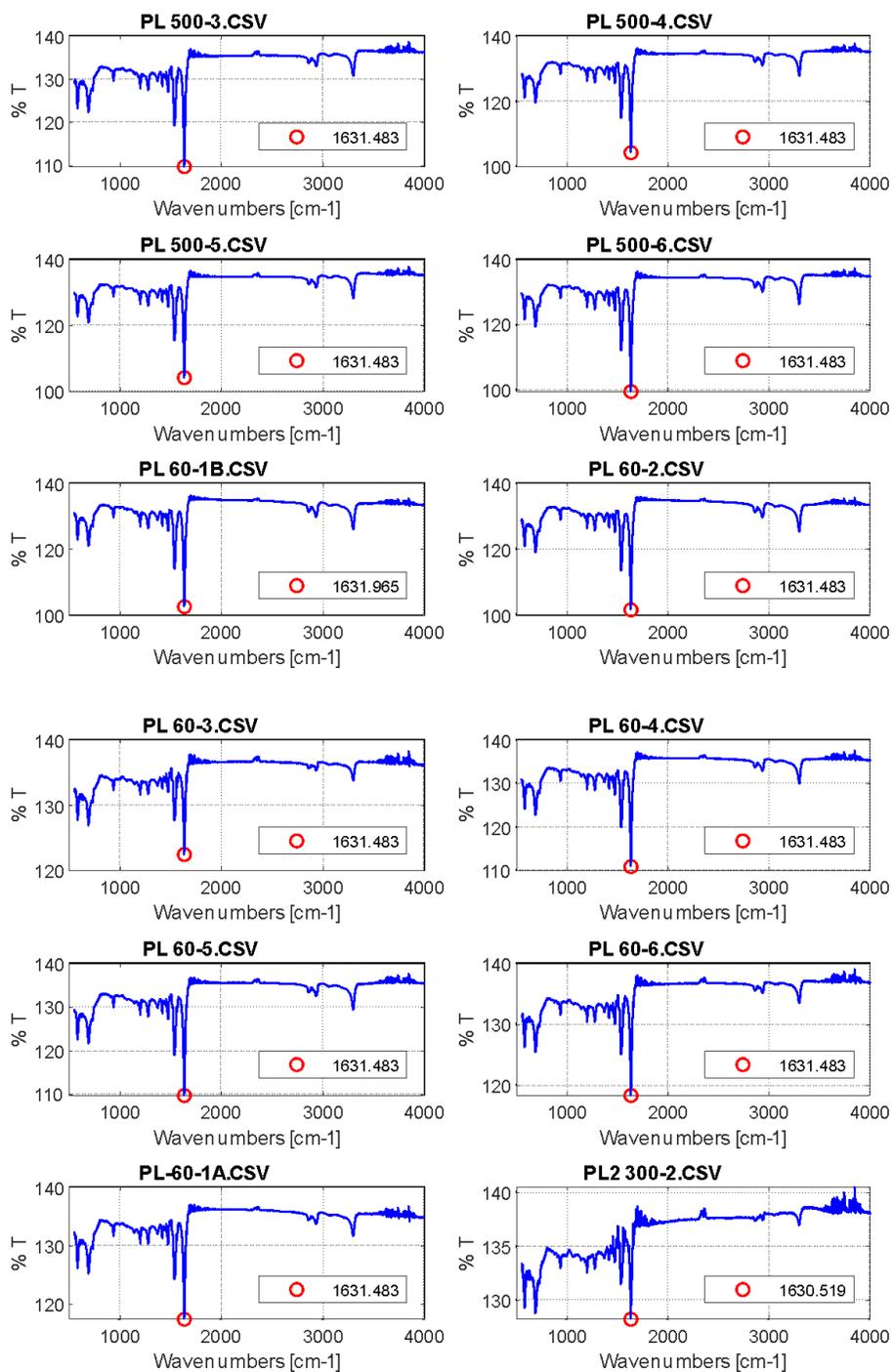
## Anexo D

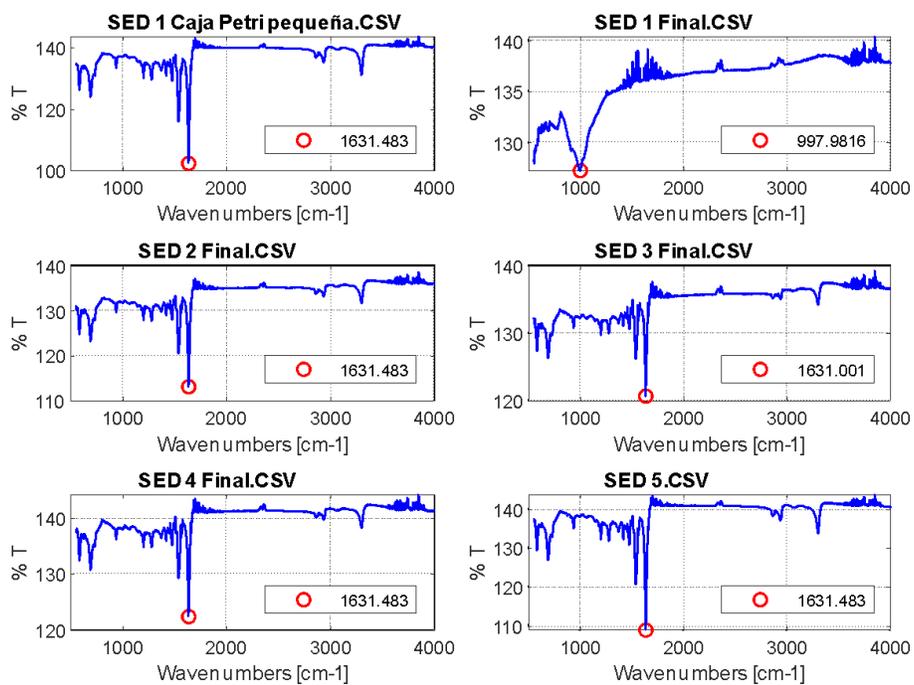
### Espectros infrarrojos modelados es Matlab





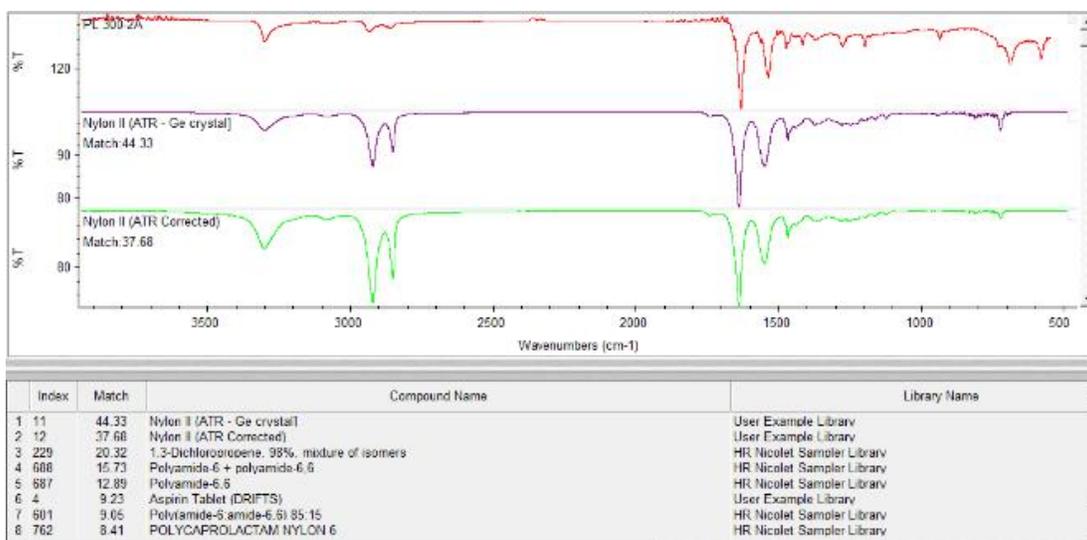
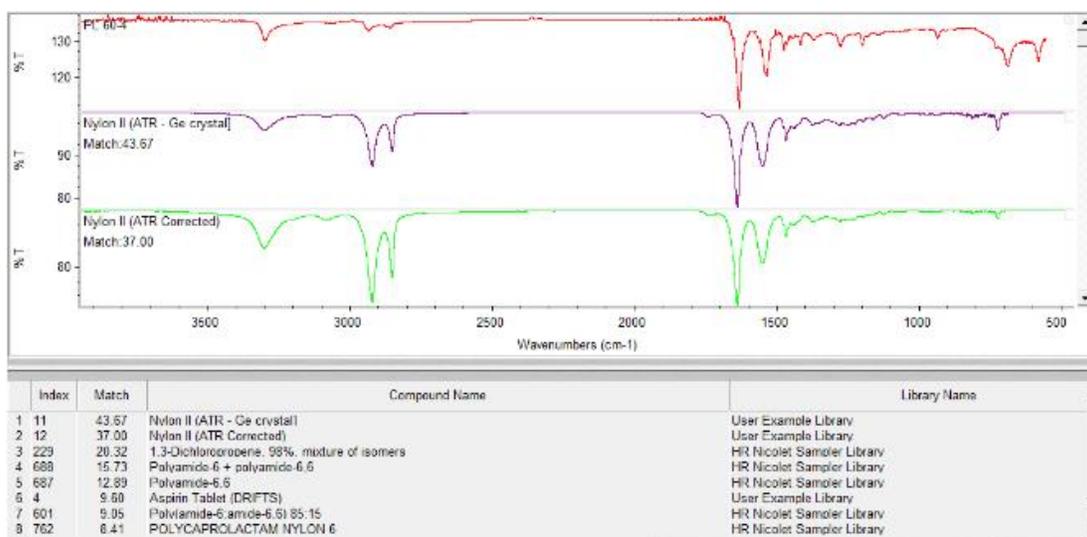


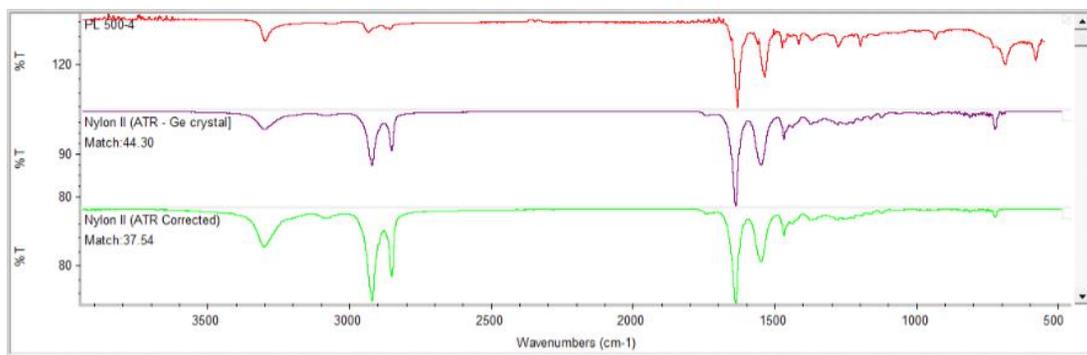




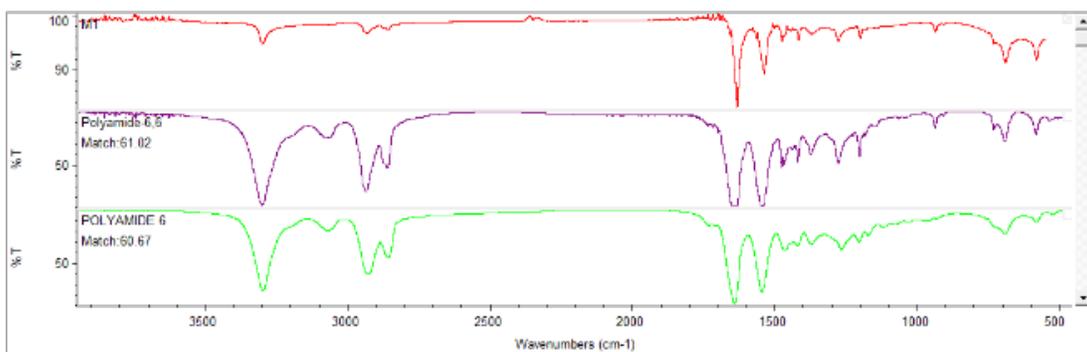
## Anexo E

Espectros infrarrojos obtenidos por el equipo

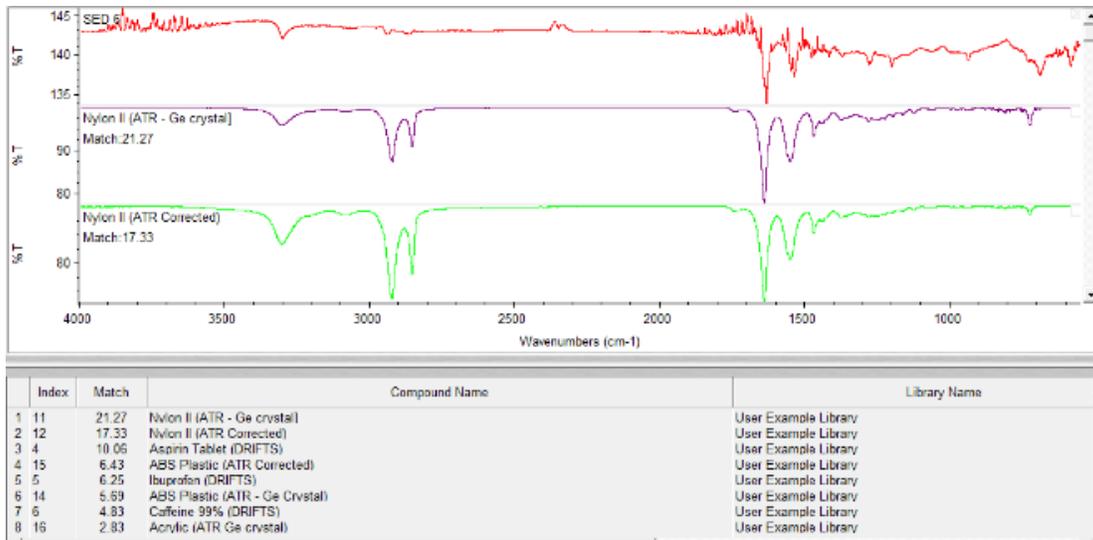




Index	Match	Compound Name	Library Name
1	11	44.30 Nylon II (ATR - Ge crystal)	User Example Library
2	12	37.54 Nylon II (ATR Corrected)	User Example Library
3	229	20.32 1,3-Dichloropropene, 98% mixture of isomers	HR Nicolet Sampler Library
4	688	15.73 Polyamide-6 + polyamide-6,6	HR Nicolet Sampler Library
5	687	12.89 Polyamide-6,6	HR Nicolet Sampler Library
6	4	9.28 Aspirin Tablet (DRIFTS)	User Example Library
7	601	9.05 Polyamide-6,amide-6,6) 85:15	HR Nicolet Sampler Library
8	762	8.41 POLYCAPROLACTAM NYLON 6	HR Nicolet Sampler Library

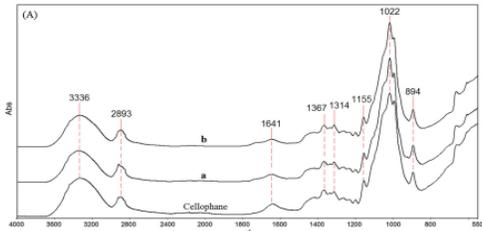


Index	Match	Compound Name	Library Name
1	687	61.02 Polyamide-6,6	HR Nicolet Sampler Library
2	1	60.67 POLYAMIDE 6	Hummel Polymer Sample Library
3	28	58.25 POLYAMIDE 6 + POLYAMIDE 6,6	Hummel Polymer Sample Library
4	688	49.76 Polyamide-6 + polyamide-6,6	HR Nicolet Sampler Library
5	690	48.89 Polyamide-6,6 amide-6)	HR Nicolet Sampler Library
6	19	44.89 LSD TARTRATE IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
7	110	44.45 CHLORDIAZEPoxide IN KBR	Georgia State Crime Lab Sample Library
8	11	42.72 Nylon II (ATR - Ge crystal)	User Example Library



## Anexo F

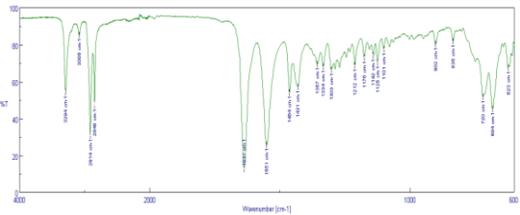
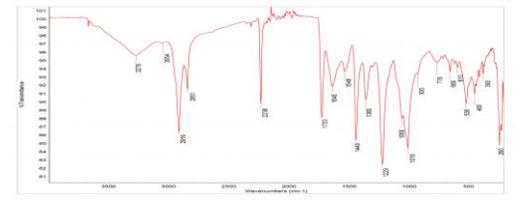
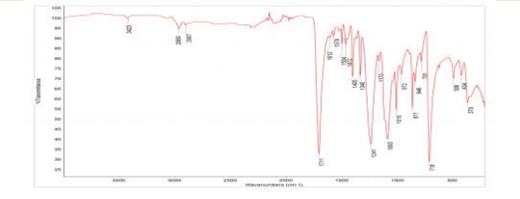
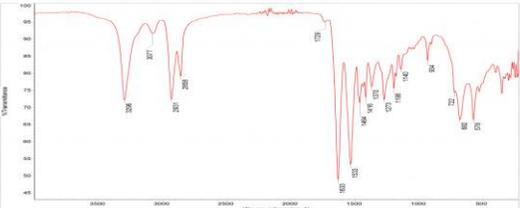
Tabla F. Bandas principales de los espectros infrarrojos de celofán, poliamidas (nylon 6 y 6,6), poliuretano y polimetilmetacrilato.

Frecuencia de Banda cm-1 Celofán	Referencia																																										
	(Gorassini, et, al., 2016).																																										
Frecuencia de Banda cm-1 Nylon 6	Referencia																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Señal</th> <th>Número de onda (cm<sup>-1</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A Estiramiento N-H</td> <td>3370 – 3170</td> </tr> <tr> <td>B Sobretono N-H</td> <td>3080 – 3050</td> </tr> <tr> <td>C Alargamiento C=O</td> <td>1680-1630</td> </tr> <tr> <td>D Flexión dentro del plano N-H</td> <td>1570-1515</td> </tr> <tr> <td>E Alargamiento C-N</td> <td>1310-1230</td> </tr> <tr> <td>F Flexión fuera del plano</td> <td>750 – 680</td> </tr> </tbody> </table>	Señal	Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	A Estiramiento N-H	3370 – 3170	B Sobretono N-H	3080 – 3050	C Alargamiento C=O	1680-1630	D Flexión dentro del plano N-H	1570-1515	E Alargamiento C-N	1310-1230	F Flexión fuera del plano	750 – 680	(Castillo, 2011)																												
Señal	Número de onda (cm <sup>-1</sup> )																																										
A Estiramiento N-H	3370 – 3170																																										
B Sobretono N-H	3080 – 3050																																										
C Alargamiento C=O	1680-1630																																										
D Flexión dentro del plano N-H	1570-1515																																										
E Alargamiento C-N	1310-1230																																										
F Flexión fuera del plano	750 – 680																																										
Frecuencia de Banda cm-1 Nylon 6,6	Referencia																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wave number (cm<sup>-1</sup>)</th> <th>Absorbance</th> <th>Assignment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3410</td> <td>0.34</td> <td>N-H stretching I</td> </tr> <tr> <td>3306</td> <td>0.38</td> <td>N-H stretching II</td> </tr> <tr> <td>3082</td> <td>0.18</td> <td>C-H stretching (asym)</td> </tr> <tr> <td>2932</td> <td>0.28</td> <td>CH<sub>2</sub> stretching (asym)</td> </tr> <tr> <td>2862</td> <td>0.25</td> <td>CH<sub>2</sub> stretching (sym)</td> </tr> <tr> <td>1639</td> <td>0.53</td> <td>Amide I stretching</td> </tr> <tr> <td>1539</td> <td>0.46</td> <td>Amide II stretching/ CH<sub>2</sub> (asy (mdef)</td> </tr> <tr> <td>1469</td> <td>0.31</td> <td>N-H deformation/ CH<sub>2</sub> scissoring</td> </tr> <tr> <td>1269</td> <td>0.34</td> <td>Amide III stretching</td> </tr> <tr> <td>1200</td> <td>0.29</td> <td>CCH bending (sym)/ CH<sub>2</sub> twisting</td> </tr> <tr> <td>934</td> <td>0.17</td> <td>C-C stretching</td> </tr> <tr> <td>691</td> <td>0.20</td> <td>C-C bending</td> </tr> <tr> <td>579</td> <td>0.18</td> <td>C-C deformation</td> </tr> </tbody> </table>	Wave number (cm <sup>-1</sup> )	Absorbance	Assignment	3410	0.34	N-H stretching I	3306	0.38	N-H stretching II	3082	0.18	C-H stretching (asym)	2932	0.28	CH <sub>2</sub> stretching (asym)	2862	0.25	CH <sub>2</sub> stretching (sym)	1639	0.53	Amide I stretching	1539	0.46	Amide II stretching/ CH <sub>2</sub> (asy (mdef)	1469	0.31	N-H deformation/ CH <sub>2</sub> scissoring	1269	0.34	Amide III stretching	1200	0.29	CCH bending (sym)/ CH <sub>2</sub> twisting	934	0.17	C-C stretching	691	0.20	C-C bending	579	0.18	C-C deformation	(Mahdi, 2017)
Wave number (cm <sup>-1</sup> )	Absorbance	Assignment																																									
3410	0.34	N-H stretching I																																									
3306	0.38	N-H stretching II																																									
3082	0.18	C-H stretching (asym)																																									
2932	0.28	CH <sub>2</sub> stretching (asym)																																									
2862	0.25	CH <sub>2</sub> stretching (sym)																																									
1639	0.53	Amide I stretching																																									
1539	0.46	Amide II stretching/ CH <sub>2</sub> (asy (mdef)																																									
1469	0.31	N-H deformation/ CH <sub>2</sub> scissoring																																									
1269	0.34	Amide III stretching																																									
1200	0.29	CCH bending (sym)/ CH <sub>2</sub> twisting																																									
934	0.17	C-C stretching																																									
691	0.20	C-C bending																																									
579	0.18	C-C deformation																																									
Frecuencia de Banda cm-1 PU	Referencia																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wavenumber (cm<sup>-1</sup>)</th> <th>Assignment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3445</td> <td>N-H stretching (non-hydrogen bonded)</td> </tr> <tr> <td>3320-3305</td> <td>N-H stretching (hydrogen bonded)</td> </tr> <tr> <td>2940</td> <td>Asymmetric C-H stretching</td> </tr> <tr> <td>2860</td> <td>Symmetric C-H stretching</td> </tr> <tr> <td>1730</td> <td>C=O stretching (non-hydrogen-bonded urethane)</td> </tr> <tr> <td>1710-1705</td> <td>C=O stretching (hydrogen-bonded urethane)</td> </tr> <tr> <td>1645-1635</td> <td>C=O stretching (hydrogen-bonded urea carbonyl)</td> </tr> </tbody> </table>	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Assignment	3445	N-H stretching (non-hydrogen bonded)	3320-3305	N-H stretching (hydrogen bonded)	2940	Asymmetric C-H stretching	2860	Symmetric C-H stretching	1730	C=O stretching (non-hydrogen-bonded urethane)	1710-1705	C=O stretching (hydrogen-bonded urethane)	1645-1635	C=O stretching (hydrogen-bonded urea carbonyl)	(Stuart, 2004)																										
Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Assignment																																										
3445	N-H stretching (non-hydrogen bonded)																																										
3320-3305	N-H stretching (hydrogen bonded)																																										
2940	Asymmetric C-H stretching																																										
2860	Symmetric C-H stretching																																										
1730	C=O stretching (non-hydrogen-bonded urethane)																																										
1710-1705	C=O stretching (hydrogen-bonded urethane)																																										
1645-1635	C=O stretching (hydrogen-bonded urea carbonyl)																																										
Frecuencia de Banda cm-1 PMMA																																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Wavenumber (cm<sup>-1</sup>)</th> <th>Assignment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2992</td> <td>O-CH<sub>3</sub>, C-H stretching</td> </tr> <tr> <td>2948</td> <td>C-CH<sub>3</sub>, C-H stretching</td> </tr> <tr> <td>1729</td> <td>C=O stretching</td> </tr> <tr> <td>1485</td> <td>CH<sub>2</sub> bending</td> </tr> <tr> <td>1450,1434</td> <td>O-CH<sub>3</sub> bending</td> </tr> <tr> <td>1382,1337</td> <td>C-CH<sub>3</sub> bending</td> </tr> <tr> <td>1265,1238</td> <td>C-C-O stretching</td> </tr> <tr> <td>1189,1170</td> <td>C-O-C bending</td> </tr> <tr> <td>1145</td> <td>CH<sub>2</sub> bending</td> </tr> <tr> <td>962</td> <td>C-CH<sub>3</sub> bending</td> </tr> </tbody> </table>	Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Assignment	2992	O-CH <sub>3</sub> , C-H stretching	2948	C-CH <sub>3</sub> , C-H stretching	1729	C=O stretching	1485	CH <sub>2</sub> bending	1450,1434	O-CH <sub>3</sub> bending	1382,1337	C-CH <sub>3</sub> bending	1265,1238	C-C-O stretching	1189,1170	C-O-C bending	1145	CH <sub>2</sub> bending	962	C-CH <sub>3</sub> bending																					
Wavenumber (cm <sup>-1</sup> )	Assignment																																										
2992	O-CH <sub>3</sub> , C-H stretching																																										
2948	C-CH <sub>3</sub> , C-H stretching																																										
1729	C=O stretching																																										
1485	CH <sub>2</sub> bending																																										
1450,1434	O-CH <sub>3</sub> bending																																										
1382,1337	C-CH <sub>3</sub> bending																																										
1265,1238	C-C-O stretching																																										
1189,1170	C-O-C bending																																										
1145	CH <sub>2</sub> bending																																										
962	C-CH <sub>3</sub> bending																																										

Fuente: Propia.

## Anexo G

Tabla G. Bandas principales de los espectros infrarrojos de polietileno, nylon, nylon II, fibra poliacrílica, y poliéster.

Frecuencia de Banda cm-1 Polietileno	Referencia																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Band (cm<sup>-1</sup>)</th> <th>Assignment</th> <th>Intensity</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2919</td> <td>CH<sub>2</sub> asymmetric stretching</td> <td>Strong</td> </tr> <tr> <td>2851</td> <td>CH<sub>2</sub> symmetric stretching</td> <td>Strong</td> </tr> <tr> <td>1473 and 1463</td> <td>Bending deformation</td> <td>Strong</td> </tr> <tr> <td>1377</td> <td>CH<sub>2</sub> symmetric deformation</td> <td>Weak</td> </tr> <tr> <td>1366 and 1351</td> <td>Wagging deformation</td> <td>Medium</td> </tr> <tr> <td>1306</td> <td>Twisting deformation</td> <td>Weak</td> </tr> <tr> <td>1176</td> <td>Wagging deformation</td> <td>Very weak</td> </tr> <tr> <td>731-720</td> <td>Rocking deformation</td> <td>Medium</td> </tr> </tbody> </table>	Band (cm <sup>-1</sup> )	Assignment	Intensity	2919	CH <sub>2</sub> asymmetric stretching	Strong	2851	CH <sub>2</sub> symmetric stretching	Strong	1473 and 1463	Bending deformation	Strong	1377	CH <sub>2</sub> symmetric deformation	Weak	1366 and 1351	Wagging deformation	Medium	1306	Twisting deformation	Weak	1176	Wagging deformation	Very weak	731-720	Rocking deformation	Medium	<p>(Gulmine, et al., 2002)</p>
Band (cm <sup>-1</sup> )	Assignment	Intensity																										
2919	CH <sub>2</sub> asymmetric stretching	Strong																										
2851	CH <sub>2</sub> symmetric stretching	Strong																										
1473 and 1463	Bending deformation	Strong																										
1377	CH <sub>2</sub> symmetric deformation	Weak																										
1366 and 1351	Wagging deformation	Medium																										
1306	Twisting deformation	Weak																										
1176	Wagging deformation	Very weak																										
731-720	Rocking deformation	Medium																										
Frecuencia de Banda cm-1 Nylon II	Referencia																											
	<p>(Armelin, et al., 2020).</p>																											
Frecuencia de Banda cm-1 Fibra Poliacrílica	Referencia																											
	<p>(Vahur, s.f)</p>																											
Frecuencia de Banda cm-1 Poliéster	Referencia																											
	<p>(Vahur, s.f)</p>																											
Frecuencia de Banda cm-1 Nylon	Referencia																											
	<p>(Vahur, s.f)</p>																											

Fuente: Propia.

## Anexo H

Tabla H. Bandas principales de los espectros infrarrojos de polietileno de tereftalato, polietileno de alta y baja densidad, cloruro de polivinilo, polipropileno, poliestireno y policarbonato.

Frecuencia de Banda cm-1	Polímero	Referencia
1700	PET	(Velandia, 2017)
1000 – 1100		
2800 – 2900		
2850	HDPE	
1500		
700		
2900	LDPE	
1450		
750		
2850 - 2900	PVC	
1000 – 1100		
1250		
720 – 730		
2900	PP	
1350 - 1450		
1200 - 1000		
2800 - 3200	PS	
1400 - 1600		
700 - 800		
2800 - 3000	PC	
1750		
1400 – 1600		
500 - 1300		

Fuente: Propia.

## Anexo I

Frecuencia de Banda cm-2 FBSA1	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w							x	x									
2850	w		x			x		x	x									
1630	s														x			
1540	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1420	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m								x						x			
1200	s							x		x				x				
933	s									x								
728	s	x				x			x	x					x			
686	s									x					x			
580	m									x								

Frecuencia de Banda cm-2 MAP2	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w								x	x								
2850	w		x	x		x		x	x									
1630	s														x			
1540	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1420	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m									x					x			
1200	s							x		x				x				
934	s									x		x		x				
730	s	x				x			x	x					x			
687	s									x					x			
580	s									x								

Frecuencia de Banda cm-2 FMDPV3	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	w														x			
2940	w								x	x		x						
2860	w		x			x		x	x			x						
1630	s														x			
1540	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1420	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m									x					x			
1200	s							x		x				x				
935	s									x						x		
728	s	x				x			x	x					x			
687	m									x					x			
580	s									x								

Frecuencia de Banda cm-2 BIN: 2.2.60 m	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w								x	x								
2860	w		x			x		x	x			x						
1630	s														x			
1540	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1420	s							x	x	x								
1370	w											x						
1280	s									x					x			
1200	s							x		x				x				
936	s									x								
729	m	x				x			x	x					x			
688	s									x					x			
580	s									x								

Frecuencia de Banda cm-2 FMDPV	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2940	w							x	x			x						
2860	w		x			x		x	x			x						
1630	s														x			
1540	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1410	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	m									x					x			
1200	s							x		x				x				
933	s									x								
727	s	x				x		x	x						x			
687	m									x					x			
580	s									x								

Frecuencia de Banda cm-2 MCDPWE2	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán
3300	m														x			
2930	w								x	x								
2860	w		x			x		x	x			x						
1630	s														x			
1530	s								x	x					x			
1470	s								x	x								
1420	s							x	x	x								
1370	w							x				x						
1280	w									x					x			
1200	s							x		x				x				
935	s									x							x	
729	s	x				x		x	x						x			
688	s									x					x			
581	s									x								

Frecuencia de Banda cm-2 EMB	Amplitud del pico	PE	PET	HDEP	LDEP	PVC	PP	PS	PC	PMMA	PU	Nylon	Nylon 11	Nylon 6,6	Poliamida (Nylon 6)	Fibra Poliacrítica	Poliester	Celofán	Celofán
3300	m														x				
2940	w							x	x			x							
2860	w		x			x		x	x			x							
1630	s														x				
1540	s								x	x					x				
1470	s								x	x									
1410	m							x	x	x									
1370	w							x				x							
1280	s									x					x				
1200	s									x				x					
934	s									x		x		x					
729	s	x				x		x	x						x				
691	s									x					x				
580	s									x									

Tabla I. Comparación de las bandas de los espectros infrarrojos de las muestras con respecto a las bandas de principales de los espectros infrarrojos de polímeros comunes.

Fuente: Propia.

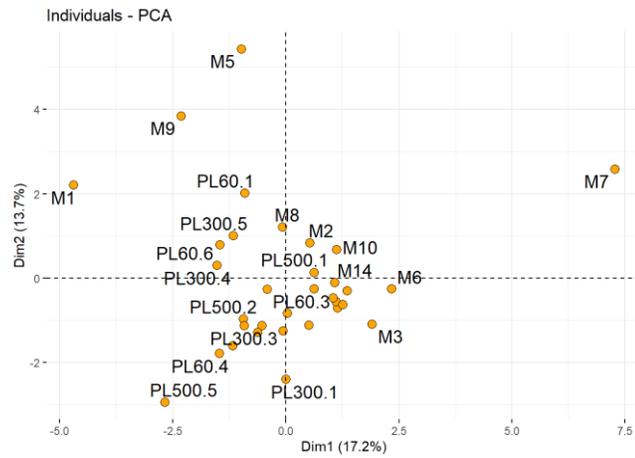
## Anexo J

Tabla J. Codificación de las muestras según el CSC.

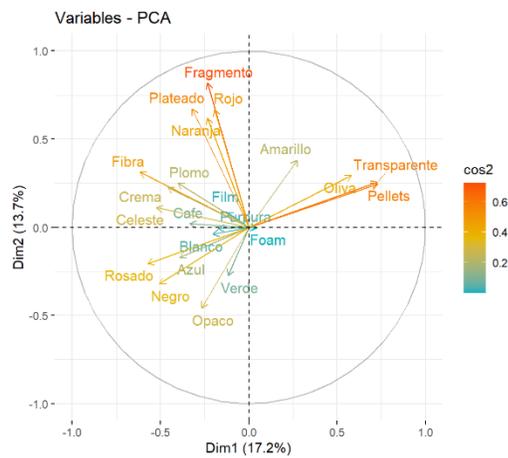
Código de Registro de Microplásticos				
PL 60 - 3	PL 60 - 5	PL 60 - 6	PL 300 - 1	PL 500 - 2
FB/BL/PC - PA 6/21	FB/BL/PC - PA 6/10	FB/BL/PC - PA 6/19	FB/BL/PC - PA 6/14	FB/BL/PC - PA 6/10
1/FB/BN/PC - PA 6	FB/BK/PC - PA 6/13	FB/BK/PC - PA 6/15	FB/BK/PC - PA 6/11	FB/BK/PC - PA 6/7
FB/BK/PC - PA 6/12	FB/RD/PC - PA 6/2	FB/RD/PC - PA 6/2	FB/PK/PC - PA 6/2	FB/GY/PC - PA 6/2
FB/GN/PC - PA 6/2	FB/TP/PC - PA 6/6	FB/TP/PC - PA 6/14	FB/GN/PC - PA 6/3	1/FB/GN/PC - PA 4
1/FB/BL - WT/PC - PA 6	1/FB/BG/PC - PA 6	FB/BN/PC - PA 6/2	1/FB/BL - WT/PC - PA 6	1/FB/OR/PC - PA 5
FB/PK/PC - PA 6/2	1/FB/PR/PC - PA 6	1/FB/GY/PC - PA 6	FB/TP/PC - PA 6/5	1/FB/PK/PC - PA 6
FB/2/PC - PA 6/3	1/FB/GN/PC - PA 7	FI/TP/PC - PA 6/245	1/FB/RD/PC - PA 6	1/FB/BL - WT/PC - PA 7
FI/TP/PC - PA 6/69	1/FB/OR/PC - PA 8	FI/WT/PC - PA 6/31	FI/TP/PC - PA 6/18	FB/WT/PC - PA 6/2
FI/WT/PC - PA 6/15	FI/TP/PC - PA 6/58	1/FR/GN/PC - PA 6	FI/WT/PC - PA 6/6	FI/TP/PC - PA 6/12
1/FI/PK/PC - PA 6	FI/WT/PC - PA 6/16	FR/OR/PC - PA 6/19	FI/OP/PC - PA 6/3	FI/WT/PC - PA 6/6
FI/BG/PC - PA 6/3	FI/BG/PC - PA 6/2	FR/RD/PC - PA 6/27	FR/OP/PC - PA 6/9	FI/OP/PC - PA 6/2
1/FR/BL/PC - PA 6	1/FR/BL/PC - PA 6	FR/BL/PC - PA 6/2	FR/TP/PC - PA 6/51	FR/OR/PC - PA 6/38
FR/OR/PC - PA 6/5	FR/OR/PC - PA 6/9	FR/OP/PC - PA 6/32	PT/OR/PC - PA 6/4	FR/BL/PC - PA 6/7
FR/RD/PC - PA 6/5	FR/RD/PC - PA 6/6	PT/TP/PC - PA 6/29		FR/BL - WT/PC - PA 6/6
PT/SV/PC - PA 6/3	FR/YL/PC - PA 6/2	PT/WT/PC - PA 6/90		FR/GN/PC - PA 6/3
PT/BK/PC - PA 6/6	PT/WT/PC - PA 6/123			PT/TP/PC - PA 6/35
PT/WT/PC - PA 6/87	PT/TP/PC - PA 6/29			PT/WT/PC - PA 6/14
PT/TP/PC - PA 6/28	PT/BK/PC - PA 6/3			

Fuente: Propia.

## Anexo K



a)

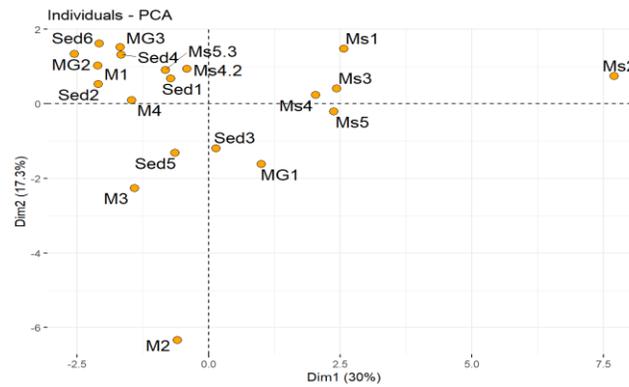


b)

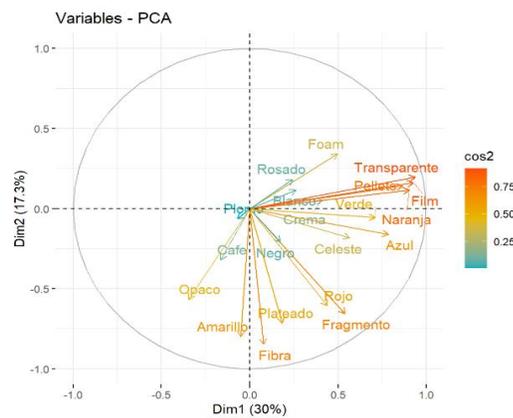
Figura K. a) PCA individual, y b) PCA de las variables en conjunto de las muestras de agua.

Fuente: Propia.

## Anexo L



a)



b)

Figura L. a) PCA individual, y b) PCA de las variables en conjunto de las muestras de sedimento.

Fuente: Propia.