



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN LA  
SANGRE HUMANA Y SU RELACIÓN CON LA EDAD Y EL SEXO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Biotecnólogo

AUTOR: JORGE OSWALDO ROJAS ORELLANA

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Jorge Oswaldo Rojas Orellana con documento de identificación N° 0106207806 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 18 de julio del 2025

Atentamente,



---

Jorge Oswaldo Rojas Orellana

0106207806

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Jorge Oswaldo Rojas Orellana con documento de identificación N° 0106207806, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo experimental: “Evaluación integral de los microplásticos presentes en la sangre humana y su relación con la edad y el sexo”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Biotecnólogo, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de julio del 2025

Atentamente,



---

Jorge Oswaldo Rojas Orellana

0106207806

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N° 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “EVALUACIÓN INTEGRAL DE LOS MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN LA SANGRE HUMANA Y SU RELACIÓN CON LA EDAD Y EL SEXO”, realizado por Jorge Oswaldo Rojas Orellana con documento de identificación N° 0106207806, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 18 de julio del 2025

Atentamente,



---

Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD

0102156957

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Clotilde Orellana y Hugo Rojas, por haberme brindado siempre su amor, paciencia y comprensión. Gracias por inculcarme el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia, virtudes que han sido pilares fundamentales a lo largo de mi formación académica y personal. Su ejemplo de integridad y dedicación ha sido mi mayor motivación para alcanzar esta meta.

A la memoria de mi hermana, Paulina Rojas, cuya partida dejó un vacío imposible de llenar, pero también una huella imborrable en mi vida. Su recuerdo me acompaña día a día, y su luz ha sido guía silenciosa en los momentos de mayor desafío. Este logro es también un homenaje a su vida, a su amor y al vínculo que permanece más allá del tiempo y la distancia.

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Pregunta de Investigación.....	4
1.3 Justificación.....	4
1.4 Limitaciones.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.7 Variables.....	7
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.2 Bases teóricas.....	17
2.2.3.1 Toxicidad de los microplásticos.....	23
2.3 Marco conceptual.....	24
CAPÍTULO III.....	26
MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1 Nivel de investigación.....	26
3.2 Diseño de investigación.....	26
3.3 Población y muestra.....	27
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	29
3.6 Protocolo a implementar.....	30
CAPÍTULO IV.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1 Caracterización de los microplásticos mediante microscopía de fluorescencia.....	35

4.1.1	Características morfológicas de los microplásticos .....	35
4.1.2	Cantidad de microplásticos encontrados en las muestras de sangre .....	38
4.1.3	Tamaño de microplásticos en la sangre .....	43
4.2	Identificación química de los polímeros mediante espectroscopía FTIR.....	47
4.3	Análisis de la correlación entre las características de los microplásticos con la edad y el sexo	49
CAPÍTULO V.....		61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		61
5.1	Conclusiones.....	61
5.2	Recomendaciones .....	62
6.	Referencias bibliográficas .....	64
7.	Anexos.....	72
Anexo 1	Tabla de resultados obtenidos del análisis de la cantidad de microplásticos. ....	72
Anexo 2	Tabla de los resultados obtenidos del análisis de la morfología, tamaño y tipo de polímero.	73

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar las características de los microplásticos presentes en la sangre humana y explorar la posible relación con variables demográficas como la edad y el sexo. Se trabajó con 32 muestras de sangre de estudiantes universitarios, las cuales fueron procesadas mediante un protocolo que combinó la digestión química, tratamiento con ultrasonido, reacción de Fenton (modificada) y detección mediante microscopía invertida de fluorescencia con Rojo de Nilo, complementada con espectroscopía FTIR para confirmar los polímeros detectados. Los análisis revelaron la presencia de microplásticos en el 100 % de las muestras, con una concentración media de 4.16 partículas por mililitro de sangre. Además, se identificaron polímeros sintéticos comunes como el PET, PE, PP, PS, PMMA y PA, lo que evidencia una exposición constante de los jóvenes universitarios a dichos contaminantes. También se registró una amplia variedad de formas (fibras y partículas) y un tamaño promedio de 139.2  $\mu\text{m}$ . En el análisis estadístico no se encontraron correlaciones estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre las características de los microplásticos (cantidad, morfología, tamaño y tipo de polímero) y las variables demográficas edad y sexo. Aunque se observaron ciertas diferencias descriptivas, como una ligera mayor proporción de partículas en mujeres mayores, estas no fueron estadísticamente relevantes. La edad y el sexo por sí solos no demostraron patrones consistentes. En conjunto, este estudio aporta evidencia local sobre la presencia de microplásticos en la sangre humana y resalta la necesidad de continuar investigando su posible impacto en la salud, así como los factores que determinan su acumulación en el organismo.

**Palabras clave:** microplásticos, sangre humana, FTIR, morfología, edad, sexo, análisis estadístico.

## ABSTRACT

This research aimed to evaluate the characteristics of microplastics present in human blood and explore their possible relationship with demographic variables such as age and sex. A total of 32 blood samples from university students were analyzed using a protocol that combined chemical digestion, ultrasonic treatment, a modified Fenton reaction, and detection through inverted fluorescence microscopy with Nile Red staining, complemented by FTIR spectroscopy to confirm the detected polymers. The analyses revealed the presence of microplastics in 100% of the samples, with an average concentration of 4.16 particles per milliliter of blood. Common synthetic polymers such as PET, PE, PP, PS, PMMA, and PA were identified, indicating a constant exposure of young individuals to these contaminants. A wide range of morphologies (fibers and particles) was also observed, with an average size of 139.2  $\mu\text{m}$ . Statistical analysis showed no significant correlations ( $p > 0.05$ ) between microplastic characteristics (quantity, morphology, size, and polymer type) and demographic variables such as age and sex. Although some descriptive differences were noted—such as a slightly higher proportion of particles in older women—these were not statistically relevant. Age and sex alone did not reveal consistent patterns. Overall, this study provides local evidence of microplastics in human blood and highlights the need for further research into their potential health effects and the factors influencing their accumulation in the body.

**Keywords:** microplastics, human blood, FTIR, morphology, age, sex, statistical analysis.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Los microplásticos son pequeñas partículas o fibras que poseen tamaños menores a 5 milímetros, y han originado preocupación ambiental y sanitaria a nivel global por su presencia en diferentes matrices biológicas y ambientales. Los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son aquellos que se producen con fines de uso industrial y cosmético, y los secundarios se producen de la degradación de plásticos de mayor tamaño o también conocidos como macroplásticos (Rocha-Santos & Duarte, 2015; V. L. Leonard et al., 2024a). Su capacidad de persistir en el ambiente es notable, y su presencia ha sido documentada en ecosistemas marinos, terrestres y aéreos, afectando a los organismos de los diferentes niveles tróficos e ingresando a la cadena alimenticia humana (García Rellán et al., 2023a).

Tanto el consumo de agua embotellada y mariscos, así como inhalar el aire de ciertas zonas industriales puede facilitar el ingreso de microplásticos dentro del organismo. En diferentes estudios se ha constatado la presencia de microplásticos en el cuerpo humano, especialmente en algunos órganos como los pulmones, hígado, cerebro, corazón y el tracto gastrointestinal, y en fluidos como la sangre y la placenta. Dentro del tejido sanguíneo se han encontrado plásticos como el poliestireno y el polipropileno. Además, este tejido funciona como la vía de transporte ideal de los microplásticos a diferentes órganos y tejidos. El ingreso de los microplásticos al cuerpo humano ocurre por inhalación, la ingesta oral y el contacto con la piel. De estas tres vías destaca la ingesta oral.

Algunos de los efectos negativos que podría provocar la bioacumulación de los microplásticos en el cuerpo humano incluyen la demencia, la infertilidad en hombres, la disminución en la cicatrización del tejido pulmonar, posibles efectos tóxicos e inflamatorios, aumento de riesgos cardiovasculares, etc. No obstante, se requieren de más análisis para confirmar o descartar estas posibilidades. Es por eso que el presente trabajo de titulación tiene como objetivo analizar las características de los microplásticos en la sangre, incluyendo su cantidad, composición química, morfología y tamaño para buscar una correlación con la edad y el sexo de las personas. Los resultados de este trabajo aportarán con datos relevantes sobre algunas de las características de los microplásticos encontrados en la sangre, lo cual reducirá algunas dudas y propondrá nuevos temas de investigación. Además, los resultados ayudarán a identificar posibles diferencias en los niveles de exposición entre distintos grupos de la población. Con ello se podrá detectar posibles grupos de riesgo y analizar qué factores causan dichas diferencias de exposición.

### **1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad la contaminación por plásticos se ha convertido en uno de los desafíos ambientales más urgentes en todo el mundo. Se estima que hasta el año 2023, aproximadamente 460 millones de toneladas de plástico son producidas cada año a nivel global, de las cuales solo una pequeña fracción es reciclada (Li et al., 2023a). Esta situación ha dado origen a la formación masiva de microplásticos, los cuales son partículas de un tamaño comprendido entre 1  $\mu\text{m}$  y 5 mm, que pueden encontrarse tanto en formas de fragmentos como de partículas y están presentes en diferentes matrices como el aire, el agua, el suelo, los alimentos y tejidos biológicos (Hartmann et al., 2019; Jiang et al., 2024).

La preocupación por el impacto de los microplásticos en la salud humana va en aumento. Estudios recientes han confirmado su presencia en alimentos de consumo frecuente especialmente el agua embotellada, mariscos, agua potable, frutas, sal; así también se ha confirmado la presencia de estas partículas en el aire que respiramos (Barceló et al., 2023a; Mesquita et al., 2024). A través de estas fuentes de exposición, los microplásticos pueden ingresar al organismo humano y ser transportados por el sistema cardiovascular a distintos órganos y tejidos.

Investigaciones recientes han evidenciado la presencia de los microplásticos en órganos humanos como pulmones, hígado, placenta, colon, sangre y tejido reproductivo masculino (V. L. Leonard et al., 2024a). Incluso se sugiere que es posible que los microplásticos acumulados en tejido reproductivo masculino podrían afectar a la capacidad reproductiva de los hombres (Jiang et al., 2024). Esto sugiere la capacidad de estas partículas para viajar por el torrente sanguíneo y acumularse en diversos órganos (Jenner et al., 2022). A pesar de estos hallazgos, aún se conoce poco sobre algunas características de los microplásticos y su distribución en la sangre, y el cómo estas características pueden variar en función de las variables demográficas como la edad y el sexo.

En el Ecuador, al igual que en otros países de América Latina, el estudio sobre la presencia de microplásticos en tejidos humanos es rudimentario. No existen suficientes datos sobre los efectos a largo plazo de esta exposición ni sobre las posibles diferencias entre grupos poblacionales, tampoco existe un protocolo estandarizado para el estudio de microplásticos en sangre. Este vacío de información limita la toma de decisiones en salud pública y la generación de políticas de prevención.

Por tanto, es necesario realizar estudios con protocolos estandarizados que permitan identificar y caracterizar los microplásticos presentes en la sangre humana y establecer si existe

correlación significativa con las variables demográficas como la edad y el sexo para identificar posibles grupos de riesgo. Comprender esta relación permitiría anticipar riesgos potenciales y sentar las bases para futuras investigaciones enfocadas en los efectos de los microplásticos en la salud humana.

## **1.2 Pregunta de Investigación**

¿Cuál es la correlación entre las características de los microplásticos presentes en la sangre con la edad y el sexo de las personas?

## **1.3 Justificación**

En los últimos años los microplásticos se han vuelto cotidianos en la vida, ya que la contaminación y degradación de diferentes plásticos ha causado que los microplásticos sean omnipresentes en el medio ambiente y el aumento en su emisión plantea preocupaciones sobre su impacto para el ecosistema y, por tanto, posibles riesgos para la salud de los seres humanos. La acumulación de los microplásticos está dada por la capacidad de estas partículas para ingresar en organismos vivos; en varios estudios se evidencia que estas partículas viajan a través del torrente sanguíneo, llegan a diferentes partes y son bioacumulados en diferentes tejidos. Esta acumulación supone un riesgo debido a sus posibles efectos tóxicos, inflamatorios y como disruptores endócrinos para el organismo en general. Sin embargo, los estudios sobre la presencia específica de los microplásticos en la sangre humana son limitados especialmente en contextos locales y de poblaciones específicas.

Por esta razón, la presente investigación se centra en detectar y caracterizar los microplásticos presentes en la sangre de una determinada población en el transcurso de este año

2025, describiendo las cantidades, formas, tamaños y la clasificación química de los microplásticos. Además, se busca evaluar si existe una correlación entre las características de los microplásticos con las variables demográficas como la edad y el sexo de los participantes, lo que permitiría identificar posibles grupos de riesgo y generar información útil para posibles estudios toxicológicos.

Esta investigación proporciona datos actualizados sobre la presencia y características de los microplásticos en el cuerpo humano, contribuyendo a estudios a futuro sobre la toxicidad e impacto de estas partículas en el organismo. En el ámbito práctico esta investigación puede servir como base para desarrollar estrategias de prevención y políticas que reduzcan la exposición a microplásticos tanto a nivel individual como poblacional.

De manera directa los beneficiarios de esta investigación son los mismos participantes que donan las muestras de sangre y la comunidad científica quienes podrán conocer más sobre la exposición diaria a estas partículas. De manera indirecta la sociedad en general se verá beneficiada al contar con mayor información sobre esta problemática en ascenso y podrán adoptar hábitos que minimicen la exposición a estas partículas.

#### **1.4 Limitaciones**

Para el análisis de los microplásticos presentes en la sangre se deben considerar algunas limitantes con el fin de interpretar adecuadamente los hallazgos, así como para evitar posibles errores al momento de realizar la digestión y análisis de las muestras sanguíneas. Con esto se prevé ayudar a mejorar futuras investigaciones sobre la presencia de microplásticos en matrices biológicas. A continuación, se detallan las principales limitaciones identificadas:

- Los microplásticos son partículas muy pequeñas lo que limita su detección mediante espectroscopía infrarroja.
- Un tiempo de recolección y almacenamiento prolongado de las muestras de sangre podría afectar la integridad de las mismas.
- La contaminación cruzada de las muestras con fuentes externas de microplásticos como el material de laboratorio y el ambiente en general pueden dar lugar a resultados erróneos o poco confiables.
- La falta de protocolos estandarizados para la extracción y análisis de microplásticos en muestras de sangre puede dar lugar a variabilidad en los procedimientos y resultados.
- El tamaño de la muestra puede no ser lo suficientemente representativo de la población en general.
- Distribución desigual de los participantes según los grupos etarios.
- Baja disponibilidad de participantes.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Determinar las características de los microplásticos presentes en la sangre mediante técnicas de laboratorio con el fin de correlacionar los datos con la edad y el sexo.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Identificar las características de los microplásticos presentes en sangre mediante el uso de microscopía invertida de fluorescencia.
- Analizar la composición química de los microplásticos presentes en la sangre utilizando espectroscopía infrarroja FTIR, con el propósito de identificar los tipos de polímeros predominantes y su posible origen.
- Correlacionar la presencia y características de los microplásticos con la edad y el sexo de los individuos para evaluar posibles patrones y tendencias en su distribución.

### **1.6 Hipótesis**

Para la presente investigación se planteó la siguiente hipótesis:

Hay una correlación entre las características de los microplásticos con la edad y sexo de las personas.

### **1.7 Variables**

Para la presente investigación se plantearon las siguientes variables, cada una con sus respectivas dimensiones e indicadores, los cuales permiten estructurar el análisis de los datos.

**Tabla 1.** Tabla de operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Edad de los participantes</b>	Rango etario	Años:
		17 -20
		20 – 23
		>23
<b>Sexo de los participantes</b>	Sexo biológico	Hombre
		Mujer
<b>Características de los microplásticos</b>	Tamaño	Longitud o diámetro de los microplásticos en $\mu\text{m}$ (micrómetros).
	Morfología	Partícula o fibra
	Cantidad	Partículas/ml
	Clase	Tipo de polímero sintético (polietileno, polipropileno, poliestireno, etc.)

La edad de los participantes es una variable de tipo cuantitativa discreta, ya que se encuentra agrupada en 3 posibles grupos de edad finita: de 17 a 20 años, de 20 a 23 años y mayores de 23 años. La dimensión considerada en esta variable es el rango etario (juventud), y su indicador son los años de los participantes. Esta clasificación permite observar si existe alguna tendencia en la concentración de microplásticos en función del grupo de edad.

El sexo de los participantes corresponde a una variable cualitativa dicotómica, ya que solo contempla dos categorías: hombre y mujer. Su dimensión es el sexo biológico y el indicador es dicha categorización. Esta variable resulta clave para establecer relaciones entre la cantidad, tamaño, clase y morfología de microplásticos presentes en función del sexo.

Por otro lado, las características de los microplásticos integran una variable compleja o compuesta formada por 4 subvariables: Tamaño, Morfología, Cantidad y Clase. Estas subvariables describen los distintos aspectos de las partículas encontradas en la sangre. En primer lugar, se analiza el tamaño, definido como la longitud o el diámetro de los microplásticos, expresado en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ). Esta variable es cuantitativa continua, ya que puede tomar cualquier valor dentro de un rango.

La segunda dimensión dentro de esta categoría es la morfología, que distingue si los microplásticos presentan forma de partícula o fibra, siendo por tanto una variable cualitativa politómica. En tercer lugar, se considera la cantidad de microplásticos, medida como el número de partículas presentes por cada 1 ml de sangre. Esta es una variable cuantitativa discreta, ya que cuenta unidades específicas de partículas.

Finalmente, se encuentra la dimensión relacionada con la clase o tipo de polímero, donde se identifican los diferentes materiales que componen las partículas detectadas, como polietileno, polipropileno o poliestireno, entre otros. Esta es una variable cualitativa politómica, ya que puede presentar múltiples categorías sin un orden específico.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

El aumento en la preocupación por la presencia de microplásticos en el medio ambiente ha llevado al desarrollo de numerosas investigaciones en las últimas décadas. Inicialmente la detección de microplásticos se enfocó en ecosistemas marinos, pero ese enfoque se ha ampliado hacia el estudio de su presencia en matrices terrestres, atmosféricas y biológicas, por lo tanto, incluyendo al cuerpo humano. Diversos estudios han evidenciado que los microplásticos pueden ingresar al organismo por diferentes fuentes como el aire, el agua y los alimentos, y circular por el torrente sanguíneo, generando posibles efectos adversos en la salud. Acto seguido se presentarán algunos estudios importantes sobre la identificación y caracterización de los microplásticos presentes en diferentes matrices, como llegan al cuerpo humano y su posible relación con factores demográficos como la edad y el sexo.

#### **2.1 Estado del arte**

En “Microplastic Contamination in Human Stools, Foods, and Drinking Water Associated with Indonesian Coastal Population” se analizaron diferentes muestras como heces, alimentos y agua potable. En el estudio se detectó microplásticos en más del 50% de las muestras de heces de 11 participantes siendo el polietileno de alta densidad (HDPE) el más abundante con una media de 9,195 µg por muestra. También se detectaron otros tipos de microplásticos en los participantes como el polietileno de baja densidad, polietileno de baja densidad lineal, polipropileno, poliestireno y tereftalato de polietileno. Esto nos indica que los participantes estaban expuestos a diferentes

medios de microplásticos. Indonesia al ser un país que no tiene agua de grafo potable, sus habitantes usan galones de agua o estaciones de recarga de agua, es por eso que en el estudio se analizaron 3 marcas comerciales de galones de agua y 3 estaciones de recarga y se observó que el PET tenía una concentración promedio de 7,585  $\mu\text{g/g}$ , mientras que en una de las estaciones de recarga el LDPE se hallaba en altas concentración 30,21  $\mu\text{g/g}$ , indicando que el agua de las estaciones de recarga representa un mayor riesgo de contaminación (Luqman et al., 2021).

Según García Rellán et al. (2023) dentro del ecosistema marino encontramos que aproximadamente el 10% de los residuos terminan en el mar, de los cuales un gran porcentaje se compone de plásticos y mediante la fotooxidación se degradan a microplásticos. En la revisión bibliográfica de estos autores se ha encontrado que los microplásticos se acumulan en el fondo marino y como tal el océano no tiene la capacidad para eliminar estos contaminantes, por lo que solo se fragmentan en partículas más pequeñas. Según un modelo utilizado para evaluar la dinámica de la acumulación de plásticos en la matriz marina se encontró que la acumulación de macro y microplásticos continúa aumentando tanto en el fondo marino como en columnas de agua lo que incrementa la acumulación de microplásticos en los organismos vivos y por ello al ser humano.

Dentro de las características de los microplásticos la densidad es una de ellas y podría estar relacionada con las formas de distribución de estas partículas en el entorno marino. Si bien densidad de los polímeros es crucial para identificar su distribución en la columna de agua, esto no explica por qué hay microplásticos con la capacidad de flotar en la profundidad del fondo marino. Según Coyle et al (2020) el proceso por el cual se distribuyen las partículas de microplásticos se debe a procesos como la bioincrustación y la agregación. En estos dos procesos los microplásticos interaccionan con la materia orgánica e inorgánica presente en el medio marino y forman

biopelículas que incrementan su densidad, lo que hace que los microplásticos se hundan y alcancen grandes profundidades. Sin embargo, esto dependerá de las propiedades de los microplásticos. Debido a los procesos de bioincrustación y agregación los microplásticos se establecen en diferentes niveles de la columna de agua ingresando en niveles tróficos inferiores. La bioincrustación provee a los organismos acuáticos de un mayor contenido nutricional de microplásticos por tanto su ingesta aumenta. Dentro de la cadena trófica, debido al consumo y que no existen vías enzimáticas para la degradación de los polímeros sintéticos, estos solo se acumulan en tejidos como la hepatopáncreas y los ovarios. Adicionalmente el consumo de otros individuos contaminados simplifica la transferencia de microplásticos a los niveles superiores de la cadena trófica (Coyle et al., 2020).

En el estudio “Microplastic Contamination of Surface Water-Sourced Tap Water in Hong Kong—A Preliminary Study” se analizó la contaminación del agua potable por microplásticos y se encontró que de 86 muestras había una concentración media de  $2,181 \pm 0,165$  n/L. Y el tipo morfología de los microplásticos era en 97,8% fibras y 65,1% partículas menores a 1 mm. Aunque estas concentraciones de microplásticos en agua potable son relativamente bajas no se debe ignorar sus posibles riesgos para la salud, ya que no representa la única fuente de exposición a estas partículas (Lam et al., 2020).

En el artículo “Microplásticos en la mesa: el impacto de la contaminación en nuestros alimentos” se evidencia que el plástico utilizado para guardar alimentos representa el 39,6% del plástico total. Normalmente se utilizan plásticos como el PET, HDPE, LDPE, PP, PS y PVC. En la fabricación de estos plásticos se utilizan generalmente aditivos que mejoran las propiedades y calidad del plástico. Usualmente estos aditivos son inocuos, pero con el paso del tiempo se

degradan y comienzan a interactuar con el ecosistema terrestre y marino causando daños a los organismos vivos. El ser humano interactúa de manera accidental con las partículas plásticas contenidas en mariscos, sal, azúcar y agua embotellada. Según el estudio, dentro del torrente sanguíneo la media de diferentes microplásticos como el PET, PE, PS y otros es de 1,6 g/ml. La distribución de los microplásticos está dada por el tamaño de la partícula, los microplásticos menores a 0,1 mm ingresan al sistema cardiovascular, mientras que los microplásticos mayores a 0,2 mm permanecen en la sangre (Capilla -Juárez et al., 2024).

En la revisión bibliográfica titulada: “Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects” se menciona que existen diferentes vías de exposición a los microplásticos siendo las más comunes la ingesta oral, la inhalación y el contacto con la piel. De estas vías la ingesta oral es la principal vía por la cual ingresan los microplásticos. Los posibles efectos tóxicos de los microplásticos que ingresan al organismo dependen de diversos factores como las propiedades físicas y químicas, aditivos, tiempos de exposición y la capacidad que tienen para transportar contaminantes hasta sistemas biológicos. Dentro de los contaminantes que pueden portar se encuentran los metales pesados y productos químicos orgánicos hidrófobos que pueden aumentar la toxicidad, y cuando se degradan a nanoplasticos estos pueden llegar a interactuar con varias biomoléculas como proteínas formando una corona proteica, lo que altera su persistencia, biodisponibilidad y ecotoxicidad. No obstante, se menciona que los métodos analíticos utilizados actualmente detectan microplásticos, pero resulta difícil detectar partículas más pequeñas conocidas como nanoplasticos y por ello, es posible que no se tenga en cuenta todo el potencial riesgo para la salud (Li et al., 2023b).

En el estudio de titulación “Análisis del perfil de microplásticos en relación al contenido de grasa presente en leche entera, semidescremada y descremada” se analiza la contaminación de alimentos por microplásticos y como incide el porcentaje de grasa de la leche en la concentración y caracterización de los microplásticos en Ecuador. Encontrando que el porcentaje de grasa no incide en la cantidad y caracterización de los microplásticos presentes en lácteos, pero los tipos de fuentes y procesamiento de la leche podría tener incidencia en la contaminación con microplásticos, siendo que las muestras de leche entera poseían mayor concentración de microplásticos (partículas y fibras) en comparación con la leche descremada y semidescremada. Además, se menciona que el nylon, polietileno mezclado y polipropileno isotáctico fueron los tipos de plástico más comunes encontrados en la leche analizada, siendo el nylon el de mayor concentración en leche entera. Por último esta investigación presenta una recomendación importante para el tratamiento de las muestras que es el uso de peróxido de hidrógeno para degradar por completo la materia orgánica residual (Piña et al., s. f.).

La revisión bibliográfica “Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review” indica que se ha detectado microplásticos en 8/12 sistemas de órganos humanos como el cardiovascular, endocrino, digestivo, tegumentario, linfático, respiratorio, reproductivo y urinario. También se encontró microplásticos en otras matrices biológicas humanas como la leche materna, el semen, las heces, el esputo y la orina. Las técnicas para extraer y analizar los microplásticos dependen de las ventajas y limitaciones de cada una (Roslan et al., s. f.).

El artículo “Human airway organoids and microplastic fibers: A new exposure model for emerging contaminants” muestra cómo se obtuvieron organoides de las vías respiratorias humanas a partir de biopsias de pulmón de donantes sanos para evaluar los efectos de las fibras de material

particulado inhaladas y depositadas. Según este estudio se observó que las fibras de microplásticos pueden ingresar e incrustarse en las células durante la fase de reparación de lesiones del epitelio pulmonar. La interacción de los microplásticos y los organoides no demostró variaciones en la estructura de las células. De igual forma al exponer los organoides a microplásticos se observó una reducción poco significativa de la expresión génica de marcadores epiteliales típicos NKX2.1 y CLDN1 y específicos de la vía aérea SFTPA1, SFTPC, SCGB1A1, NPHP1 y DNAH5. En cuanto a la expresión del gen SCGB1A1 se vio reducida significativamente. Este gen entre otras funciones sirve como biomarcador para controlar la lesión pulmonar. No obstante, aún se desconocen los efectos a largo plazo de las fibras incluidas en el tejido reparado del pulmón (Winkler et al., 2022).

Otro estudio también analizó los posibles efectos de los microplásticos en el cuerpo, específicamente los riesgos de carcinogénesis, y se encontró que de igual manera algunos microplásticos se internalizan en las células por un proceso de corona bimolecular que facilita el transporte de microplásticos dentro de las células. Asimismo, se detalla que existen diferentes motivos del porqué los microplásticos pueden inducir citotoxicidad como las propiedades de acarrear contaminantes en sus superficies especialmente metales pesados y contaminantes orgánicos. Además, se menciona que los microplásticos pueden inducir el estrés oxidativo, la activación de factores inflamatorios genotoxicidad y apoptosis celular. De igual manera, se habla de que los microplásticos interrumpen los mecanismos de reparación del ADN, indicando el potencial genotóxico de estos compuestos. Sin embargo, no se conoce en que cantidades de microplásticos se podrían producir estos efectos en el ser humano, al estar expuestos a cantidades relativamente bajas en comparación a las cantidades que se exponen las líneas celulares para estos estudios. Por último, en esta revisión bibliográfica se concluye que existen diferentes protocolos

de extracción y análisis de microplásticos lo que dificulta la comparación de los resultados y es por esta razón que se recomienda utilizar protocolos estandarizados (Dzierżyński et al., 2024).

En otro estudio realizado por (Nihart et al., 2025a) para determinar la bioacumulación de nano y microplásticos en el cerebro de personas fallecidas se encontró bajas concentraciones especialmente de polietileno. Dicho estudio también verificaba la correlación entre la edad, sexo o raza de los fallecidos con la concentración de las partículas plásticas, pero no se encontró ninguna relación estadísticamente significativa ( $p=0.01$ ). Para concluir, el estudio encontró que algunos de los fallecidos poseían un diagnóstico documentado de demencia, lo cual deja en claro la necesidad de realizar más estudios para determinar la relación que podría tener la bioacumulación de estas partículas en el cerebro y el desarrollo de demencia.

En el estudio “Microplastic particles in human blood and their association with coagulation markers” se analizó muestras de sangre de 36 participantes adultos. Se identificó que existía microplásticos en el 88,9% de los participantes, con una concentración media de 4,2% Microplásticos/ml. Un nivel elevado de microplásticos en sangre ( $>3$  Microplásticos/ml) se asoció con un aumento de proteína C reactiva de alta sensibilidad, incremento de fibrinógeno y una ampliación del tiempo de tromboplastina parcial activada. También se identificó que los tipos de plásticos predominantes era el poliestireno y polipropileno. Los hallazgos en este artículo sugieren que la presencia de concentraciones elevadas de microplásticos en la sangre podría alterar la homeostasis de la coagulación y favorecer procesos inflamatorios dando lugar a posibles riesgos cardiovasculares (Lee et al., 2024).

En el trabajo de titulación “Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes” se encontró que en existía una correlación

positiva mínima entre la edad de los participantes y las características morfológicas de los microplásticos presentes en muestras de orina. Dicho de otra forma, mientras más aumentaba la edad de los participantes se encontraba mayor concentración de fibras. De igual forma, se analizó la correlación entre la edad de los participantes y la concentración de microplásticos dando como resultado una correlación positiva baja. Para este estudio se tenían 2 grupos de edad de 17-23 años y mayores a 23 años en los cuales además de analizar las correlaciones se identificó los tipos de plásticos predominantes, siendo el tereftalato de polietileno el más abundante en un porcentaje de 49,42% en participantes de 17 a 23 años de edad, mientras que en participantes mayores a 23 años de edad el más abundante era el nylon con 31,11% seguido por el tereftalato de polietileno con el 28,88% (Siguencia & Emilia, s. f.).

Una investigación adicional evalúa la eficacia de las técnicas de espectroscopía FTIR y Raman para la identificación de microplásticos en muestras de alimentos. En dicho estudio, se emplearon estas técnicas cuando el tamaño de las partículas superaba los 50  $\mu\text{m}$  en el caso de FTIR y los 10  $\mu\text{m}$  para Raman, lo cual pone de manifiesto las limitaciones en cuanto a su umbral de detección. Cabe destacar que algunas partículas con posible efecto tóxico presentan tamaños inferiores a estos límites, lo que genera una discrepancia entre la presencia real de microplásticos y los datos detectables mediante estas metodologías (Kwon et al., 2020). No obstante, la espectroscopía FTIR y Raman continúan siendo ampliamente utilizadas debido a su elevada precisión y capacidad para identificar composiciones poliméricas específicas.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Plásticos**

Los plásticos son polímeros sintéticos, la mayoría de ellos provienen de fuentes petroquímicas y se forman mediante la polimerización de monómeros. Con el paso del tiempo, estos plásticos pueden fragmentarse y degradarse, dando lugar a partículas de menor tamaño conocidas como microplásticos que pueden acumularse y persistir en el ambiente y organismos vivos. A pesar de que los plásticos han mejorado la calidad de vida de las personas el uso cotidiano y su eliminación inadecuada ha causado una grave contaminación para el medio marino y terrestre, así como de la atmósfera (Chang et al., 2022).

Las diferentes formas de polimerización dan lugar una gran variedad de productos con distintas propiedades como la polaridad y vidriosidad (Chang et al., 2022). Los polímeros plásticos pueden tener diferentes clasificaciones dependiendo de los enfoques, según el Sistema de Codificación de Identificación de Resina (RIC) los plásticos se clasifican en 7 categorías: PET o tereftalato de polietileno, HDPE o polietileno de alta densidad, LDPE o polietileno de baja densidad, PVC o cloruro de polivinilo, poliestireno o PS, PP o polipropileno, entre otros (García Rellán et al., 2023a). Los plásticos también se pueden clasificar dependiendo de su tamaño en macroplásticos (>25mm), mesoplásticos (miden entre 5 – 25 mm), los microplásticos (<5mm) y los nanoplásticos (1000 nm o 100 nm) (García Rellán et al., 2023a).

### **2.2.2 Microplásticos**

El concepto de los microplásticos surgió en 2004, haciendo alusión a fragmentos y partículas de plástico de menos de 5 mm de diámetro, que representan materiales mezclados de forma heterogénea con diferentes formas que incluyen pellets, fibras o perlas (K. Zhao et al., 2022). Los microplásticos se pueden clasificar en primarios o secundarios, siendo los primarios aquellos microplásticos producidos intencionalmente para procesos industriales y médicos, productos de

consumo, agricultura y demás; los microplásticos secundarios en cambio se producen debido a la fragmentación y degradación de los macroplásticos residuales presentes en el entorno (García Rellán et al., 2023a).

### **2.2.2.1 Microplásticos como contaminantes emergentes**

La prevalencia de los microplásticos en el entorno va generando una creciente preocupación por sus posibles efectos e impacto en el medio ambiente. Estos microplásticos se distribuyen en los océanos, atmósfera y el suelo o sistema terrestre (K. Zhao et al., 2022). La contaminación del suelo depende de las cantidades y propiedades de los microplásticos. La alteración del suelo por microplásticos se asocia a las concentraciones y tipos de microplásticos, los cambios en la mecánica del suelo y los microorganismos (Chia et al., 2022).

Los microplásticos que se encuentran en contacto con el agua son absorbidos por diferentes organismos acuáticos como el plancton, algas y mariscos. También se han detectado en los intestinos de animales marinos grandes como peces y tortugas, e invertebrados (Chang et al., 2022).

### **2.2.2.2 Microplásticos en ríos y océanos**

Los microplásticos son transportados desde zonas urbanas e industriales hacia los cuerpos de agua, por escorrentías generadas en la lluvia, aguas residuales y actividades del ser humano. Los ríos también funcionan como vías de transporte, conectando al ambiente terrestre con el oceánico. Se estima que entre 0.41 y 4 millones de toneladas de plásticos ingresan anualmente al mar por esta vía (Meijer et al., 2021).

Los microplásticos encontrados en el lecho marino son producto de la degradación de redes de pesca, bolsas plásticas, recipientes, bolsas de té, botellas plásticas y llantas de automóviles

(Kushwaha et al., 2024). Ya dentro de los océanos los microplásticos se acumulan principalmente en la superficie y en puntos de convergencia oceánica, donde pueden persistir durante varios años (S. Zhao et al., 2025). Además, partículas más densas se hunden y se acumulan en los sedimentos marinos profundos, donde pueden representar hasta un 5 % del carbono orgánico particulado (Harris, 2020). La contaminación marina con microplásticos representa una amenaza para la biodiversidad, ya que los organismos marinos pueden ingerir estas partículas, afectando la cadena alimentaria (Cózar et al., 2014).

### **2.2.2.3 Microplásticos en alimentos**

Los microplásticos han sido detectados en una amplia variedad de alimentos, en especial aquellos que provienen del mar como los mejillones, ostras y pescados, los cuales, al ser ingeridos, pueden bioacumular los microplásticos dentro de su organismo (Mir et al., 2025). No obstante, no solo los alimentos provenientes del mar representan la única vía de ingesta de microplásticos. Otras fuentes son los alimentos procesados y productos de uso cotidiano, incluso el té puede contener demasiadas partículas por ración (Hernandez et al., 2019). Un estudio demostró que consumir una infusión de té que ha sido empaquetada en una bolsa plástica puede aportar con 2.3 millones de partículas de microplásticos (Hernandez et al., 2019).

Incluso los alimentos que se cosechan en granjas pueden contener microplásticos, debido al procesamiento y empaque de los mismos, a pesar de que raramente estos alimentos contienen dichas partículas (Barceló et al., 2023a). Si bien los efectos sobre la salud humana aún se investigan, existe preocupación por su posible impacto a nivel gastrointestinal, inmunológico y endocrino la incertidumbre en cuanto a las cantidades de microplásticos que consumimos día a día es alarmante (Senathirajah et al., 2021).

#### **2.2.2.4 Microplásticos en agua potable**

El agua superficial que normalmente es utilizada para potabilizarla contiene microplásticos, mayormente partículas de 0.1 mm y 0.02 mm (Chandra & Walsh, 2024). Tanto el agua de grifo como el agua en botellas plásticas contienen microplásticos en diferentes cantidades. Estudios muestran que el agua de grifo puede contener alrededor de 5.5 por litro en promedio y más de 300 partículas por litro en el agua embotellada (Koelmans et al., 2019).

Más recientemente, se ha reportado que el agua embotellada puede contener hasta 240,000 partículas por litro, cuando se incluyen también nanoplasticos, es decir, partículas de menos de 1  $\mu\text{m}$  (Qian et al., 2024). La exposición humana a microplásticos a través del agua potable es una preocupación creciente, aunque organismos como la OMS reconocen que aún no hay suficiente evidencia sobre sus efectos directos sobre la salud. El aumento de la cantidad de plásticos y con ello el aumento de contaminación por los mismos y la degradación en microplásticos hace evidente la necesidad por desarrollar más estudios (Novotna et al., 2019).

#### **2.2.2.5 Microplásticos en el aire**

Los microplásticos también están presentes en el aire ambiente, tanto en espacios abiertos como cerrados. Las principales fuentes de emisión incluyen la abrasión de textiles sintéticos, polvo urbano, neumáticos y procesos industriales (Gasperi et al., 2018). En los espacios interiores, la concentración puede ser mayor debido a la acumulación de fibras provenientes de ropa, alfombras y muebles, lo que aumenta el riesgo de inhalación (Mehta & Kozielska, 2024). Incluso el uso de

mascarillas durante la pandemia de COVID-19 pudo haber tenido algunas implicaciones en la cantidad de microplásticos inhalados (Zhou et al., 2022).

Estudios han demostrado que una persona puede inhalar o ingerir por vía aérea entre 1.6 a 12.6 MP/m<sup>3</sup> (Torres-Agullo et al., 2021). De entre todos los estudios, además, se ha reportado que existe la presencia abundante del PE, PS, PP y PA, no obstante, algunos estudios no presentan el tipo de polímero encontrado. También se ha evidenciado que los microplásticos presentes en la superficie marina pueden ser devueltos a la atmósfera por acción del viento y el oleaje, en forma de aerosoles marinos que son inhalados por las personas cercanas a las playas (Zhou et al., 2022).

### **2.2.3 Microplásticos en el cuerpo humano**

La primera vez que se detectaron microplásticos en el cuerpo humano fue en heces, lo que evidenció su ingreso a través de la dieta, pero a diferencia de las otras vías de acceso, los microplásticos presentes en alimentos pueden ser excretados mediante el trato gastrointestinal (Leslie et al., 2022). Otros estudios han confirmado su presencia en otros fluidos y tejidos como la sangre, la placenta, el hígado y los pulmones (Dzierżyński et al., 2024; Leslie et al., 2022).

El hecho de haber reportado recientemente la presencia de microplásticos en la placenta humana hace que se genere preocupación sobre el posible efecto negativo de este contaminante en la salud de las mujeres y sus hijos (Sharma et al., 2024). Además de estos órganos y fluidos (Nihart et al., 2025a) reportaron la presencia de microplásticos en cerebros de personas fallecidas. Estos hallazgos revelan que los microplásticos pueden atravesar barreras biológicas y acumularse en órganos internos. En la sangre, los microplásticos pueden estar presentes en forma de partículas de

poliestireno, polietileno y polipropileno, siendo transportados mediante la unión a proteínas plasmáticas o adsorción en células (Wright & Kelly, 2017).

Su origen puede estar relacionado con la ingesta de alimentos y agua contaminada, la inhalación de partículas en suspensión o la exposición dérmica mediante productos cosméticos y textiles (Giri et al., 2024). La presencia de estos contaminantes plantea interrogantes sobre su bioacumulación y efectos a largo plazo en la salud humana.

### **2.2.3.1 Toxicidad de los microplásticos**

La toxicidad de los microplásticos en humanos aún se encuentra en investigación, pero estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que estas partículas pueden inducir estrés oxidativo, inflamación celular, apoptosis y disfunciones inmunológicas (Usman et al., 2022). Además, pueden actuar como vectores de contaminantes orgánicos persistentes (COPs), metales pesados o patógenos, amplificando sus efectos tóxicos (Wright & Kelly, 2017).

Dependiendo de su tamaño, los nanoplásticos (<1000 nm) tienen mayor capacidad para atravesar membranas celulares y barreras fisiológicas como la hematoencefálica y la placentaria, lo cual aumenta su potencial de riesgo (Kopatz et al., 2023). Además estos nanoplásticos pueden ser adheridos a diferentes moléculas lo que facilita su paso a través de las membranas, llegando así, incluso al cerebro en unas pocas horas (Kopatz et al., 2023). Asimismo, se ha observado que pueden afectar la reproducción celular y alterar funciones endocrinas (Wang et al., 2024).

Las partículas inhaladas en el aire podrían causar inflamación pulmonar y fibrosis dependiendo del origen de las mismas, por ejemplo el desgaste de los neumáticos genera microplásticos y nanoplásticos que pueden ser inhalados y causar un posible aumento de citocinas

que inducen estrés oxidativo, fibrosis y disminuir la capacidad de ventilación (Santoro et al., 2024). No obstante, a pesar de haber llevado a cabo diferentes análisis en modelos animales para evaluar la toxicidad de los microplásticos se desconoce cómo su interacción con el sistema endocrino y respiratorio se convierte en tóxica (Usman et al., 2022).

### **2.3 Marco conceptual**

**Microplásticos:** Son partículas sólidas sintéticas, con formas regulares o irregulares que poseen un tamaño entre 1µm a 5mm, de origen primario (principalmente productos fabricados como cosméticos) y secundarios (fragmentación ambiental) y no solubles en agua. Estas partículas se encuentran de forma urbana en cuerpos de agua, aire, suelos y en tejidos humanos como la sangre, pulmones, leche materna, placenta y demás.

**Nanoplásticos:** Los nanoplásticos son partículas plásticas menores a 1 µm (1 a 1000 nm), una subcategoría de microplásticos, caracterizados especialmente por su comportamiento coloidal y alta capacidad para penetrar barreras biológicas. Se generan por degradación rápida de microplásticos y pueden distribuirse sistemáticamente incluso al nivel celular o tisular.

**Extracción sanguínea:** La extracción de sangre venosa o capilar requiere protocolos estandarizados, incluyendo preparación del sujeto, uso de torniquete, punción con aguja estéril y recolección en tubos con anticoagulante (EDTA) o tapa lila para garantizar la calidad y preservación. Las muestras deben almacenarse a temperatura controlada (4°C).

**Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR):** La espectroscopía FTIR es una técnica analítica que permite identificar compuestos al medir cómo una muestra absorbe la

radiación infrarroja. Esta absorción se convierte matemáticamente en un espectro que revela la posible estructura química del material analizado.

**Microscopía de fluorescencia invertida:** La microscopía de fluorescencia invertida es una técnica que permite observar muestras desde abajo, lo que la hace útil para el análisis de materiales en suspensión en líquidos o matrices biológicas. En el caso de los microplásticos se debe utilizar el colorante Rojo de Nilo (Nile Red), el cual tiene cierta afinidad por los microplásticos, de tal manera que, al teñir las muestras con este colorante, los microplásticos emiten fluorescencia bajo ciertos filtros de luz que posee el microscopio. Esto mejora en gran medida la detección de dichas partículas entre otros compuestos orgánicos.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### **3.1 Nivel de investigación**

La presente investigación se ubica dentro de un nivel descriptivo correlacional, ya que su propósito principal es caracterizar la presencia y distribución de los microplásticos en la sangre humana, así también detallar el cómo varían estas características según las variables demográficas como la edad y el sexo de los participantes. Este enfoque permite elaborar un “retrato” de la situación actual sin intervenir ni manipular las variables.

#### **3.2 Diseño de investigación**

El presente estudio se enmarca dentro de la investigación descriptiva, y utiliza dos diseños complementarios: documental y de campo. El diseño documental se basa en la revisión y análisis de fuentes científicas actuales relacionadas con la presencia de microplásticos en el cuerpo humano, lo cual permitió construir el marco teórico y contextualizar el problema. Por su parte, el diseño de campo resulta adecuado para esta investigación, ya que permite recolectar y analizar datos directamente de muestras reales, sin intervenir ni modificar las condiciones naturales de los participantes. En este caso, se obtuvieron muestras de sangre humana para analizar la presencia de microplásticos, sin manipular los resultados. Este enfoque permitió trabajar con variables como la concentración de microplásticos, la edad y el sexo de los participantes, con el objetivo de identificar posibles correlaciones significativas que revelen patrones de exposición y grupos de riesgo potencial.

### 3.3 Población y muestra

Para el presente estudio se trabajó con una población finita, ya que se conoce con precisión el número total de estudiantes matriculados en la carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca – Ecuador. En este caso la población se encuentra conformada por aproximadamente 100 estudiantes, lo cual permite aplicar procedimientos estadísticos propios para poblaciones pequeñas y delimitadas ( $N < 100\ 000$ ), incorporando un factor de corrección que mejora la precisión del cálculo muestral.

Entonces como se conoce la cantidad exacta de estudiantes de la carrera se procede a utilizar la siguiente fórmula para calcular el tamaño de muestra finita y conocer que cantidad de muestras sanguíneas debo recolectar para el estudio:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

Donde “n” es el tamaño de la muestra que buscamos, “Z” es el parámetro estadístico que depende el nivel de confianza, “N” es el tamaño de la población, “e” es el error de estimación máximo aceptado, “p” es la probabilidad de que ocurra el evento (éxito) y “q” es la probabilidad de que no ocurra el evento (fracaso).

Para definir el valor de p, se tomó como referencia el estudio de Huang et al. (2024), publicado en *Ecotoxicology and Environmental Safety*, en el cual se analizaron muestras de sangre de 20 adultos sanos y se detectaron microplásticos en el 90 % de los casos (18 de 20 individuos)

(Huang et al., 2024). Con base en este estudio se estableció  $p = 0.9$  y su complemento  $q = 0.1$ , valores que reflejan una alta probabilidad de que ocurra el evento.

Para la estimación del margen de error se utilizó un valor de la desviación estándar de 0.158, el cual se definió con base a los resultados presentados por Santos et al. (2023) y Martínez-Galindo & Ruiz (2022), quienes reportaron desviaciones estándar de 0.152 y 0.164 respectivamente. A partir de estos valores, se estimó el error de estimación máximo de 8.62%, considerando adecuado para estudios con poblaciones pequeñas y condiciones limitadas, lo que se encuentra dentro del rango aceptable para este tipo de investigaciones.

El nivel de confianza se fijó en 95 %, ya que es el más común en investigación biomédica y ambiental, ya que permite equilibrar precisión y relevancia estadística. El valor crítico correspondiente en la distribución normal estándar es  $Z = 1.96$ , apropiado para este nivel de confianza.

Después de reemplazar los valores en la fórmula y desarrollar el cálculo, se obtuvo un tamaño de muestra era 31.973, por lo que se redondeó y fijó en 32 participantes (16 mujeres y 16 hombres).

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para esta investigación se empleó como principal técnica el análisis documental, el cual permitió recopilar y examinar la información disponible en bases de datos especializadas como PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar. Dentro de este proceso, se empleó adicionalmente la técnica de análisis de contenido para identificar patrones, conceptos clave y enfoques metodológicos en estudios previos. Para facilitar esta tarea se utilizó el gestor

bibliográfico Zotero como instrumento para importar y organizar las referencias, así como para generar citas y bibliografía de manera estandarizada.

En cuanto al diseño de campo, la técnica principal fue la observación sistemática, aplicada durante las fases de toma de muestras y posterior análisis en laboratorio. Para la recolección de datos demográficos, se utilizó como instrumento un listado con los datos correspondientes al número de muestra, edad y sexo de cada participante. Durante la fase experimental, se emplearon diversos instrumentos y equipos de laboratorio, entre ellos: tubos de ensayo, filtros de membrana de nitrocelulosa, un sistema de microfiltración al vacío y materiales para la digestión de muestras (soluciones químicas específicas). Para la identificación de las características de los microplásticos, se utilizaron técnicas como la microscopía de fluorescencia invertida y la espectroscopía infrarroja FTIR.

### **3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Una vez recolectados los datos, se procedió a organizarlos en diferentes tablas, clasificando la información según cada una de las variables analizadas: cantidad, tamaño, morfología y tipo de polímero. En cada tabla se incluyó el número de muestra, el sexo (M o F), el grupo etario y las características específicas de los microplásticos detectados en las muestras de sangre. Esta estructura permitió tener una visión clara de los datos antes de iniciar con el análisis estadístico.

Después, se utilizó el software estadístico RStudio para procesar y analizar los datos. En primera instancia, se realizó un análisis descriptivo, que incluyó el cálculo de medidas de tendencia central como la media y mediana, así como las medidas de dispersión como la desviación estándar y los valores mínimos y máximos. Estos resultados se complementaron con diferentes gráficos, principalmente gráficos de barras que facilitaron la visualización de la distribución de datos por

grupo etario y sexo. Para analizar la correlación de las variables de salida (tamaño, cantidad, morfología y tipo de polímero) con las variables de entrada edad (agrupada por grupo etario) y sexo (M o F), se aplicaron pruebas estadísticas acordes a la naturaleza de los datos. Para el caso de las variables cantidad, tamaño y morfología, se utilizó la prueba de correlación de Spearman, dado que algunas de estas variables como sexo y morfología, son de tipo categórico y no cumplen con el supuesto de normalidad. Por otro lado, para la variable tipo de polímero al tratarse de una variable categórica con múltiples niveles, se empleó la prueba de chi-cuadrada de independencia con el fin de evaluar su posible asociación con la edad y el sexo.

En general, estas herramientas permitieron analizar de forma ordenada y objetiva los posibles patrones entre las características de los microplásticos detectados y las variables demográficas consideradas en el estudio.

### **3.6 Protocolo a implementar**

#### **3.6.1 Obtención de las muestras sanguíneas**

Según el tamaño de la muestra, se buscó 32 participantes (16 mujeres y 16 hombres. A cada participante se le hizo llenar un acta de consentimiento informado con el fin de obtener su autorización para la recolección de la muestra de sangre, así como para comunicar e informar los procedimientos a realizar y fines de la investigación.

Por cada participante se obtuvieron 4 mL de sangre en tubos con anticoagulante (EDTA) y las muestras fueron almacenadas en refrigeración (aproximadamente 4 °C) hasta su posterior uso.

#### **3.6.2 Preparación de reactivos y materiales**

Se prepararon las diferentes soluciones a utilizar incluyendo SDS al 0.1%,  $\text{FeSO}_4$  0.05M,  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 3% v/v y NaCl 2M. Cada solución a utilizar se filtró utilizando un sistema de microfiltración al vacío y filtros de membrana de nitrocelulosa con poro de  $0.45 \mu\text{m}$  de la marca comercial *chm by CHMLAB Group* y se guardaron en materiales de vidrio previamente enjuagados con éter etílico, un solvente volátil que puede arrastrar los microplásticos presentes en la superficie del material. Este paso fue fundamental ya que reduce gran parte de los microplásticos presentes en reactivos y material de vidrio.

### **3.6.3 Preparación de las muestras sanguíneas recolectadas**

Se tomaron 1 mL de sangre de cada tubo de muestra y se mezcló con 3 mL de detergente SDS al 0.1%. Esta mezcla fue incubada durante 10 minutos a  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  en una estufa de laboratorio. Este paso permitió iniciar con la disolución de los componentes orgánicos presentes en la sangre, facilitando la posterior liberación de microplásticos.

### **3.6.4 Tratamiento por ultrasonido**

Después de la incubación, las muestras fueron sometidas a ultrasonido a 30 KHz y  $37 \text{ }^\circ\text{C}$ . El procedimiento consistió en ciclos de 15 segundos de inmersión de las muestras dentro del ultrasonido seguidos de 10 segundos de descanso, repetidos continuamente durante 7 minutos. Esta etapa favorece la fragmentación celular y la liberación de microplásticos.

### **3.6.5 Reacción de Fenton (modificada)**

En el siguiente paso se diluyó cada muestra con 6 mL de agua ultrapura o Milli-Q (previamente filtrada). A continuación, se agregó 0.5 mL de  $\text{FeSO}_4$  al 0.05 M y se ajustó el pH a 4

con HCL 0.1M. Luego se agregó 0.25 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%(v/v) y se llevó a calentar en una hornilla por 30 minutos a 75°C.

Transcurridos 15 minutos de calentamiento, se agregó otros 0.25 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 3%(v/v). El ajuste del pH es un paso fundamental ya que mejora la reacción de Fenton, generando radicales hidroxilos (-OH) altamente reactivos que ayudan a oxidar la materia orgánica residual.

### **3.6.6 Precipitación y decantación**

Continuando con el proceso se agregó 0.5 mL de NaCl al 2M para favorecer la precipitación de los compuestos orgánicos y se dejó decantar en tubos de ensayo durante 72 horas en un lugar fresco y protegido de la luz. Al final de este proceso se observó un precipitado con la materia orgánica y una parte acuosa. Para el siguiente paso se obtuvo solamente la parte acuosa sin tocar el precipitado, ya que en la parte acuosa se encuentran los microplásticos.

### **3.6.7 Filtración de las muestras decantadas**

El sobrenadante obtenido en el paso anterior se dividió y filtró, utilizando 1 filtro de membrana de nitrocelulosa de poro de 0.45 µm por cada mitad del sobrenadante. A continuación, se dejó secar el filtro dentro de una caja Petri a temperatura ambiente y durante 1 día. Se debe tener en cuenta que cuando se seca el filtro este tiende a pegarse a la superficie del recipiente donde se encuentra y se puede llegar a romperse.

### **3.6.8 Tinción de las muestras**

Los filtros secados se tiñeron con rojo de Nilo y se dejó secar durante 30 minutos dentro de una caja Petri a temperatura ambiente. Este paso debe realizarse con cuidado, ya que los filtros tienden a arrugarse al aplicar el rojo de Nilo. Se recomienda realizar la visualización de las muestras

el mismo día de la tinción, con el fin de evitar deterioros en la estructura del filtro o disminución de la tinción que pueda interferir con la observación microscópica o con la detección de partículas fluorescentes.

### **3.6.9 Análisis de las muestras bajo el microscopio invertido de fluorescencia**

Ahora cada filtro fue colocado en portaobjetos con la cara hacia abajo. Las partículas que emitían brillo amarillo-naranja bajo la luz roja del microscopio de fluorescencia fueron marcadas cuidadosamente con un lápiz de grafito para facilitar su posterior localización y confirmación estructural en el equipo FTIR. Se registró cada partícula sospechosa, tanto su morfología, como su tamaño, y la cantidad total por muestra expresada en partículas por mililitro (MP/mL) de sangre.

### **3.6.10 Caracterización de los microplásticos mediante espectroscopía infrarroja FTIR**

Dentro del análisis de microplásticos este paso resultó fundamental, debido a que con este equipo se descartaba aquellas partículas que no eran microplásticos. Para empezar cada filtro se colocó con precisión en el haz de luz del equipo FTIR utilizando la punta de muestras sólidas. Luego, se analizaron los espectros obtenidos con la biblioteca estándar del propio equipo

### **3.6.11 Registro de resultados**

Todos los resultados obtenidos tanto en el microscopio invertido de fluorescencia como en el equipo FTIR se registraron en una tabla en Excel para su posterior análisis estadístico.

### **3.6.12 Análisis estadístico**

Utilizando los datos antes recolectados se elaboraron diferentes tablas indicando el número de muestra, el sexo (M/F), la edad y las distintas características de los microplásticos. Con estas

tablas se procedió a realizar un análisis descriptivo, calculando las medidas de tendencia central (media y mediana) y de dispersión (desviación estándar, mínimo y máximo) para las variables cuantificables, como la cantidad y el tamaño de los microplásticos. Asimismo, se aplicaron herramientas gráficas como diagramas de caja y gráficos de barras para representar la distribución de estas variables según los grupos etarios y el sexo, facilitando la visualización de patrones o valores atípicos. Este análisis preliminar permitió establecer una base comparativa. Posteriormente se analizaron las correlaciones entre las variables demográficas edad (agrupada por grupo etario) y sexo con las características de los microplásticos presentes en las muestras.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 Caracterización de los microplásticos mediante microscopía de fluorescencia**

En esta sección se presentan los resultados relacionados con la morfología, tamaño y la cantidad de microplásticos detectados en muestras de sangre, utilizando microscopía invertida de fluorescencia y la tinción Rojo de Nilo.

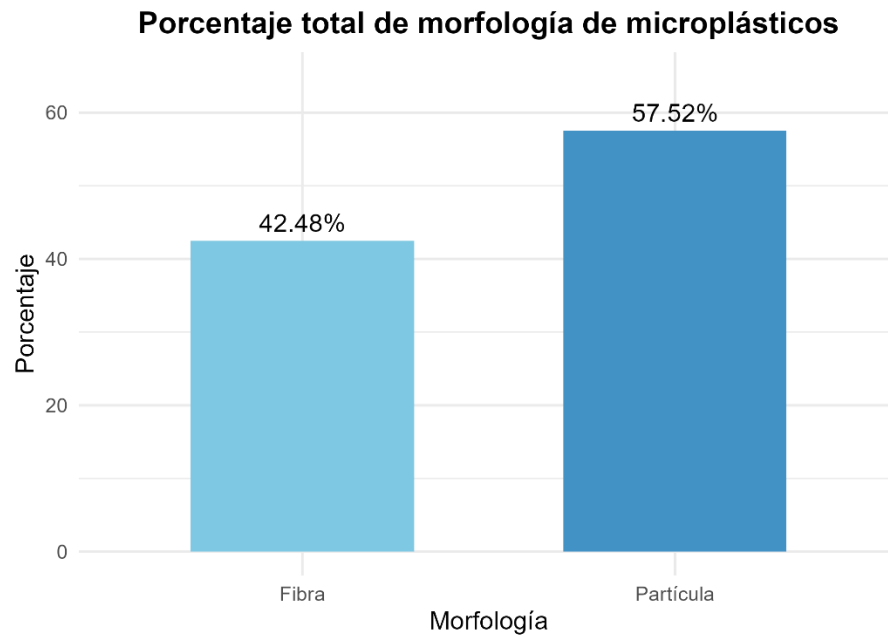
##### **4.1.1 Características morfológicas de los microplásticos**

En cuanto a la morfología, los microplásticos detectados fueron clasificados en dos categorías principales: fibras y partículas. Esta clasificación se llevó a cabo mediante observación directa con microscopía de fluorescencia, considerando criterios como la forma y el contorno de cada estructura. La información detallada se encuentra registrada en las hojas de cálculo ubicadas en los anexos (ver anexo 1 y 2).

A partir de estos datos, se elaboraron gráficos descriptivos y se aplicaron fórmulas estadísticas con el fin de analizar la distribución morfológica general, así como su comportamiento en función del grupo etario y del sexo. A continuación, se presentan los gráficos que ilustran estos resultados.

**Figura 1**

*Porcentaje total de morfología de microplásticos.*

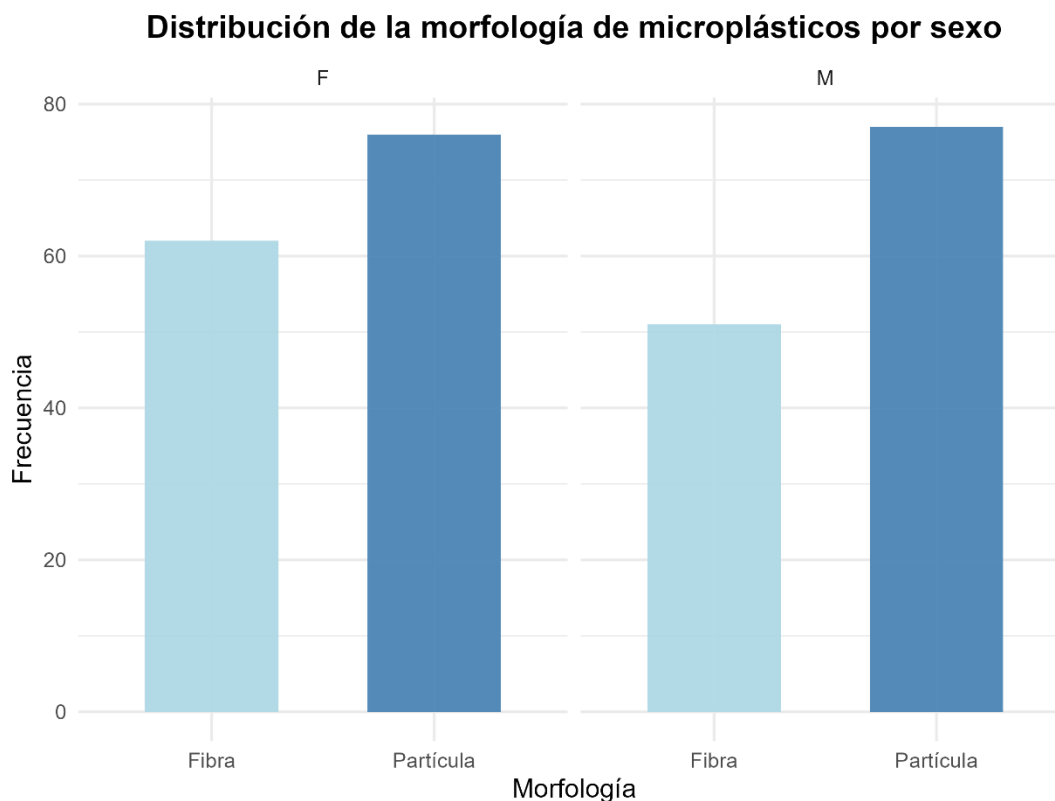


En la figura 1 se observan los porcentajes globales de la morfología de los microplásticos de las muestras de sangre, diferenciando entre dos tipos principales: fibras y partículas. Se observa que las partículas representan un porcentaje notablemente mayor (57.52 %) en comparación con las fibras (42.48 %), lo que sugiere que puede haber una mayor fragmentación secundaria, degradación mecánica o transformación metabólica.

Este comportamiento de fragmentación ha sido descrito anteriormente por Ng et al. (2018) y Gewert et al. (2015), quienes indicaron que las fibras pueden romperse o degradarse bajo ciertas condiciones mecánicas o químicas, dando lugar a partículas que pueden moverse más fácilmente dentro de matrices biológicas.

## Figura 2

*Distribución de la morfología de microplásticos por sexo.*



*Nota.* En la Figura 2 se presenta la distribución de la morfología de los microplásticos detectados en sangre, diferenciada por sexo.

Como se observa en la figura 2, tanto en mujeres como en hombres, la morfología particulada muestra una mayor frecuencia que la fibrosa, evidenciando una clara predominancia de las partículas en la población analizada.

En el caso del sexo femenino, se identificaron aproximadamente 75 partículas frente a 63 fibras, mientras que en el sexo masculino se registraron alrededor de 78 partículas y 51 fibras. Esta

tendencia sugiere que, independientemente del sexo, las partículas representan la forma morfológica más común de microplásticos en sangre.

#### 4.1.2 Cantidad de microplásticos encontrados en las muestras de sangre

La cantidad de microplásticos detectado en las muestras de sangre constituye un indicador clave utilizado en diferentes investigaciones sobre el tema para estimar la exposición individual a estos contaminantes. En esta sección se reportan los hallazgos obtenidos de la cuantificación por microscopía de fluorescencia. Se describe el comportamiento general y la distribución de la cantidad según el sexo y los grupos etarios.

Para comenzar se elaboró una tabla con las cantidades aproximadas de microplásticos en sangre (ver anexo 1). De dicha tabla se calculó las medidas de tendencia central como la media mediana y moda, así como las medidas de dispersión (desviación estándar y rango).

**Tabla 2.** Cálculo de las medidas de tendencia central y medidas de dispersión de la cantidad de microplásticos medida en microplásticos por mililitro de sangre (MP/mL).

Media	Mediana	Moda	Mínimo	Máximo	Rango	Desviación estándar
4.15625	4	3.5	1.5	8	6.5	1.499663941

En la tabla 2 se observan valores de microplásticos que oscilan entre 1.5 y 8 partículas por muestra, con un promedio general de 4.16 MP/mL. La mediana (4.0 MP/mL) y la moda (3.5 MP/mL) indican que gran parte de los valores se agrupan alrededor de estos números, aunque el rango es amplio, mostrando cierta dispersión en los datos.

Estos resultados coinciden con los reportados por Lee et al. (2024), quienes detectaron concentraciones aproximados en un rango de 2 a 5 MP/mL de sangre en su muestra de 36

participantes. De igual forma, los valores reportados en el presente estudio entran en el rango descrito por V. L. Leonard et al. (2024), quienes documentaron concentraciones que se encuentran entre 1.6 a 8.1 MP/mL.

**Tabla 3.** Tabla de las medidas centrales y de dispersión de la cantidad de microplásticos en sangre diferenciadas por el sexo de los participantes.

Sexo	Media	Mediana	Moda	Min	Max	Rango	Desviación Estándar
F	4.31	4.25	4.5	2	7	5	1.42
M	4	3.75	3.5	1.5	8	6.5	1.6

En la tabla 3 se observa que las mujeres presentan una media levemente superior (4.31 MP/mL), con respecto a los hombres (4.00 MP/mL), así como valores de mediana (4.25 MP/mL) y moda (4.5 MP/ml) también más altos. Esto sugiere que hay una mayor dispersión en los datos, con una desviación estándar de 1.60, un rango más amplio (6.5) y el valor máximo más alto registrado (8 MP/mL).

**Tabla 4.** Tabla de las medidas centrales y de dispersión de la cantidad de microplásticos en sangre diferenciadas por los grupos etarios.

Grupo Etario	Media	Mediana	Moda	Min	Max	Rango	Desviación estándar
17–20	3.67	3.5	4.5	1.5	6	4.5	1.3
20–23	4.29	3.75	3	2	7	5	1.66
>23	4.41	4.5	3.5	2	8	6	1.51

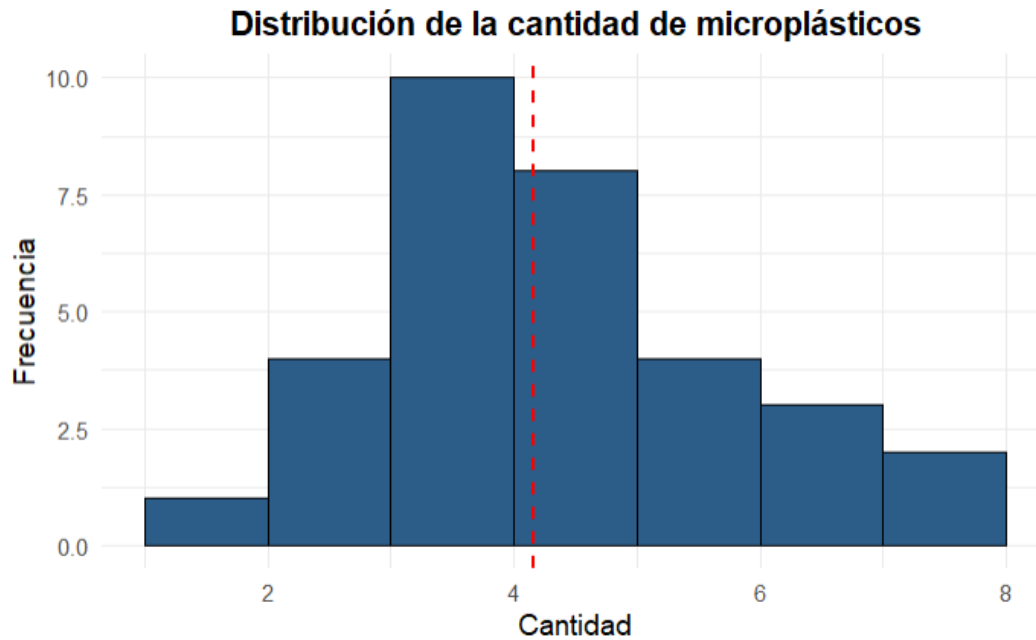
La Tabla 4 presenta los estadísticos descriptivos de la cantidad de microplásticos en sangre diferenciados por grupos etarios. Se observa un incremento progresivo en la media de partículas

conforme aumenta la edad: el grupo de 17 a 20 años presenta una media de 3.67 partículas/mL, el grupo de 20 a 23 años asciende a 4.29 partículas/mL, y el grupo de mayores de 23 años alcanza una media de 4.41 partículas/mL. Este patrón sugiere una posible acumulación o exposición prolongada a microplásticos conforme avanza la edad, lo cual coincide con hipótesis planteadas en estudios previos que relacionan la exposición crónica a contaminantes ambientales con el tiempo de vida (Leslie et al., 2022).

En términos de mediana, se aprecia un comportamiento similar: el valor central aumenta de 3.5 a 4.5 partículas/mL entre los extremos etarios, lo que respalda la tendencia general del aumento. La moda, sin embargo, muestra más variabilidad (4.5, 3, y 3.5), lo que indica cierta dispersión en las frecuencias más comunes dentro de cada grupo, posiblemente reflejando la heterogeneidad en los estilos de vida o fuentes de exposición.

**Figura 3**

*Histograma de microplásticos.*



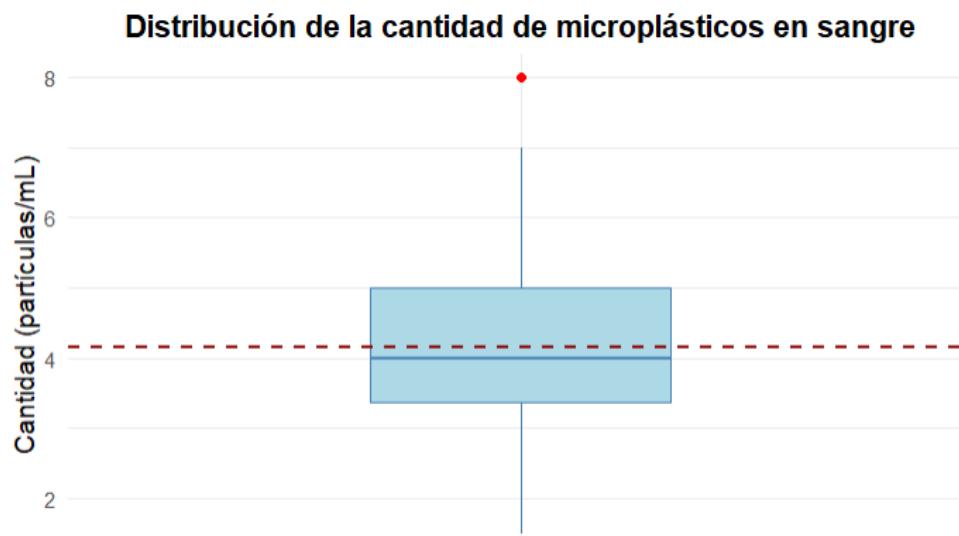
En la figura 3, se observa que la mayor concentración de muestras se encuentra en el rango de 3 a 5 partículas/mL, lo que sugiere que ese intervalo representa la tendencia central del conjunto de datos. Este patrón se ve reforzado por la línea punteada roja, que representa la media aritmética, ubicada cerca del valor 4.

Además, el gráfico revela una ligera asimetría hacia la derecha (sesgo positivo), dado que hay algunas muestras con cantidades superiores a 6 partículas/mL, aunque en baja frecuencia. Esta asimetría puede explicar por qué la media se encuentra levemente desplazada hacia la derecha respecto al pico principal de la distribución (moda).

En conjunto, estos resultados indican que, si bien hay cierta variabilidad en la cantidad de microplásticos entre las muestras analizadas, la mayoría de los individuos presentan niveles moderados, con pocos casos extremos.

#### Figura 4

*Diagrama de cajas de la distribución de la cantidad de microplásticos.*



*Nota.* La caja abarca el rango intercuartílico (Q1–Q3), es decir, el 50 % central de los datos. La línea horizontal dentro de la caja representa la mediana, mientras que la línea punteada en color rojo oscuro indica la media aritmética de la distribución.

Se observa que la mediana se encuentra ligeramente por debajo de la media, lo cual sugiere una distribución levemente sesgada a la derecha. Este sesgo se evidencia también por la presencia de un valor atípico en el extremo superior, correspondiente a una muestra con una cantidad de microplásticos significativamente mayor (aprox. 8 partículas/mL) que el resto de los datos.

La mayoría de las muestras se concentraron en un rango de aproximadamente 3 a 5.5 partículas/mL, lo cual indica una relativa homogeneidad en la exposición, con la excepción del valor atípico mencionado. Esta visualización refuerza la idea de que, aunque existe variabilidad entre individuos, la mayoría presentan concentraciones de microplásticos dentro de un intervalo estrecho.

#### 4.1.3 Tamaño de microplásticos en la sangre

En esta sección se presentan los resultados correspondientes a los tamaños de los microplásticos detectados en las muestras de sangre. Para ello, se empleó un microscopio invertido de fluorescencia, utilizando las herramientas de medición integradas en su software. En el caso de las fibras, se registró su longitud total, mientras que para las partículas se midió el diámetro máximo observable.

Según las mediciones en micrómetros tabuladas en la hoja de cálculo (anexo 2) se procedió a calcular las medidas de tendencia central y de dispersión de la variable tamaño. Los cálculos se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Medidas de tendencia central y medidas de dispersión del tamaño de microplásticos presentes en la sangre.

<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Rango</b>	<b>Desviación Estándar</b>
139.152	43.465	5.65	3	1474.74	1471.74	238.418

En la Tabla 5 se presentan las principales medidas de tendencia central y dispersión del tamaño de los microplásticos presentes en sangre. El tamaño promedio fue de 139.2  $\mu\text{m}$ , mientras que la mediana fue de 43.47  $\mu\text{m}$  y la moda de 5.65  $\mu\text{m}$ , lo que indica que, aunque la media es alta, la mayoría de las partículas tienden a ser considerablemente más pequeñas. Los valores mínimos y

máximos oscilaron entre 3  $\mu\text{m}$  y 1474.74  $\mu\text{m}$ , con un rango de 1471.74  $\mu\text{m}$  y una desviación estándar de 238.42  $\mu\text{m}$ , lo que evidencia una distribución altamente asimétrica con presencia de partículas atípicamente grandes. En la tabla 5 se observa que el tamaño promedio de los microplásticos encontrados en la sangre es de 139.2  $\mu\text{m}$ , valor que resulta más alto con los resultados reportados por V. L. Leonard et al. (2024) y Leslie et al., (2022), quienes registraron rangos de 1.6 a 122  $\mu\text{m}$  dependiendo del tipo de polímero y la técnica utilizada. Esta diferencia podría estar relacionada con las variaciones en los métodos de detección.

**Tabla 6.**

<b>Grupo Etario</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Rango</b>	<b>Desviación estándar</b>
17–20	110.98	24.89	21.11	5.19	681.19	676	176.23
20–23	169.72	58.82	5.65	3.42	1474.74	1471.32	278.39
>23	125.86	39.09	7.43	3	1293.75	1290.75	227.62

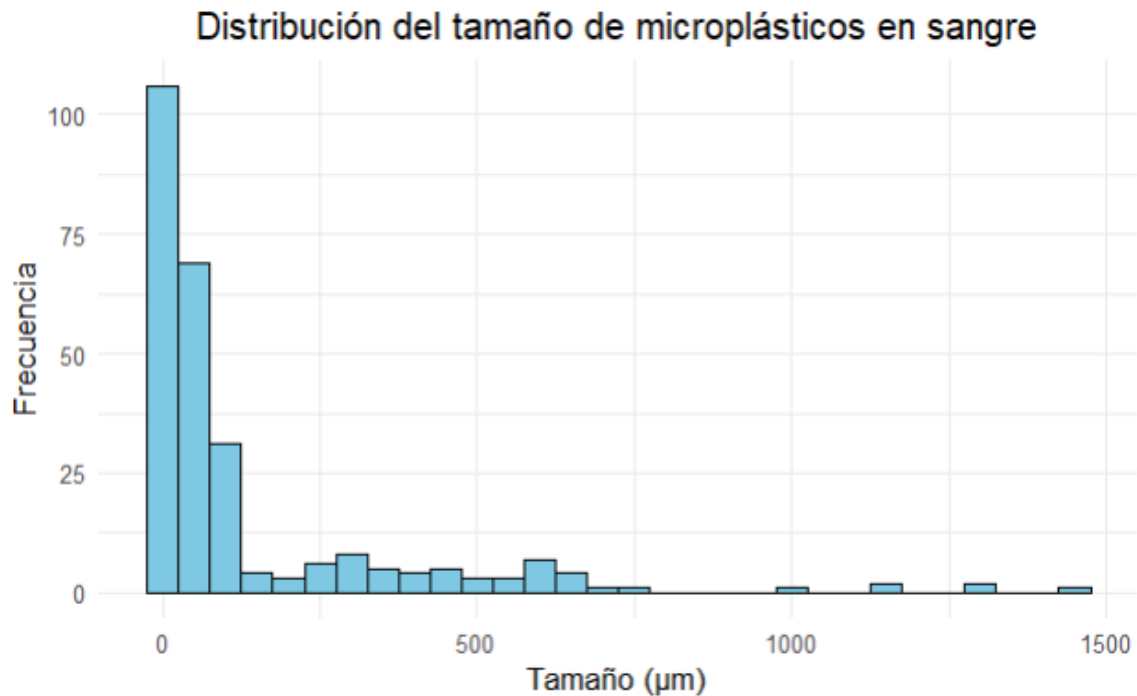
A continuación, se evaluaron las medidas centrales y de dispersión por cada sexo. Esto con el fin de identificar posibles diferencias en la distribución del tamaño de los microplásticos entre hombres y mujeres.

**Tabla 7.** Medidas de tendencia central y dispersión del tamaño de microplásticos en sangre según el sexo.

<b>Sexo</b>	<b>Media</b>	<b>Mediana</b>	<b>Moda</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Rango</b>	<b>Desviación Estándar</b>
F	125.26	38.74	5.65	3.42	1311.74	1308.32	211.78
M	154.13	50.66	14.63	3	1474.74	1471.74	264.18

**Figura 5**

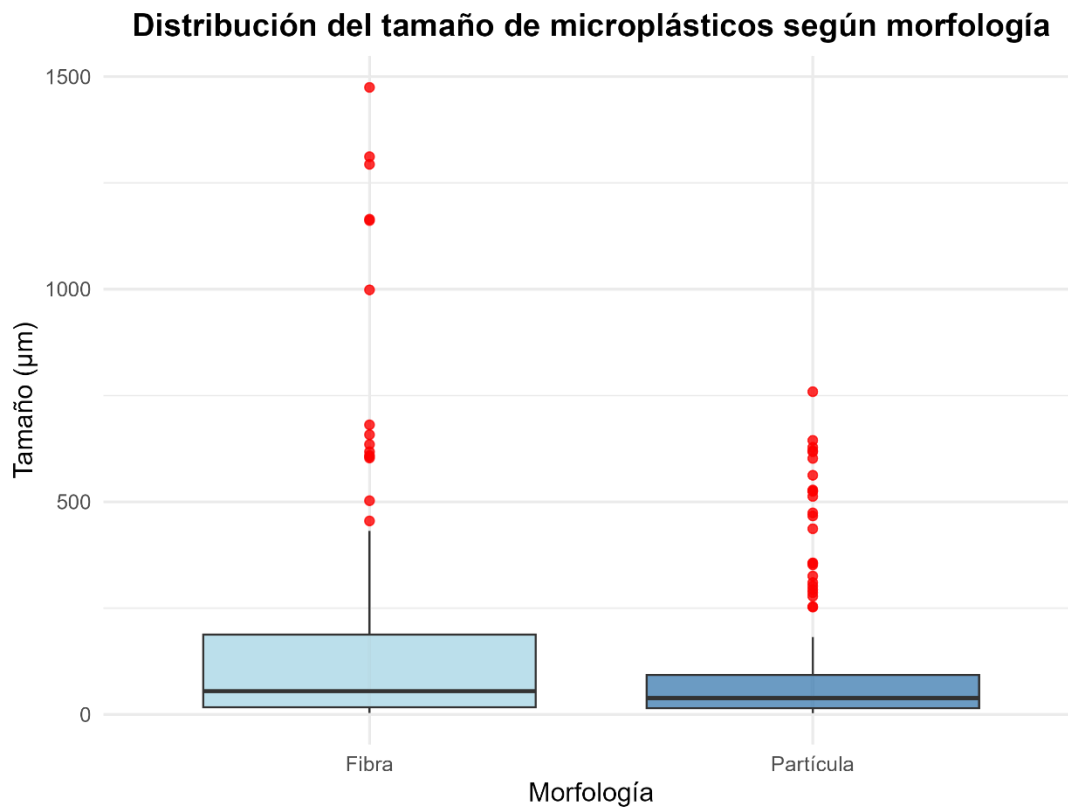
*Distribución del tamaño de microplásticos en sangre.*



La Figura 5 muestra la distribución del tamaño de los microplásticos detectados en las muestras de sangre. Se observa una alta concentración de partículas de tamaño reducido, particularmente por debajo de los 200  $\mu\text{m}$ , lo que indica que los microplásticos pequeños son los más prevalentes en la circulación sanguínea. Sin embargo, también se identificaron valores extremos poco frecuentes que superan los 1000  $\mu\text{m}$ , lo cual genera una distribución asimétrica y sesgada positivamente. Esta tendencia coincide con los valores estadísticos obtenidos, donde la media (139.2  $\mu\text{m}$ ) supera ampliamente a la mediana (43.47  $\mu\text{m}$ ), y respalda la presencia de microplásticos atípicamente grandes en ciertos individuos.

## Figura 5

*Distribución del tamaño de microplásticos en sangre según la morfología.*



El gráfico 5 muestra la distribución del tamaño de los microplásticos según la morfología (fibra o partícula). Se observa que las fibras tienen un rango de tamaños mayor que las partículas. La mediana del tamaño para las fibras es visiblemente mayor que de las partículas, lo cual sugiere que las fibras tienden a tener longitudes superiores en relación con el diámetro de las partículas.

Además, ambas morfologías exhiben un número significativo de valores atípicos (outliers), representados por los puntos rojos. En el caso de las fibras, algunos valores superan los 1500 µm, mientras que, para las partículas, los outliers se ubican principalmente por encima de 300 µm. Estos

datos reflejan una distribución asimétrica y dispersa, especialmente para las fibras, lo cual podría estar relacionado con la naturaleza elongada de esta morfología.

La caja que representa el rango intercuartílico (Q1–Q3) es notablemente más extensa en las fibras, indicando una mayor dispersión en los tamaños típicos. En contraste, las partículas muestran una caja más compacta y valores más cercanos al eje inferior, lo que sugiere una distribución más concentrada en tamaños menores.

Estos resultados confirman que las fibras no solo tienden a presentar mayores tamaños promedio, sino también una mayor variabilidad, lo cual concuerda con lo reportado en la literatura respecto al comportamiento físico de las diferentes formas morfológicas de microplásticos en matrices biológicas. Diversos estudios han señalado que las fibras, debido a su estructura alargada y flexible, tienen un mayor potencial de acumulación, así como una fragmentación más irregular, lo que se traduce en una amplia dispersión de tamaños observados (Wright et al., 2017; Abbasi et al., 2019). Además, se ha documentado que las fibras pueden interactuar de forma diferente con tejidos biológicos, facilitando su retención y transporte dentro del organismo (Leslie et al., 2022; Vethaak & Legler, 2021).

#### **4.2 Identificación química de los polímeros mediante espectroscopía FTIR**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Esta técnica permitió la identificación química de los microplásticos presentes en las muestras sanguíneas, mediante la comparación de sus espectros.

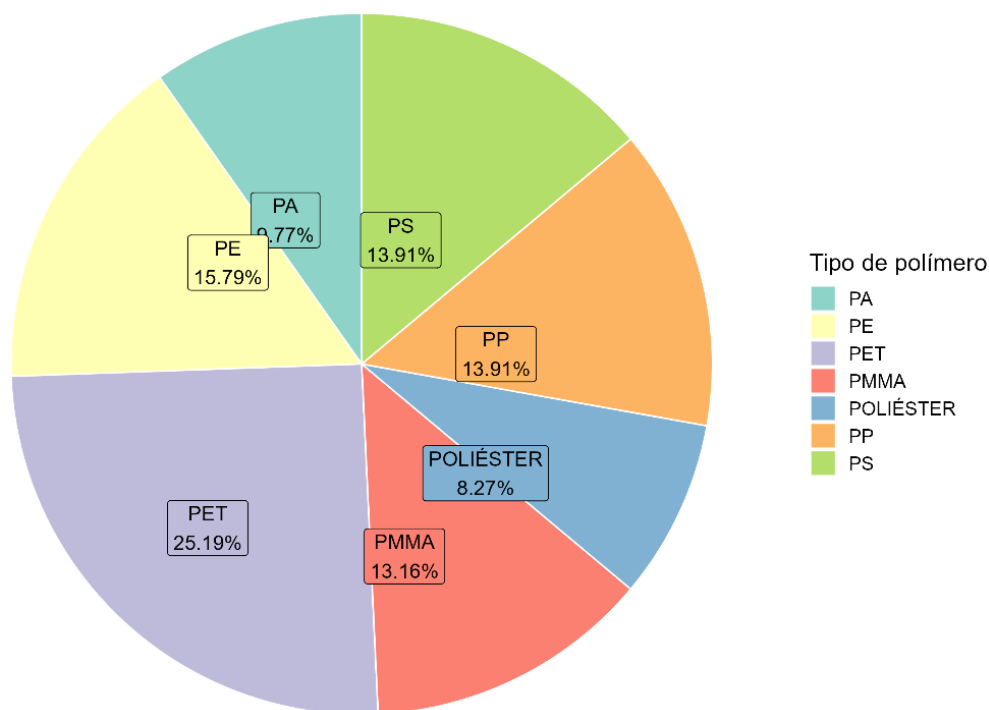
En total se logró identificar siete tipos de polímeros sintéticos: PET (polietileno tereftalato), PE (polietileno), PS (poliestireno), PA (poliamida), PMMA (Polimetilmetacrilato) y Poliéster. Los cuales coinciden con los plásticos comúnmente encontrados en envases, ropas, cosméticos y

productos de consumo diario en general. A continuación, la figura 6 muestra la distribución porcentual general de estos polímeros.

### Figura 6

*Distribución porcentual general de los tipos de polímeros detectados en la sangre humana.*

#### Distribución porcentual de polímeros detectados en sangre



*Nota.* El siguiente gráfico muestra los porcentajes relativos de cada tipo de polímero identificado mediante el análisis espectroscópico FTIR en microplásticos extraídos de muestras de sangre.

De la figura 6 se observa que el PET fue el más abundante con una incidencia del 25.19 %, seguido por el PE con 15.79 %, luego por el PP 13.91 %, el PS 13.91 % y finalmente el PMMA y el PA con 13.16 % y 9.8 % respectivamente. Estos resultados difieren con los reportados por Luqman et al. (2021), quienes identificaron al polietileno de alta densidad (HDPE) como el polímero más predominante en 11 muestras de heces. Asimismo, Capilla-Juárez et al. (2024) informaron de la

presencia de varios polímeros como PET, PE y PS lo que guarda cierta concordancia con los resultados del presente estudio. Esto también contrasta con los resultados de Nihart et al., (2025), que reportó haber encontrado mayormente PE.

### **4.3 Análisis de la correlación entre las características de los microplásticos con la edad y el sexo**

#### **4.3.1. Análisis de la correlación entre la cantidad de microplásticos con la edad**

Para evaluar si existe una relación entre la cantidad de microplásticos detectados en sangre y la edad de los participantes, se aplicó la prueba de correlación de Spearman. Esta prueba es adecuada cuando se desea estudiar la asociación entre una variable numérica (como la cantidad de microplásticos) y una variable categórica con orden (como el grupo etario, clasificado en 17–20, 20–23 y >23 años).

En este análisis se formularon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): no existe correlación entre la cantidad de microplásticos y el grupo etario, es decir, el coeficiente de correlación ( $\rho$ ) es igual a cero.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): sí existe una correlación entre ambas variables, es decir, el coeficiente de correlación ( $\rho$ ) es diferente de cero.

**Tabla 8.** Resultados de la correlación de Spearman para la cantidad de microplásticos vs el grupo etario.

<b>Correlación de Spearman</b>		
<b>S</b>	<b>p-valor</b>	<b>rho (p)</b>
3789.2	0.08907	0.3055

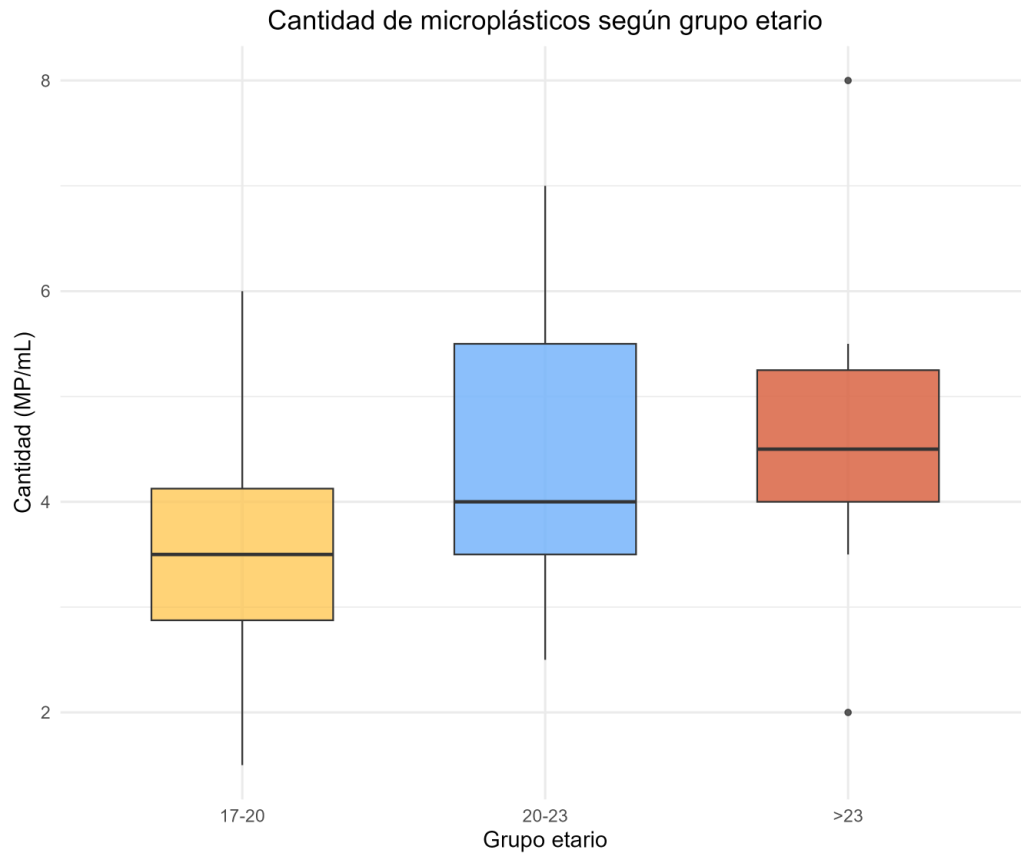
*Nota.* En la tabla 8, S es el estadístico de Spearman utilizado para calcular la prueba. p-valor indica si la correlación es estadísticamente significativa (valores menores a 0.05 suelen considerarse significativos). rho ( $\rho$ ) representa la fuerza y dirección de la correlación: valores positivos indican que ambas variables tienden a aumentar juntas, y valores cercanos a cero indican poca o ninguna relación.

El resultado de la prueba fue un coeficiente de correlación  $\rho = 0.305$ , con un p-valor = 0.089. El coeficiente  $\rho$  representa la fuerza y dirección de la relación entre ambas variables; en este caso, su valor positivo sugiere que la cantidad de microplásticos tiende a aumentar conforme se incrementa el grupo etario.

Sin embargo, como el p-valor es mayor al umbral común de significancia (0.05), no se puede afirmar estadísticamente que exista una correlación significativa al 95 % de confianza. A pesar de ello, el valor obtenido se encuentra cerca del límite de significancia, lo que podría indicar una tendencia moderada que justifica futuras investigaciones con una muestra mayor.

**Figura 7**

*Gráfico de cajas de la cantidad de microplásticos según grupo etario.*



La figura muestra la distribución de la cantidad de microplásticos (MP/mL) en sangre, diferenciada por grupo etario. Se observa que el grupo de 17 a 20 años presenta una mediana más baja en comparación con los otros grupos, mientras que los grupos de 20 a 23 años y mayores de 23 años muestran medianas ligeramente más elevadas.

La dispersión de los datos también varía entre grupos: el grupo de 20 a 23 años muestra una mayor variabilidad (rango intercuartílico más amplio), mientras que el grupo de mayores de 23 años

presenta una distribución más concentrada alrededor de la mediana. No se observan valores atípicos extremos en ningún grupo.

Estos patrones sugieren una posible tendencia creciente en la cantidad de microplásticos con la edad, aunque los resultados del análisis estadístico indicaron que no hay una correlación significativa entre ambas variables (Spearman  $\rho = 0.305$ ,  $p = 0.089$ ).

#### **4.3.2. Correlación de la cantidad de microplásticos por sexo**

Para esta correlación al igual que en la anterior se aplicó la prueba de correlación de Spearman, debido a que la variable sexo es de tipo categórica binaria (con dos niveles: femenino y masculino), la presencia de esta variable impide el uso de métodos paramétricos como la correlación de Pearson.

Para poder aplicar la prueba, el sexo fue codificado como una variable binaria (0 para mujeres y 1 para hombres). En este contexto, si existiera una correlación positiva, indicaría que los valores más altos de cantidad de microplásticos tienden a encontrarse en los hombres (valor 1); mientras que una correlación negativa indicaría mayor cantidad en las mujeres (valor 0). Dado que Spearman no requiere normalidad en los datos, no fue necesario aplicar pruebas de normalidad antes del análisis.

Para este análisis se formularon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existe correlación significativa entre la cantidad de microplásticos detectados en sangre y el sexo de los participantes. Es decir, el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) es igual a cero ( $\rho = 0$ ).
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una correlación significativa entre la cantidad de microplásticos y el sexo de los participantes. Es decir, el coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) es diferente de cero ( $\rho \neq 0$ ).

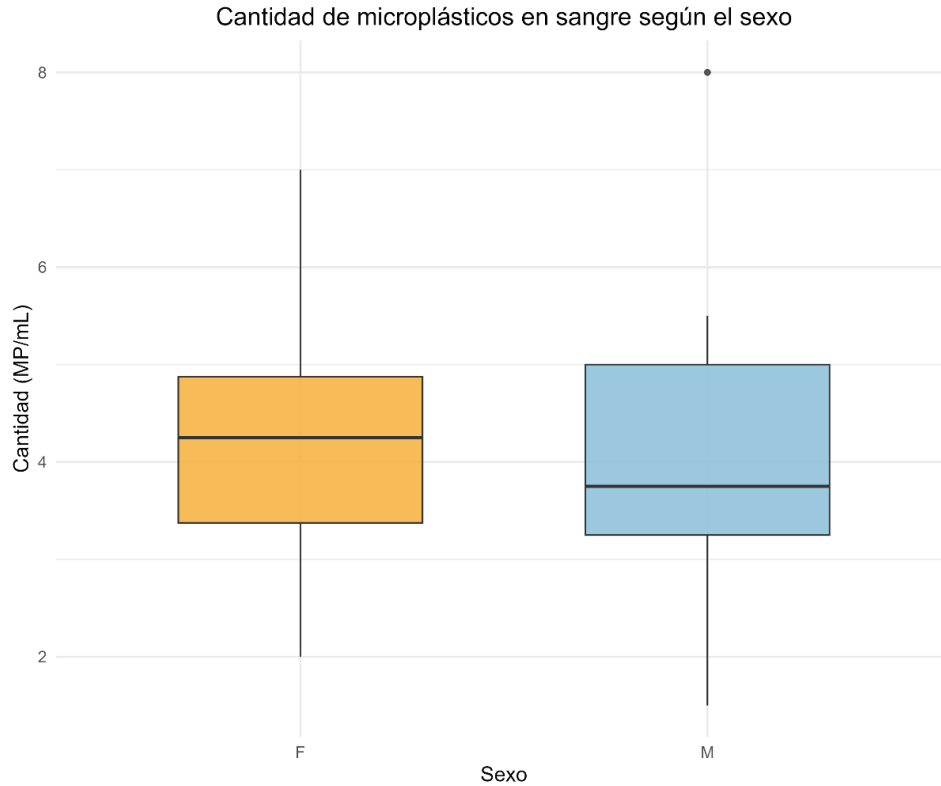
**Tabla 9.** Resultados de la correlación de Spearman para la cantidad de microplásticos vs el sexo.

Correlación de Spearman		
S	p-valor	rho (ρ)
5995.9	0.59	-0.09

El análisis arrojó un valor de correlación muy bajo ( $\rho = -0.099$ ), lo que indica que no hay una relación clara entre ambas variables. Además, el resultado obtuvo un p-valor de 0.59, lo que significa que la pequeña diferencia observada podría deberse al azar y no a una relación real entre el sexo y la cantidad de microplásticos.

### Figura 8

*Gráfico de cajas de la cantidad de microplásticos en sangre según el sexo.*



La figura 8 muestra un diagrama de cajas que representa la distribución de la cantidad de microplásticos (MP/mL) detectados en sangre, diferenciada por sexo. Visualmente, se observa que las mujeres (F) presentan una mediana de cantidad ligeramente mayor que los hombres (M), aunque ambos grupos comparten un rango intercuartílico similar. Las cajas de ambos sexos presentan una variabilidad comparable, sin presencia evidente de valores atípicos extremos.

Este patrón coincide con los resultados del análisis estadístico de Spearman, que indicó una correlación negativa débil y no significativa entre la variable sexo y la cantidad de microplásticos, sugiriendo que no existen diferencias estadísticamente relevantes entre hombres y mujeres en cuanto a la concentración de microplásticos en sangre en esta muestra. Entonces según los datos analizados, no existe una correlación significativa entre el sexo de los participantes y la cantidad de microplásticos detectados en sangre.

#### **4.3.3. Correlación de la morfología de los microplásticos con la edad**

Para analizar si existe una relación entre la morfología de los microplásticos (es decir, si son fibras o partículas) y la edad de los participantes, se aplicó la prueba de correlación de Spearman. La variable morfología fue codificada como binaria, asignando el valor 0 para fibras y 1 para partículas. Esta transformación permitió hacer un análisis que no requiere que los datos sigan una distribución normal, ni que las variables sean numéricas continuas.

De igual manera que en el caso de la correlación de la cantidad de microplásticos con la edad y sexo, se planteó la misma hipótesis para esta correlación:  $H_0$ , no existe correlación significativa entre las variables ( $p = 0$ ) y  $H_1$ , que indica que existe una correlación significativa entre las variables grupo etario y morfología de los microplásticos.

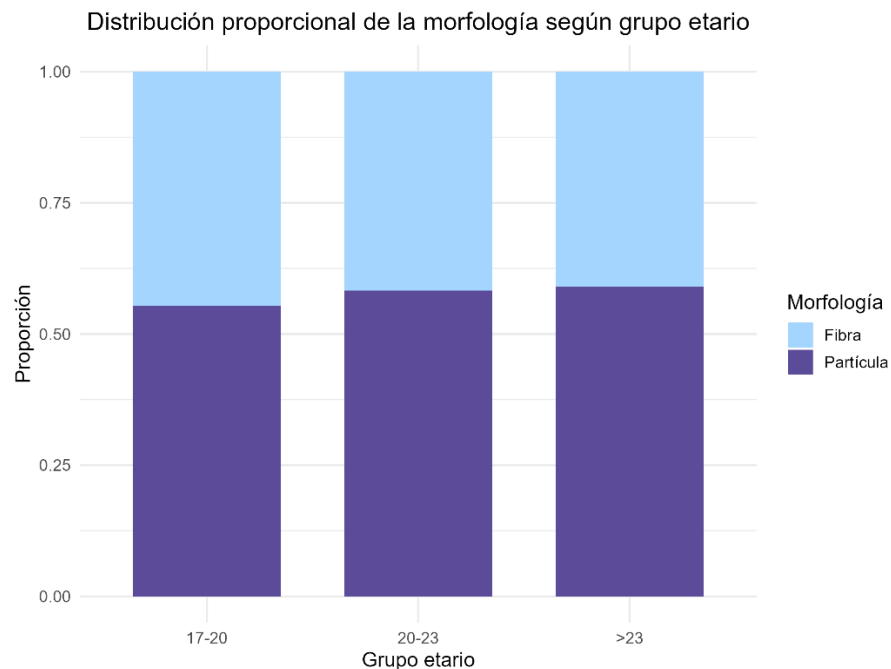
**Tabla 10.** Resultados de la correlación de Spearman para la morfología de microplásticos vs la edad.

<b>Correlación de Spearman</b>		
<b>S</b>	<b>p-valor</b>	<b>rho (p)</b>
3042612	0.6259	0.03

En la tabla 10 se presenta el resultado del análisis de correlación de Spearman entre la morfología de los microplásticos y el grupo etario. El coeficiente de correlación obtenido fue  $\rho = 0.030$ , lo que indica una relación extremadamente débil y prácticamente inexistente entre ambas variables. Como se mencionó anteriormente para este análisis, la morfología fue codificada como una variable binaria, asignando el valor 0 a las fibras y 1 a las partículas, por lo que un valor positivo de  $\rho$  sugeriría una ligera tendencia a que las partículas sean más frecuentes en grupos etarios mayores. Sin embargo, el resultado obtenido no refleja una asociación clara. Además, el p-valor = 0.6259 indica que esta correlación no es estadísticamente significativa, ya que supera ampliamente el umbral común de 0.05 ( $p > 0.05$ ).

**Figura 9**

*Gráfico de barras apiladas (morfología vs grupo etario)*



El gráfico 9 muestra la distribución proporcional de la morfología de los microplásticos (fibras y partículas) según el grupo etario. Visualmente, se observa que en los tres grupos de edad: 17 a 20, 20 a 23 y >23 años las partículas representan una proporción ligeramente mayor que las fibras, situándose consistentemente por encima del 50 %.

Aunque hay una leve tendencia al aumento de partículas en los grupos etarios mayores, las diferencias entre grupos son mínimas y no evidencian una variación marcada. Por lo tanto, según los datos analizados, no existe una correlación significativa entre la edad de los participantes y la morfología de los microplásticos detectados en sangre, lo que sugiere que la forma física (fibra o partícula) de los microplásticos no parece estar influenciada por el grupo etario.

#### 4.3.4. Correlación de la morfología de los microplásticos con el sexo

En este apartado al igual que con las anteriores variables se analiza la correlación utilizando Spearman para evaluar si hay alguna relación con el sexo de los participantes y la morfología de los microplásticos encontrados en la sangre. Se utiliza en este caso la variable sexo con dos niveles 0 para las mujeres y 1 para los hombres. En el caso de la morfología se utiliza 0 para fibras y 1 para las partículas. Las hipótesis son las mismas que las anteriores. A continuación, se presentan los resultados del análisis:

**Tabla 11.** Resultados de la correlación de Spearman para la morfología de microplásticos vs la edad.

<b>Correlación de Spearman</b>		
<b>S</b>	<b>p-valor</b>	<b>rho (p)</b>
2975616	0.40	0.051

De la tabla se observa que el coeficiente de correlación obtenido fue  $p = 0.051$ , lo que significa que no hay evidencia suficiente para afirmar una relación entre sexo y morfología de los microplásticos. Además, el p-valor de 0.40 muestra que dicha relación no es estadísticamente significativa, ya que supera ampliamente el umbral de significancia común de 0.05.

Una vez más se evidencia que no existe una correlación significativa entre la morfología con la edad y el sexo.

#### 4.3.5. Correlación del tamaño con la edad y el sexo

De igual manera se llevaron a cabo los análisis de la correlación del tamaño y del tipo de polímero con las variables demográficas edad y sexo y se encontró que, para la variable tamaño de los microplásticos utilizando la prueba de correlación de Spearman el coeficiente de correlación ( $\rho$ ) fue  $p = 0.033$  con un valor  $p$ -valor = 0.597, mientras que, en la correlación con el sexo, utilizando la misma prueba de Spearman, el valor del coeficiente de correlación fue  $p = 0.067$  con un  $p$ -valor = 0.2761. En ambos casos se evidenció que no existía correlación estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre el tamaño de las partículas y las variables demográficas evaluadas. Los resultados se muestran en la tabla 12 y 13 para la edad y el sexo, respectivamente.

**Tabla 12.** Resultados de la correlación de Spearman para el tamaño de microplásticos vs la edad.

Correlación de Spearman		
S	p-valor	rho (p)
3034689	0.5971	0.0325543

**Tabla 13.** Resultados de la correlación de Spearman para el tamaño de microplásticos vs el sexo.

Correlación de Spearman		
S	p-valor	rho (p)
2926567	0.2761	0.06702302

#### 4.3.6. Correlación del tipo de polímero con la edad y el sexo.

Finalmente se analizaron las correlaciones del tipo de polímero con la edad y el sexo. Se utilizó la prueba de chi-cuadrado de independencia de Pearson, ya que la variable tipo de polímero es de naturaleza categórica y no se encuentra en escala continua, por lo que no requirió de una verificación del supuesto de normalidad con Shapiro-Wilk. En la correlación del tipo de polímero

con el grupo etario se obtuvo un valor de  $X^2 = 10.48$  con un p-valor de 0.574, mientras que para la relación con el sexo el valor fue de  $X^2 = 2.25$  con un p-valor = 0.8953. En los dos casos, los resultados indicaron que no existió una asociación estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) entre el tipo de microplástico y las variables demográficas evaluadas. Los resultados de este análisis se presentan en las tablas 14 para el grupo etario y 15 para el sexo.

**Tabla 14.** Resultado de la prueba de chi-cuadrado de independencia de Pearson entre el tipo de polímero y el grupo etario.

<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>		
<b>X<sup>2</sup></b>	<b>GL</b>	<b>p-valor</b>
10.48	12	0.574

**Tabla 15.** Resultado de la prueba de chi-cuadrado de independencia de Pearson entre el tipo de polímero y el sexo de los participantes.

<b>Chi-cuadrado de Pearson</b>		
<b>X<sup>2</sup></b>	<b>GL</b>	<b>p-valor</b>
2.2501	6	0.8953

Estos resultados junto con los anteriores revelan que si bien se logró detectar microplásticos en el 100% de las muestras analizadas (ver anexos 1 y 2), no se observan correlaciones estadísticamente significativas entre sus características (morfología, cantidad, tipo de polímero y tamaño) y las variables demográficas como el grupo etario o el sexo. Estos hallazgos coinciden con investigaciones recientes como la de Nihart et al. (2025) que no encontró correlación alguna con la edad, el sexo, la raza y demás factores con las concentraciones de microplásticos en el organismo. Este resultado también es consistente con la investigación de Rotchell et al. (2024), quienes al

comparar la presencia de microplásticos en orina en pacientes sanos y con endometriosis, observaron diferencias en los tipos de polímeros presentes, pero no observaron diferencias en la cantidad total de partículas ni en relación con las variables edad y sexo. Estos patrones sugieren que la distribución de los microplásticos en el organismo humano podría ser más de tipo multifactorial de lo que se pensaba inicialmente. Barceló et al. (2023) destacan la importancia de considerar otras variables como los hábitos de consumo, lugar de residencia, ocupaciones, etc.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las características de los microplásticos presentes en la sangre humana y evaluar su posible relación con las variables demográficas edad y el sexo. Para ello, se aplicó un protocolo integral basado en digestión química, y filtración de las muestras, seguido de un análisis mediante microscopía de fluorescencia con Rojo de Nilo y espectroscopía FTIR. Posteriormente se realizó el análisis estadístico utilizando herramientas como Microsoft Excel y RStudio para ordenar y analizar los datos.

Se identificaron las características de los microplásticos presentes en las muestras de sangre y se encontró que existía una concentración promedio de 4.16 partículas por mililitro de sangre, con una presencia del 100% en las 32 muestras estudiadas. En cuanto a la morfología, se observó que las partículas (57.5 %) eran más abundantes que las fibras (42.5 %), mientras que los tamaños oscilaron entre 3.7 y 544.3  $\mu\text{m}$ , con una media de 139.2  $\mu\text{m}$ . Estos resultados evidenciaron una alta exposición a microplásticos en jóvenes universitarios de la UPS, coincidente con estudios recientes realizados en otras matrices.

Se analizó la composición química de los microplásticos mediante espectroscopía FTIR y se identificaron siete tipos de polímeros sintéticos: tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polimetacrilato de metilo (PMMA), poliéster y poliamidas (PA), siendo los tres primeros los más predominantes en las muestras. Esta distribución resulta consistente con estudios previos, poniendo en evidencia la exposición continua a estos materiales

a través de la inhalación de aire contaminado y el consumo de alimentos, bebidas y productos cosméticos.

En el análisis de la correlación entre las características de los microplásticos con la edad y el sexo se encontró que no había correlaciones estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre dichas variables. Para evaluar esta relación se aplicaron pruebas de Spearman y análisis de chi-cuadrado, según la naturaleza de cada variable. La cantidad, el tamaño, la morfología y el tipo de polímero fueron contrastados por separado con la edad (agrupada en tres rangos) y con el sexo. En todos los casos, los valores de correlación ( $\rho$ , p-valor,  $\chi^2$ ) se mantuvieron dentro de rangos no significativos, por lo cual no se pudo afirmar que la edad ni el sexo tengan influencia directa sobre la presencia ni las características de los microplásticos en sangre. Así, la hipótesis de investigación no se cumplió, ya que no se encontró evidencia de correlación estadísticamente significativa entre las variables evaluadas.

Finalmente, estos hallazgos sugieren que la exposición a microplásticos podría depender de factores adicionales como el ambiente, hábitos de consumo, ocupación, ubicación geográfica, y no únicamente de las variables demográficas como la edad y el sexo. Mediante esta investigación se motiva a continuar explorando cómo estos contaminantes podrían afectar a nuestra salud a largo plazo.

## **5.2 Recomendaciones**

Dado que aún no existen protocolos universales para el análisis de microplásticos en matrices biológicas humanas, se recomienda promover la creación y validación de procedimientos estandarizados que incluyan métodos de digestión, filtrado, detección y análisis, con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los resultados.

Se sugiere también realizar corridas de prueba preliminares para calibrar los parámetros del protocolo, garantizando así resultados más precisos.

Dado que la sangre actúa como vía de transporte hacia otros tejidos, se recomienda realizar estudios similares en otras matrices humanas como la orina, saliva, leche materna o placenta, con el fin de entender mejor la distribución, excreción y posible bioacumulación de microplásticos en el cuerpo humano.

## 6. Referencias bibliográficas

- Barceló, D., Picó, Y., & Alfarhan, A. H. (2023a). Microplastics: Detection in human samples, cell line studies, and health impacts. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *101*, 104204. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104204>
- Capilla -Juárez, U. Y., Guzmán-Vargas, L., Barron, C. H., & Ayala, S. M. (2024). MICROPLÁSTICOS EN LA MESA: EL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN EN NUESTROS ALIMENTOS. *RD-ICUAP*, 114-123. <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2024.28.1241>
- Chandra, S., & Walsh, K. B. (2024). Microplastics in water: Occurrence, fate and removal. *Journal of Contaminant Hydrology*, *264*, 104360. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104360>
- Chang, X., Fang, Y., Wang, Y., Wang, F., Shang, L., & Zhong, R. (2022). Microplastic pollution in soils, plants, and animals: A review of distributions, effects and potential mechanisms. *Science of The Total Environment*, *850*, 157857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157857>
- Chia, R. W., Lee, J.-Y., Jang, J., Kim, H., & Kwon, K. D. (2022). Soil health and microplastics: A review of the impacts of microplastic contamination on soil properties. *Journal of Soils and Sediments*, *22*(10), 2690-2705. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03254-4>
- Coyle, R., Hardiman, G., & Driscoll, K. O. (2020). Microplastics in the marine environment: A review of their sources, distribution processes, uptake and exchange in ecosystems. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *2*, 100010. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100010>
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Irigoien, X., Úbeda, B., Hernández-León, S., Palma, Á. T., Navarro, S., García-de-Lomas, J., Ruiz, A., Fernández-de-Puelles, M. L., & Duarte, C. M.

(2014). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(28), 10239-10244. <https://doi.org/10.1073/pnas.1314705111>

Dzierżyński, E., Gawlik, P. J., Puźniak, D., Wojciech Flieger, Józwik, K., Teresiński, G., Forma, A., Wdowiak, P., Baj, J., & Flieger, J. (2024). Microplastics in the Human Body: Exposure, Detection, and Risk of Carcinogenesis: A State-of-the-Art Review. *Cancers*, *16*(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/cancers16213703>

García Rellán, A., Vázquez Ares, D., Vázquez Brea, C., Francisco López, A., & Bello Bugallo, P. M. (2023a). Sources, sinks and transformations of plastics in our oceans: Review, management strategies and modelling. *Science of The Total Environment*, *854*, 158745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158745>

Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J., & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *1*, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>

Gewert, B., Plassmann, M. M., & MacLeod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts*, *17*(9), 1513-1521. <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>

Giri, S., Lamichhane, G., Khadka, D., & Devkota, H. P. (2024). Microplastics contamination in food products: Occurrence, analytical techniques and potential impacts on human health. *Current Research in Biotechnology*, *7*, 100190. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2024.100190>

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

- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C. E., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300-12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410-422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Kopatz, V., Wen, K., Kovács, T., Keimowitz, A. S., Pichler, V., Widder, J., Vethaak, A. D., Hollóczy, O., & Kenner, L. (2023). Micro- and Nanoplastics Breach the Blood–Brain Barrier (BBB): Biomolecular Corona’s Role Revealed. *Nanomaterials*, 13(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/nano13081404>
- Kushwaha, M., Shankar, S., Goel, D., Singh, S., Rahul, J., Rachna, K., & Singh, J. (2024). Microplastics pollution in the marine environment: A review of sources, impacts and mitigation. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117109. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117109>
- Kwon, J.-H., Kim, J.-W., Pham, T. D., Tarafdar, A., Hong, S., Chun, S.-H., Lee, S.-H., Kang, D.-Y., Kim, J.-Y., Kim, S.-B., & Jung, J. (2020). Microplastics in Food: A Review on Analytical Methods and Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186710>
- Lam, T. W. L., Ho, H. T., Ma, A. T. H., & Fok, L. (2020). Microplastic Contamination of Surface Water-Sourced Tap Water in Hong Kong—A Preliminary Study. *Applied Sciences*, 10(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/app10103463>

- Lee, D.-W., Jung, J., Park, S., Lee, Y., Kim, J., Han, C., Kim, H.-C., Lee, J. H., & Hong, Y.-C. (2024). Microplastic particles in human blood and their association with coagulation markers. *Scientific Reports*, *14*(1), 30419. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81931-9>
- Leslie, H. A., van Velzen, M. J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, A. D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, *163*, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., & Song, M. (2023). Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. *Environment & Health*, *1*(4), 249-257. <https://doi.org/10.1021/envhealth.3c00052>
- Luqman, A., Nugrahapraja, H., Wahyuono, R. A., Islami, I., Haekal, M. H., Fardiansyah, Y., Putri, B. Q., Amalludin, F. I., Rofiq, E. A., Götz, F., & Wibowo, A. T. (2021). Microplastic Contamination in Human Stools, Foods, and Drinking Water Associated with Indonesian Coastal Population. *Environments*, *8*(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/environments8120138>
- Mehta, N., & Kozielska, B. (2024). A systematic literature review and bibliometric analysis of sources and analytical approaches of indoor microplastics. *Emerging Contaminants*, *10*(1), 100274. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100274>
- Meijer, L. J. J., van Emmerik, T., van der Ent, R., Schmidt, C., & Lebreton, L. (2021). More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean. *Science Advances*, *7*(18), eaaz5803. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5803>
- Mir, M. A., Ali Khan, M. A., Banik, B. K., Hasnain, S. M., Alzayer, L., Andrews, K., & Abba, S. I. (2025). Microplastics in food products: Prevalence, artificial intelligence based detection, and

potential health impacts on humans. *Emerging Contaminants*, 11(2), 100477.

<https://doi.org/10.1016/j.emcon.2025.100477>

Ng, E.-L., Huerta Lwanga, E., Eldridge, S. M., Johnston, P., Hu, H.-W., Geissen, V., & Chen, D.

(2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *The Science of the Total Environment*, 627, 1377-1388. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.341>

Nihart, A. J., Garcia, M. A., El Hayek, E., Liu, R., Olewine, M., Kingston, J. D., Castillo, E. F.,

Gullapalli, R. R., Howard, T., Bleske, B., Scott, J., Gonzalez-Estrella, J., Gross, J. M., Spilde, M., Adolphi, N. L., Gallego, D. F., Jarrell, H. S., Dvorscak, G., Zuluaga-Ruiz, M. E., ...

Campen, M. J. (2025a). Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nature Medicine*, 31(4), 1114-1119. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03453-1>

Novotna, K., Cermakova, L., Pivokonska, L., Cajthaml, T., & Pivokonsky, M. (2019). Microplastics in

drinking water treatment – Current knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*, 667, 730-740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.431>

Piña, P., Cecilia, A., Loayza, R., & Josue, A. (s. f.). *Análisis del perfil de microplásticos en relación al contenido de grasa presente en leche entera, semidescremada y descremada*.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental

exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>

Qian, N., Gao, X., Lang, X., Deng, H., Bratu, T. M., Chen, Q., Stapleton, P., Yan, B., & Min, W.

(2024). Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(3), e2300582121.

<https://doi.org/10.1073/pnas.2300582121>

- Ragusa, A., Svelato, A., Santacroce, C., Catalano, P., Notarstefano, V., Carnevali, O., Papa, F., Rongioletti, M. C. A., Baiocco, F., Draghi, S., D'Amore, E., Rinaldo, D., Matta, M., & Giorgini, E. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International*, *146*, 106274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *65*, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Tuan Anuar, S., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., & Brentnall, T. (s. f.). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review. *Journal of Global Health*, *14*, 04179. <https://doi.org/10.7189/jogh.14.04179>
- Santoro, A., Marino, M., Vandenberg, L. N., Szychlinska, M. A., Lamparelli, E. P., Scalia, F., Della Rocca, N., D'Auria, R., Pastorino, G. M. G., Della Porta, G., Operto, F. F., Viggiano, A., Cappello, F., & Meccariello, R. (2024). PLASTAMINATION: Outcomes on the Central Nervous System and Reproduction. *Current Neuropharmacology*, *22*(11), 1870-1898. <https://doi.org/10.2174/1570159X22666240216085947>
- Senathirajah, K., Attwood, S., Bhagwat, G., Carbery, M., Wilson, S., & Palanisami, T. (2021). Estimation of the mass of microplastics ingested—A pivotal first step towards human health risk assessment. *Journal of Hazardous Materials*, *404*(Pt B), 124004. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124004>
- Sharma, R. K., Kumari, U., & Kumar, S. (2024). Impact of Microplastics on Pregnancy and Fetal Development: A Systematic Review. *Cureus*, *16*(5), e60712. <https://doi.org/10.7759/cureus.60712>

Siguencia, G., & Emilia, M. (s. f.). *Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes.*

Torres-Agullo, A., Karanasiou, A., Moreno, T., & Lacorte, S. (2021). Overview on the occurrence of microplastics in air and implications from the use of face masks during the COVID-19 pandemic. *The Science of the Total Environment*, *800*, 149555.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149555>

Usman, S., Abdull Razis, A. F., Shaari, K., Azmai, M. N. A., Saad, M. Z., Mat Isa, N., & Nazarudin, M. F. (2022). The Burden of Microplastics Pollution and Contending Policies and Regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(11), 6773.

<https://doi.org/10.3390/ijerph19116773>

V. L. Leonard, S., Liddle, C. R., Atherall, C. A., Chapman, E., Watkins, M., D. J. Calaminus, S., & Rotchell, J. M. (2024a). Microplastics in human blood: Polymer types, concentrations and characterisation using  $\mu$ FTIR. *Environment International*, *188*, 108751.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108751>

Wang, M., Wu, Y., Li, G., Xiong, Y., Zhang, Y., & Zhang, M. (2024). The hidden threat: Unraveling the impact of microplastics on reproductive health. *Science of The Total Environment*, *935*,

173177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173177>

Winkler, A. S., Cherubini, A., Rusconi, F., Santo, N., Madaschi, L., Pistoni, C., Moschetti, G., Sarnicola, M. L., Crosti, M., Rosso, L., Tremolada, P., Lazzari, L., & Bacchetta, R. (2022). Human airway organoids and microplastic fibers: A new exposure model for emerging contaminants. *Environment International*, *163*, 107200.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107200>

- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, *51*(12), 6634-6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Zhao, K., Wei, Y., Dong, J., Zhao, P., Wang, Y., Pan, X., & Wang, J. (2022). Separation and characterization of microplastic and nanoplastic particles in marine environment. *Environmental Pollution*, *297*, 118773. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118773>
- Zhao, S., Kvale, K. F., Zhu, L., Zettler, E. R., Egger, M., Mincer, T. J., Amaral-Zettler, L. A., Lebreton, L., Niemann, H., Nakajima, R., Thiel, M., Bos, R. P., Galgani, L., & Stubbins, A. (2025). The distribution of subsurface microplastics in the ocean. *Nature*, *641*(8061), 51-61. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08818-1>
- Zhou, Q., Wang, S., Liu, J., Hu, X., Liu, Y., He, Y., He, X., & Wu, X. (2022). Geological evolution of offshore pollution and its long-term potential impacts on marine ecosystems. *Geoscience Frontiers*, *13*(5), 101427. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101427>

## 7. Anexos

Anexo 1 Tabla de resultados obtenidos del análisis de la cantidad de microplásticos.

Muestra	Edad	Sexo	Cantidad
M1	23	M	3.5
M2	21	M	2.5
M3	21	M	5.5
M4	30	M	8
M5	22	F	7
M6	19	F	3
M7	19	M	4
M8	22	F	3
M9	21	F	3.5
M10	21	F	6.5
M11	20	F	2
M12	21	M	5
M13	26	M	4.5
M14	20	M	3.5
M15	18	F	4.5
M16	18	F	6
M17	18	F	4.5
M18	24	M	5
M19	21	F	6
M20	25	M	5.5
M21	23	F	4
M22	25	F	3.5
M23	20	M	4
M24	19	M	3.5
M25	18	M	2.5
M26	19	M	3.5
M27	24	F	4.5
M28	23	F	3.5
M29	23	F	4.5
M30	19	M	1.5
M31	22	F	3
M32	24	M	2
<b>Promedio</b>			4.15625
<b>Mediana</b>			4
<b>Moda</b>			3.5

**Anexo 2      Tabla de los resultados obtenidos del análisis de la morfología, tamaño y tipo de polímero.**

<b>Muestra</b>	<b>Edad</b>	<b>Sexo</b>	<b>Morfología</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Tipo de polímero</b>
M1	23	M	Partícula	87.31	PET
M1	23	M	Fibra	90.45	PP
M1	23	M	Partícula	3	PE
M1	23	M	Partícula	59.84	PP
M1	23	M	Partícula	19.66	PET
M1	23	M	Fibra	34.7	POLIÉSTER
M1	23	M	Partícula	12.54	PS
M2	21	M	Fibra	187.35	PS
M2	21	M	Partícula	20.15	PET
M2	21	M	Fibra	297.81	PET
M2	21	M	Partícula	39.4	PE
M2	21	M	Fibra	1474.74	PS
M3	21	M	Partícula	84.18	PMMA
M3	21	M	Partícula	473.98	PE
M3	21	M	Fibra	413.64	PS
M3	21	M	Partícula	35.68	PET
M3	21	M	Partícula	48.68	PET
M3	21	M	Fibra	1164.73	PE
M3	21	M	Fibra	16.35	PET
M3	21	M	Partícula	527.95	POLIÉSTER
M3	21	M	Partícula	10.34	PMMA
M3	21	M	Partícula	35.9	PET
M3	21	M	Partícula	48.54	PP
M4	30	M	Fibra	1293.75	PET
M4	30	M	Fibra	73	PE
M4	30	M	Partícula	562.58	PE
M4	30	M	Partícula	81.7	PET
M4	30	M	Fibra	51.09	PET
M4	30	M	Fibra	1161.61	PS
M4	30	M	Partícula	8.17	PE
M4	30	M	Fibra	42.47	PP
M4	30	M	Partícula	25.96	PET
M4	30	M	Partícula	19.16	PE
M4	30	M	Fibra	14.63	POLIÉSTER
M4	30	M	Partícula	19.49	POLIÉSTER
M4	30	M	Fibra	95.16	PA
M4	30	M	Fibra	63.74	PMMA
M4	30	M	Partícula	356.52	PE

M4            30            M            Partícula            759.11            PET

---

*Nota.* Debido a que la tabla muestra los datos desglosados (266 filas) no fue posible incluirla por completo.

**Anexo 3.** Acta de consentimiento informado para cada participante.

### ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Cuenca, ..... del ..... de

**2025**

Yo ....., con número de cédula ..... acepto participar voluntaria y anónimamente en la "Evaluación integral de los microplásticos presentes en la sangre humana y su relación con la edad y el sexo" dirigido por la Universidad Politécnica Salesiana.

Declaro haber sido informado/a de los objetivos de la evaluación y del tipo de participación. En relación a ello, acepto donar una muestra de mi sangre.

Declaro saber que la información entregada será **confidencial y anónima**. Entiendo que la información será analizada por los investigadores y que no se podrán identificar las respuestas y opiniones de cada individuo de modo personal.

Declaro saber que la información que se obtenga será guardada por el investigador responsable en dependencias de la Universidad Politécnica Salesiana.

Este documento se firma en dos ejemplares, quedando uno en poder de cada una de las partes.

.....

Firma Participante

.....

Firma Investigador

Fuente: Autor.

#### Anexo 4. Consentimiento informado.

##### CONSENTIMIENTO INFORMADO

Estimado (a) Sr(a) \_\_\_\_\_

Le extendemos una cordial invitación a participar en el estudio titulado:

“Evaluación integral de los microplásticos presentes en la sangre humana y su relación con la edad y el sexo”, liderado por la Universidad Politécnica Salesiana.

Se ha considerado su participación en esta investigación por ser mayor de edad y parte activa de la comunidad universitaria de la carrera de Biotecnología de esta institución. Este estudio tiene como finalidad analizar la presencia de microplásticos en la sangre humana, así como explorar posibles vínculos con factores como la edad y el sexo. Sus resultados contribuirán significativamente al entendimiento de la exposición humana a microplásticos y sus posibles efectos.

Su participación es completamente libre y voluntaria. Puede decidir no participar o retirarse del estudio en cualquier momento, sin que esto implique consecuencias negativas ni justificación alguna.

La intervención consiste en la toma única de una muestra de sangre, que será recolectada por personal capacitado en condiciones seguras y controladas. Esta muestra será analizada en los laboratorios de la Facultad de Biotecnología. El procedimiento no conlleva riesgos mayores y no afectará su bienestar físico ni mental.

Aunque no se contemplan beneficios económicos ni personales directos por su participación, su colaboración será de gran valor científico y podría apoyar el desarrollo de futuras estrategias de salud pública para abordar la presencia de microplásticos en el cuerpo humano.

Toda la información que se recoja será tratada bajo estrictos protocolos de confidencialidad. Los datos serán codificados y no se utilizarán nombres ni ninguna información que permita identificarle. Solo el equipo investigador autorizado tendrá acceso a la vinculación entre los códigos y la identidad de los participantes. Los hallazgos obtenidos, tanto individuales como generales, serán compartidos con usted si así lo desea.

Si tiene dudas o requiere información adicional, puede comunicarse con el docente Dr. Pablo Wilson Arévalo, al correo electrónico [parevalo@ups.edu.ec](mailto:parevalo@ups.edu.ec).

Agradecemos profundamente su tiempo y disposición para colaborar con esta investigación.

Atentamente,

Dr. Pablo Wilson Arévalo

Docente-Investigador

Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Universidad Politécnica Salesiana

Fuente: Autor.

**Anexo 5.** Preparación de reactivos.



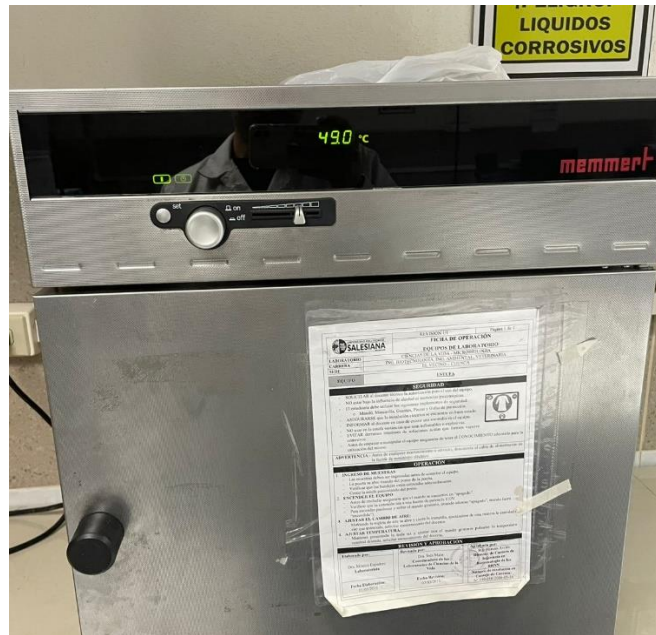
Fuente: Autor.

**Anexo 6.** Filtración de soluciones a utilizar mediante el equipo de microfiltración.



Fuente: Autor.

**Anexo 7.** Incubación de las muestras en la estufa a 50 °C.



Fuente: Autor.

**Anexo 8.** Ultrasonicación de muestras.



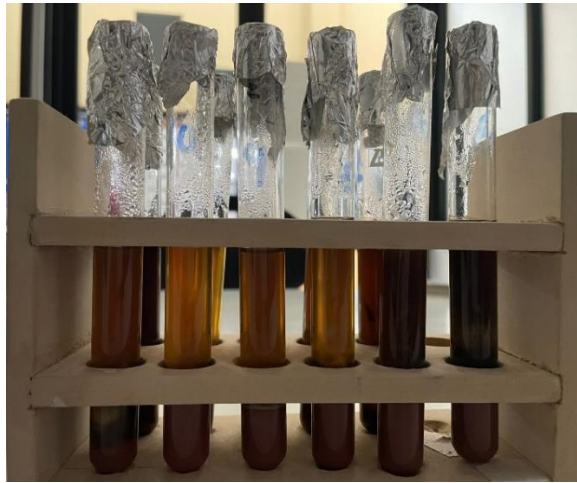
Fuente: Autor.

#### **Anexo 9.** Reacción de Fenton.



Fuente: Autor.

#### **Anexo 10.** Decantación o precipitación de las muestras.



Fuente: Autor.

**Anexo 11.** Filtración del sobrenadante de las muestras utilizando filtros de membrana de nitrocelulosa y el equipo de microfiltración.



**Anexo 12.** Observación de los filtros en el microscopio invertido de fluorescencia.



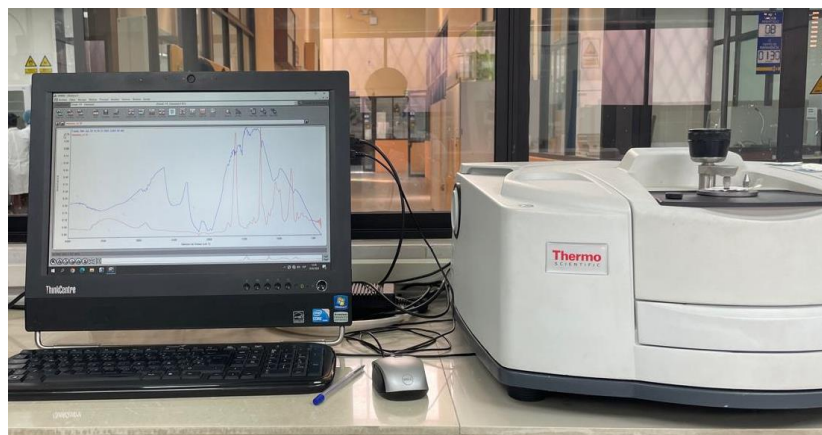
Fuente: Autor.

**Anexo 13.** Resultados del análisis en el microscopio invertido de fluorescencia.



Fuente: Autor.

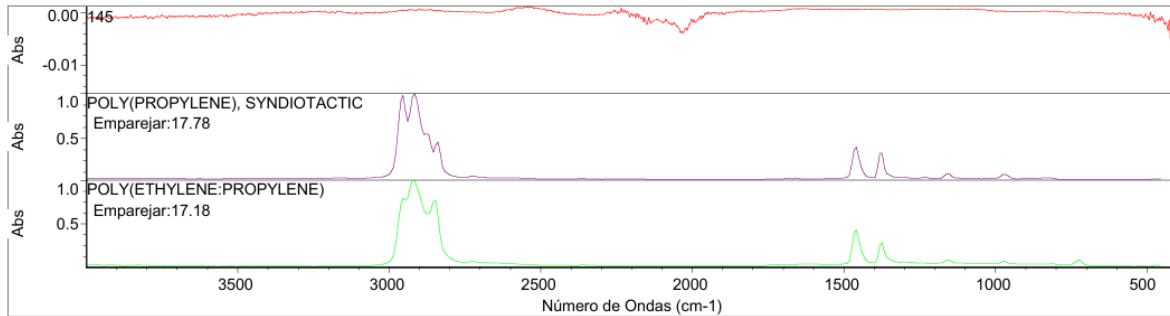
#### Anexo 14. Análisis de los filtros en el equipo FTIR.



Fuente: Autor.

## Anexo 15. Resultados del análisis del equipo FTIR.

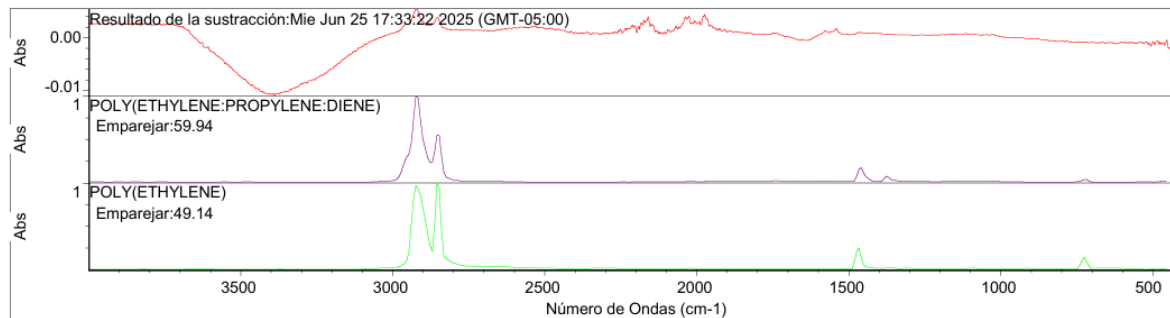
Resultados de búsqueda para: 145  
 Fecha: Mar Jun 24 16:44:28 2025 (GMT-05:00)  
 Algoritmo de búsqueda: Correlación  
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca	
1	38	17.78	POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
2	39	17.18	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
3	41	14.15	POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
4	40	12.16	CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library
5	51	11.75	POLY(ETHYLENE:VINYL CHLORIDE)	Hummel Polymer Sample Library
6	30	11.56	POLYACRYLONITRILE	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	31	11.26	Poly(acrylonitrile:vinylidene chloride), 3:1	HR Hummel Polymer and Additives
8	4	11.21	Poly(acrylonitrile)	HR Hummel Polymer and Additives
9	14	11.03	ALKYD RESIN	Hummel Polymer Sample Library
10	44	10.77	POLY(VINYL CHLORIDE:ETHYLENE)	Hummel Polymer Sample Library

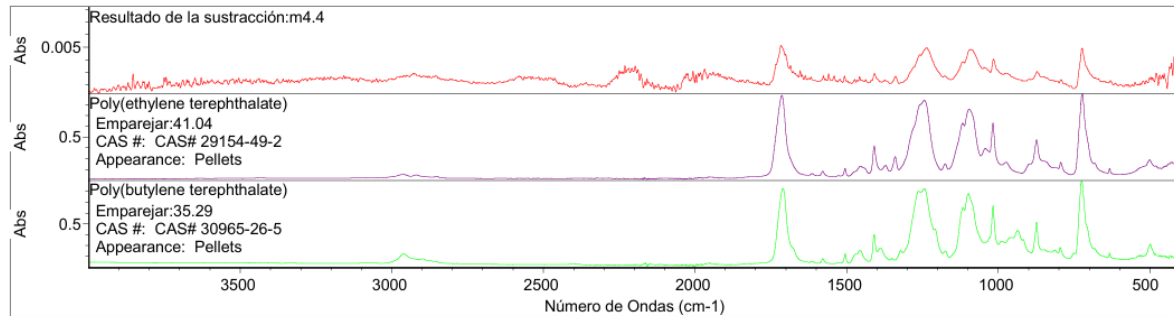
Resultados de búsqueda para: Resultado de la sustracción: Mie Jun 25 17:33:22 2025 (GMT-05:00)  
 Fecha: Mie Jun 25 17:51:06 2025 (GMT-05:00)  
 Algoritmo de búsqueda: Correlación  
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca	
1	32	59.94	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE:DIENE)	Hummel Polymer Sample Library
2	7	49.14	POLY(ETHYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
3	39	40.91	POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
4	266	40.41	DIMETHYL DICOCONUT QUATERNARY AMMONIUM CHLORIDE	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	319	40.29	ETHYLENE / PROPYLENE COPOLYMER (LOW M.W.)	HR Polymer Additives and Plasticizers
6	579	40.03	Poly(1-dodecene), isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
7	491	39.83	Poly(ethylene-4-methyl-1-pentene), 77% E	HR Hummel Polymer and Additives
8	851	39.72	TRILAURYLTRITHO PHOSPHITE	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	498	39.71	Poly(ethylene-1-butene), 86 mol% C2	HR Hummel Polymer and Additives
10	580	39.63	Poly(1-decene), isotactic	HR Hummel Polymer and Additives

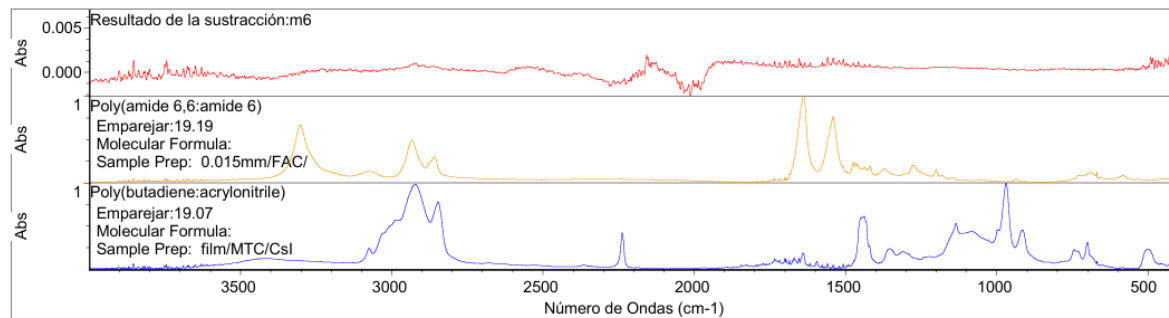
Resultados de búsqueda para: Resultado de la sustracción:m4.4  
 Fecha: Vie Jun 27 10:20:03 2025 (GMT-05:00)  
 Algoritmo de búsqueda: Correlación  
 Regiones buscadas: 3999.70-401.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	41.04 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	40	35.29 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
3	99	32.64 ZINC SALT OF ETHYLENE ACRYLIC ACID COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	1372	30.47 UV-STABILIZED ACETAL COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	1371	30.19 HIGH MINERAL COUPLED ACETAL COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
6	1462	29.88 DIISONONYL ADIPATE #2	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	123	25.57 PW/PE WAX BLEND	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	1373	24.32 25% GLASS-FILLED ACETAL COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	44	24.18 Poly(diallyl isophthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
10	51	23.78 PONOMER RESIN #1	HR Polymer Additives and Plasticizers

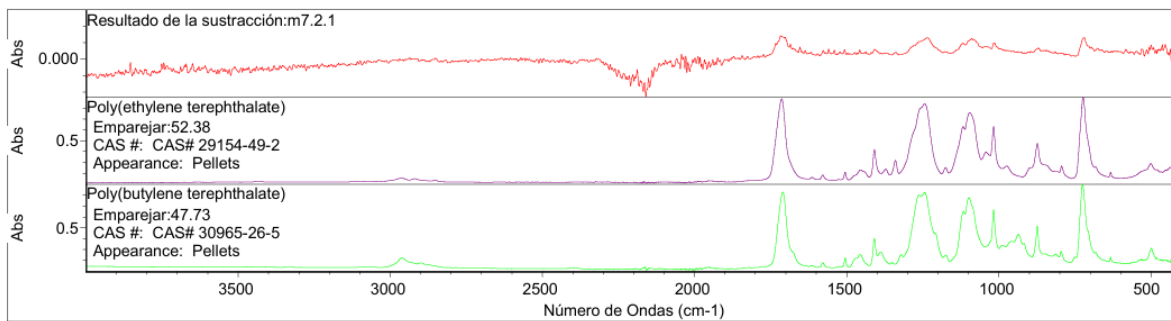
Resultados de búsqueda para: Resultado de la sustracción:m6  
 Fecha: Vie Jun 27 10:36:52 2025 (GMT-05:00)  
 Algoritmo de búsqueda: Correlación  
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	99	53.60 ZINC SALT OF ETHYLENE ACRYLIC ACID COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	1021	30.07 AMINE PERFLUOROALKYL SULFONATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
3	440	22.57 INORGANIC SALT MIX	HR Polymer Additives and Plasticizers
4	638	22.32 EMULSION OF HYDROPHOBIC SOLIDS, EMULSIFIERS, POLYSILOXANES	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	455	20.32 QUATERNARY AMMONIUM COMPOUND #1	HR Polymer Additives and Plasticizers
6	1225	19.71 Methylamine	HR Hummel Polymer and Additives
7	290	19.19 Poly(amide 6,6:amide 6)	HR Hummel Polymer and Additives
8	221	19.07 Poly(butadiene:acrylonitrile)	HR Hummel Polymer and Additives
9	111	18.59 OXIDIZED POLYETHYLENE #2	HR Polymer Additives and Plasticizers
10	130	18.56 DIBASIC LEAD STEARATE #1	HR Polymer Additives and Plasticizers

Resultados de búsqueda para: Resultado de la sustracción:m7.2.1  
 Fecha: Vie Jun 27 10:59:12 2025 (GMT-05:00)  
 Algoritmo de búsqueda: Correlación  
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	52.38 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	40	47.73 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
3	57	45.24 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
4	40	41.75 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
5	34	39.06 POLY(TRIMELLITAMIDE IMIDE)	Hummel Polymer Sample Library
6	53	36.32 POLY(TRIMELLITIC AMIDE IMIDE)	Hummel Polymer Sample Library
7	3	34.61 POLYESTER, TERE-&ISO-PHTHALATE	Hummel Polymer Sample Library
8	4	33.02 POLYESTER, TEREPHTHALATE	Hummel Polymer Sample Library
9	99	29.89 ZINC SALT OF ETHYLENE ACRYLIC ACID COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
10	543	29.51 Poly(ethylene terephthalate)	HR Hummel Polymer and Additives

Fuente: Autor.