



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

**ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DEL PERFIL DE MICROPLÁSTICOS EN MUESTRAS
DE ORINA HUMANA Y LA EDAD DE LOS PARTICIPANTES**

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

AUTORA: MARÍA EMILIA GARZÓN SIGUENCIA

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2024

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

Yo, María Emilia Garzón Siguencia con documento de identificación N° 0105941066
manifiesto que:

Soy la autora 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, 3 de agosto del 2024

Atentamente,



María Emilia Garzón Siguencia

0105941066

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

Yo, María Emilia Garzón Siguencia con documento de identificación N° 0105941066, 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 autora del Trabajo experimental: “Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Biotecnóloga, 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, 3 de agosto del 2024

Atentamente,



María Emilia Garzón Siguencia

0105941066

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación No 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN DEL PERFIL DE MICROPLÁSTICOS EN MUESTRAS DE ORINA HUMANA Y LA EDAD DE LOS PARTICIPANTES, realizado por María Emilia Garzón Sigüenza con documento de identificación N° 0105941066, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Trabajo experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de agosto del 2024

Atentamente,



Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, PhD.

0102156957

DEDICATORIA

A mis padres, Marcelo y Teresa, y a mi hermana Karol, no encuentro palabras suficientes para expresar mi gratitud por todo el apoyo, el amor y la paciencia que me han brindado a lo largo de mi vida y mi carrera. Cada paso que he dado, cada logro que he alcanzado, no hubiera sido posible sin su constante compañía, su aliento incondicional y la inmensa fortaleza que me han transmitido en los momentos más difíciles. Ustedes han sido mi refugio, mi inspiración y mi guía. Todos mis éxitos los comparto con ustedes, su amor ha sido la luz que me ha sostenido y guiado siempre, dándome la confianza para seguir adelante. Sin duda, todo lo que soy y lo que he logrado, se lo debo a ustedes.

Al amor de mi vida, Josué, gracias por estar a mi lado en cada paso que he dado, por tu constante presencia, y por ser mi apoyo en cada desafío que hemos enfrentado juntos. Tus palabras de aliento, y el amor que me brindas cada día han sido la base que me ha permitido crecer. A lo largo de este camino, hemos compartido no solo alegrías, sino también retos que hemos logrado vencer apoyándonos mutuamente. Por todo lo que hemos vivido, por lo que somos y por lo que seremos juntos, siempre te estaré profundamente agradecida.

RESUMEN

El estudio de los microplásticos presentes en la orina de los seres humanos ha ganado notoriedad en los últimos años, con la evolución médica y científica en la sociedad y sumado a esto la preocupación por la contaminación que generan los plásticos en nuestro entorno. Esta investigación se centra en identificar y describir los microplásticos que se encuentran en muestras de orina, analizando su cantidad y tipos en diferentes grupos etarios. Para lograr esto, se utilizaron técnicas como la fluorescencia y la espectroscopía infrarroja, que permiten ver qué microplásticos están presentes en las muestras.

Los datos se agruparon en dos grupos de edad: de 17 a 23 años y de 23 años en adelante. En el grupo más joven, se descubrió que el polietileno tereftalato es el microplástico más común, representando casi la mitad de todos los microplásticos encontrados. Esto sugiere que las personas en este grupo están más expuestas a productos que contienen este tipo de plástico.

En el grupo de 23 años en adelante, se observó una mayor variedad de microplásticos. En este caso, el nylon fue el más común, seguido de cerca por el polietileno tereftalato y el polipropileno isotáctico. Esta diversidad podría indicar que hay diferentes fuentes de exposición, lo que podría estar relacionado con los hábitos de consumo y las actividades diarias de las personas en este grupo. Los hallazgos de este estudio resaltan la necesidad de seguir investigando la presencia de microplásticos en la orina humana, ya que pueden tener efectos negativos tanto en la salud como en el medio ambiente.

La detección de microplásticos en fluidos biológicos sugiere que la contaminación por plásticos no solo afecta al mundo que nos rodea, sino que también puede ingresar a nuestros cuerpos, planteando dudas sobre sus consecuencias a largo plazo en nuestra salud.

Palabras claves: Orina, micro plásticos, edad, FTIR, microscopia de fluorescencia.

ABSTRACT

The study of microplastics present in the urine of human beings has gained notoriety in recent years, with medical and scientific evolution in society and added to this the concern about the pollution generated by plastics in our environment. This research focuses on identifying and describing microplastics found in urine samples, analyzing their quantity and types in different age groups. To achieve this, techniques such as fluorescence and infrared spectroscopy were used, which allow us to see what microplastics are present in the samples.

The data were grouped into two age groups: 17 to 23 years old and 23 years and older. In the younger group, polyethylene terephthalate was found to be the most common microplastic, accounting for almost half of all microplastics found. This suggests that people in this group are more exposed to products containing this type of plastic..

In the group aged 23 years and older, a greater variety of microplastics was observed. In this case, nylon was the most common, closely followed by polyethylene terephthalate and isotactic polypropylene. This diversity could indicate that there are different sources of exposure, which could be related to the consumption habits and daily activities of people in this group.

The findings of this study highlight the need to continue investigating the presence of microplastics in human urine, as they can have negative effects on both health and the environment. The detection of microplastics in biological fluids suggests that plastic pollution not only affects the world around us, but can also enter our bodies, raising questions about its long-term consequences on our health.

Keys words: Urine, microplastics, age, FTIR, fluorescence microscopy

Índice de contenidos

1	CAPITULO 1	12
1.1	Planteamiento del problema de investigación	12
1.1.1	Pregunta de investigación.....	13
1.2	Justificación.....	13
1.3	Limitaciones del estudio.....	14
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo general	14
1.4.2	Objetivos específicos.....	15
1.4.3	Hipótesis.....	15
2	CAPITULO 2.....	16
2.1	Estado del arte	16
2.2	Marco conceptual	21
2.3	Bases teóricas	23
3	CAPITULO 3.....	27
3.1.1	Nivel de investigación	27
3.1.2	Diseño de investigación.....	27
3.1.3	Población y muestra	28
3.1.4	Variables.....	29
3.1.5	Técnicas de recolección de datos.....	31
3.1.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	33
3.1.7	Materiales, reactivos, equipos.....	34
3.1.8	Metodología para extracción de microplásticos de matriz.....	35
4	CAPÍTULO 4.....	37
4.1	Determinación del perfil de los microplásticos	37
4.1.1	Procesamiento de la concentración de microplásticos	37
4.1.2	Procesamiento de la morfología	43

4.1.3	Procesamiento de las clases de polímeros encontrados	46
4.2	Análisis estadístico.....	48
4.2.1	Análisis de la correlación de concentración con la edad.....	48
4.2.2	Análisis de la correlación de fibras y partículas con la edad.....	52
5	Capítulo 5.....	57
5.1	Conclusiones	57
5.2	Recomendaciones.....	58
6	BIBLIOGRAFIA	59
7	ANEXOS	64

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Variables, dimensiones e indicadores</i>	30
Tabla 2 <i>Concentración de microplásticos en 100 mL de muestra en ambos grupos</i>	39
Tabla 3 <i>Tipos de polímeros encontrados en 100 mL de muestra en ambos grupos</i>	46
Tabla 4 <i>Prueba de Shapiro Wilk para la concentración total de microplásticos</i>	48
Tabla 5 <i>Correlación de Spearman para concentración total</i>	50
Tabla 6 <i>Prueba de Shapiro Wilk para fibras y partículas</i>	52
Tabla 7 <i>Correlación de Spearman para fibras</i>	53
Tabla 8 <i>Correlación de Spearman para partículas</i>	55

Índice de figuras

Figura 1 <i>Diagrama de caja y bigotes de concentraciones totales y edad de participantes</i>	38
Figura 2 <i>Diagrama de caja y bigotes de la concentración total de microplástico en los dos grupos de edad</i>	41
Figura 3 <i>Diagrama de caja y bigotes: Concentración de fibras y edades</i>	43
Figura 4 <i>Diagrama de caja y bigotes: Concentración de partículas y edades</i>	45
Figura 5 <i>Correlación entre la concentración total y la edad</i>	51
Figura 6 <i>Correlación entre la concentración fibras y la edad</i>	54
Figura 7 <i>Correlación entre la concentración partículas y la edad</i>	56

Índice de anexos

Anexo 1 <i>Consentimiento informado para los participantes</i>	64
Anexo 2 <i>Recolección y etiquetado de la muestra (añadir peróxido de hidrogeno al 20%)</i>	66
Anexo 3 <i>Realizar la reacción de Fenton sin sobrepasar los 70 °C</i>	67
Anexo 4 <i>Posterior a la reacción de Fenton poner en un embudo de decantación y cubrir con papel aluminio</i>	67
Anexo 5 <i>Realizar la microfiltración, utilizando filtro de nitrocelulosa</i>	68
Anexo 6 <i>Secado de los filtros y aplicación del rojo de Nilo</i>	69
Anexo 7 <i>Observación en el microscopio invertido de fluorescencia para determinar la concentración de micro plásticos</i>	70
Anexo 8 <i>Resultados FTIR</i>	71
Anexo 9 <i>Tabla de concentración total de micro plásticos por fibras y partículas grupo 1</i>	74
Anexo 10 <i>Tabla de concentración total de micro plásticos por fibras y partículas grupo 2</i> .	74
Anexo 11 <i>Estadística básica para fibras y partículas</i>	75

1 CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Planteamiento del problema de investigación

Los micro plásticos se caracterizan por ser compuestos de elevado peso molecular que se han reducido a partículas de menor tamaño (5 mm). Por su baja tasa de biodegradación, estas partículas permanecen en el medio ambiente y van a afectar de manera negativa al cuerpo humano, el mismo que será el consumidor final de la cadena alimentaria (Lee, 2023).

Por ende, los microplásticos afectaran la salud humana, debido a que investigaciones demostraron que estas partículas pueden ingresar a nuestro cuerpo por medio de los alimentos, el agua e incluso por el aire que respiramos (Shampa Ghosh & Jitendra Kumar Sinha, 2023).

Los seres humanos se exponen a los microplásticos por medio del uso de algunos productos plásticos, como, por ejemplo: envases, textiles, productos de aseo personal. Estas partículas se dispersan por el medio ambiente, incluyendo aire, agua, y suelo, por ende, la exposición ocurre mediante 3 vías, ingestión directa, contacto directo e inhalación. (Lee, 2023).

La variación en el tamaño de microplásticos, desde partículas microscópicas hasta nanométricas, hacen que sean casi imposibles de eliminarnos una vez que han sido liberados en el medio ambiente. Por lo tanto, estas características hacen que los microplásticos representen un posible riesgo tanto para el ser humano como para el entorno (Lee, 2023) .

Por lo que, es inevitable abordar este problema de manera general para disminuir los riesgos relacionados y así proteger tanto la salud pública como el medio ambiente.

Además, existe estudios científicos que indican que los microplásticos son nocivos para los seres humanos, lo que representa un riesgo significativo para la salud. Por su a su capacidad de ingresar y bioacumularse en el organismo a través de distintas vías, es fundamental iniciar análisis en muestras biológicas para determinar su presencia o ausencia.

Esto permitirá analizar con precisión la magnitud de la exposición humana a estos contaminantes y así desarrollar estrategias efectivas para eliminar sus efectos adversos.

Por ende, se propone el estudio “Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes”, haciendo énfasis en la variable edad como un factor crucial en la investigación.

1.1.1 Pregunta de investigación

¿Existe correlación entre el perfil del microplástico presente en muestras de orina y la edad de los participantes?

1.2 Justificación

El aumento en cuanto al uso de plásticos y el mal manejo del mismo ha provocado una ola de contaminación que ha afectado a todo el ecosistema. Por ende, en la actualidad existe presencia de micro plásticos en el aire, agua y suelo, y de manera indirecta se ha incluido también en la cadena alimentaria.

Sin embargo, esta investigación se centrará específicamente en determinar la presencia de microplásticos en la orina humana y en analizar la correlación que existe entre la cantidad de microplásticos y la edad de los participantes. Este enfoque permitirá comprender mejor cómo la exposición varía a lo largo de la vida.

Analizar la presencia de microplásticos en la orina proporcionará la medida de la corporal de estos contaminantes y ayudará a relacionar los niveles de exposición con los posibles efectos adversos en la salud. Además, correlacionar esta presencia en función de la edad permitirá identificar si hay variaciones en la acumulación de microplásticos a lo largo de la vida y si ciertas edades son más vulnerables que otras a los efectos contaminantes. Esto es fundamental para elaborar estrategias de mitigación efectivas para los diferentes segmentos de la población.

1.3 Limitaciones del estudio

Antes de estudiar los micro plásticos y la relación que estos tienen con la edad, es necesario abordar algunas limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, pueden existir diversas fuentes de contaminación, como por ejemplo los equipos de laboratorio, que limiten la detección clara de las partículas de micro plásticos provenientes únicamente de los participantes.

Además, la tecnología y los equipos usados para la detección de micro plásticos específicamente en muestras biológicas aún está en desarrollo, por ende, puede ser un desafío la exactitud de los resultados.

Finalmente, el tamaño de la muestra y las diferencias demográficas de los participantes pueden limitar los hallazgos en la población en general.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Determinar el perfil de microplásticos presente en muestras de orina humana a través de técnicas de laboratorio especializadas, estableciendo la correlación con la edad de los participantes.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de microplásticos presentes en muestras de orina mediante microscopia invertida de fluorescencia, con el propósito de evaluar su nivel de ingesta.
- Establecer la morfología de los microplásticos identificados en las muestras de orina utilizando técnicas de microscopia invertida de fluorescencia, con el propósito de caracterizar los mismos.
- Clasificar las diferentes clases de microplásticos presentes en muestras de orina utilizando FTIR, estableciendo su procedencia.

1.4.3 Hipótesis

El trabajo de investigación plantea la siguiente hipótesis: Existe una correlación significativa entre el perfil del microplástico presente en muestras de orina y la edad de los participantes.

2 CAPITULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Estado del arte

Cuando hablamos de microplásticos podemos decir que es un tema relativamente nuevo y no se abordado a profundidad, sin embargo, existen algunos estudios relacionados a su presencia en diversos ámbitos y con distintos enfoques, por ende, es necesario conocer esas investigaciones para poder tener un panorama claro sobre el impacto de los microplásticos en el ecosistema. A continuación, se resaltan las investigaciones más importantes sobre la detección y el análisis de los microplásticos en las muestras de orina, con el objetivo de evaluar su presencia y las posibles correlaciones con distintos factores.

La revisión bibliográfica: “Microplastics: challenges of assessment in biological samples and their implication for in vitro and in vivo effects” detalla que los microplásticos se originan de productos cotidianos y la degradación de plásticos más grandes. Además menciona que los estudios in vitro e in vivo han mostrado que los MPs pueden causar toxicidad celular, inflamación y alteraciones metabólicas, dependiendo de su tamaño, forma y composición. Sin embargo, evaluar su presencia en muestras biológicas es complejo debido a la falta de métodos estandarizados y riesgo de contaminación cruzada. (Méndez-Rodríguez et al., 2023)

En un estudio realizado en Turquía, se analizaron 14 marcas de leche para identificar la presencia de microplásticos. Se encontraron microplásticos en forma de fibras y fragmentos, con cinco tipos de polímeros. El promedio de microplásticos encontrado fue de 6 ± 5 partículas/L. La exposición media para personas mayores de 15 años fue de 0.21

partículas/mL/día y 5289 partículas/mL/70 años. El 64 % de las muestras analizadas mostraron un nivel aceptable de exposición a la contaminación. (Basaran et al., 2023)

Un estudio realizado en Ecuador, se centró en evaluar la presencia de microplásticos en miel, cerveza, leche y bebidas en Ecuador. Se estudió muestras de productos procesados industrialmente como artesanalmente. Utilizando técnicas de microfiltración y degradación de materia orgánica, se identificaron microplásticos en dos formas (fibras y fragmentos) y tamaños variados, con un promedio de 40 MPs/L. Los principales polímeros encontrados fueron polietileno, polipropileno y poliacrilamida. Se determinó que la contaminación por microplásticos ocurre principalmente durante el proceso de producción. (Diaz-Basantes et al., 2020)

Es fundamental conocer las técnicas y métodos analíticos que emplean otros autores para abordar la presencia de microplásticos, un artículo aborda los distintos métodos para el análisis de la presencia de microplásticos en distintos alimentos. Dentro de los métodos más representativos tenemos la digestión química, la cual se resume en que puede ser oxidativa, alcalina, ácida o enzimática. Como segundo método, tenemos la separación por densidades y finalmente la filtración; por otro lado, las técnicas analíticas se basan en microscopía y espectroscopía; además de un posible análisis térmico. Las muestras que se detectaron son la sal marina, el pescado, los mariscos, la miel, leche y azúcar. (Kwon et al., 2020)

Un análisis de microplásticos en la sangre humana, estudio 20 personas sanas donde se pudo identificar 24 diferentes tipos de polímeros en 18 muestras, con diferentes concentraciones en cada una, las mismas que van desde 1.84 hasta 4.65 $\mu\text{g/mL}$. Se observó fragmentos de polietileno, etileno, propileno, dieno, y predominaron las partículas que dentro del estudio se categorizaban como fragmentos. La técnica de análisis que se usó fue FTIR para identificar y a

la par categorizar los tipos de polímeros presentes, además de su composición química y las características como tamaño y la forma. (V. L. Leonard et al., 2024)

El siguiente artículo realizó la detección de los microplásticos en varios tipos de tejidos tumorales, se analizó 61 muestras de tumores. Se detectó la presencia de microplásticos en 25 muestras, donde se pudo identificar 3 tipos principales de polímeros: poliestireno, cloruro de polivinilo y polietileno. Además es interesante mencionar que los tumores pulmonares tienen más microplásticos, ya que el 80% de las muestras fueron afectadas con estos contaminantes. (Zhao et al., 2024)

Las técnicas usadas en este artículo son la espectrometría de masas por cromatografía de gases con pirolisis, la cual ayudó directamente a detectar y a su vez cuantificar los microplásticos. A la par se realizó un análisis por citometría de masa, técnica usada para examinar el microambiente inmunológico del tumor y la posible interacción que tiene con los microplásticos. (Zhao et al., 2024)

En cuanto a la detección de microplásticos en los alimentos, es necesario mencionar las técnicas analíticas que se usan para la detección de microplásticos, entre las que destacan la microscopía óptica, y la electrónica, FTIR, Raman y otros métodos térmicos, además de hacer uso de la resonancia magnética nuclear. En cuanto a metodología menciona que se debe aplicar un pretratamiento, como tamizado, filtración, separaciones por densidad y digestión. (Giri et al., 2024)

Otro estudio investigó los microplásticos en el tejido renal y la orina, se tomaron muestras de 10 riñones y 10 muestras de orina, estas muestras fueron procesadas con hidróxido de potasio, y se realizó un análisis de las muestras con espectroscopia MicroRaman. Posteriormente se comparó los espectros con una base de datos y se llegó a obtener 26 partículas de microplásticos en las

muestras con tamaños que van desde los 3 a 13 μm en la orina y entre 1 y 29 μm en riñones. En cuanto a la clase de polímeros, los más representativos fueron polietileno y poliestireno. La conclusión de este artículo muestra que existe presencia de microplásticos tanto en los riñones como en la orina, siendo los riñones los que posiblemente participan en la excreción de partículas de microplásticos. (Massardo et al., 2024)

Así mismo se investigó la presencia de microplásticos en tejido pulmonar, se recolectó 13 muestras de pacientes y los resultados mostraron que existió 29 microplásticos en 11 muestras, teniendo un promedio de 1.42 ± 1.50 MP/g. Los tipos de microplásticos más representativos fueron el polipropileno y polietileno. Se menciona también que la inhalación es la forma en la que los seres humanos son expuestos a los microplásticos que se encuentran en el ambiente. Por ende, esta investigación ayuda a corroborar que los microplásticos pueden acumularse en los pulmones. (Jenner et al., 2022)

De la misma manera es importante conocer sobre métodos de extracción y cuantificación de microplásticos, por ende, un estudio revisó las diferentes metodologías utilizadas, donde se identificó distintos métodos como digestión alcalina, ácida, oxidantes y enzimáticos, además se comentó que el método usado debería ser en base a la química del tejido y a su vez el tamaño de los microplásticos. La eficiencia de la digestión se mide de acuerdo a la eliminación de la materia orgánica, pero sin dañar la composición y estructura de los microplásticos. Dentro de las técnicas analíticas que se estudiaron tenemos el FTIR, Raman y Py-GC-MS. Por otro lado, se menciona que la acumulación de los microplásticos en los tejidos dependerá del tamaño de las mismas, es decir, las más pequeñas penetrarán y se acumularán en los tejidos. (Di Fiore et al., 2024)

Otra investigación abordó la presencia de microplásticos en dos grupos de pacientes, el primer grupo eran pacientes sanos y el segundo paciente con endometriosis. Se tomaron un total de 38 muestras de orina. En los donantes sano se encontraron 123 partículas de micropásticos de 22 distintos tipos de polímeros; mientras que los pacientes con endometriosis identificaron 232 microplásticos con 16 tipos de polímeros. Los polímeros más predominantes en los pacientes sanos fueron polietileno, poliestireno, resinas y polipropileno; mientras que las personas que tenían endometriosis predominó el politetrafluoretileno. No existieron una diferencia significativa en el nivel de micro plástico de ambos grupos, pero lo que si existió es una variación en el tipo de polímero encontrado y el tamaño de las partículas.(Rotchell et al., 2024)

Por otro lado, es necesario conocer, los efectos de los microplásticos en la salud, por ende, un artículo abordó cuales son los efectos tanto de los microplásticos y los nano plásticos en los humanos, donde se menciona que estos microplásticos pueden ingresar al cuerpo por distintas vías, como inhalación, ingestión de alimentos y agua contaminada con plásticos, y también la absorción a través de la piel. Menciona también que una vez que estos plásticos están dentro del cuerpo, estos se bioacumulan y generan problemas en la salud, como trastornos respiratorios, asociados al cáncer de pulmón y el asma, también síntomas neurológicos como fatiga, mareos y enfermedades inflamatorias del intestino. A demás menciona que la presencia de estos micro y nano plásticos inducen apoptosis celular y tienen efectos genotóxicos y citotóxicos en el organismo.(Winiarska et al., 2024)

También se revisó un artículo donde se aborda la presencia de los microplásticos en el líquido amniótico y la placenta de mujeres que tienen hijos prematuros. La investigación se realizó en 20 muestras de líquido amniótico y placenta, de 10 mujeres. La técnica que se utilizó es el análisis mediante FTIR. Como resultado se obtuvo que en 9 de las 10 mujeres se encontró microplásticos ya sea en la placenta en el líquido amniótico o en otros casos en ambos. En total

se observaron 44 partículas de microplásticos, entre los que destacan polietileno clorado y estabilizador de PC. El tamaño de las partículas fue de 10 y 50 μm . (Halfar et al., 2023)

2.2 Marco conceptual

Termoplástico: Los termoplásticos son materiales plásticos que cuando se calientan se vuelven maleables o moldeables es decir tienen consistencia líquida. La mayoría son compuestos de alto peso molecular. Sin embargo, el proceso es reversible, permitiendo que los termoplásticos sean reciclados y reutilizados múltiples veces sin cambios significativos en sus propiedades físicas.

Micro plásticos: Los microplásticos son fragmentos de plástico de menos de 5 mm de diámetro. Estos pequeños fragmentos provienen de productos más grandes que se han descompuesto a lo largo del tiempo o a su vez pueden ser fabricados en ese tamaño.

Microplásticos primarios: Los microplásticos primarios se caracterizan por ser especiales, ya que después que se los usa pueden regresar a su forma original. Dentro de los microplásticos se incluyen microesferas utilizadas en productos de cuidado personal y pellets que son usados para fabricar productos plásticos.

Microplásticos secundarios: Los microplásticos secundarios se originan cuando los productos plásticos más grandes se descomponen en fragmentos más pequeños. Esta fragmentación puede ocurrir debido a la exposición a elementos ambientales como la radiación solar, el viento y la fricción mecánica.

Nanoplásticos: Los nanoplásticos son partículas de plástico con un tamaño inferior a 100 nanómetros. Sus propiedades físicas y químicas difieren de las de los microplásticos de mayor tamaño, y tienen la capacidad de atravesar barreras biológicas con mayor facilidad, lo que incrementa su potencial para causar efectos negativos en la salud de los organismos.

Fragmentos plásticos: Los fragmentos plásticos pedazos de plástico de diferentes tamaños que se obtienen a partir de la descomposición de objetos plásticos más grandes. Estos fragmentos tienen diversas formas y dimensiones, y contribuyen a la contaminación ambiental debido a su persistencia prolongada en el entorno.

Fibras plásticas: Las fibras plásticas son hilos finos de material plástico que pueden originarse de telas sintéticas, y demás artículos. Constituyen una forma frecuente de microplásticos presentes en el medio ambiente, especialmente en entornos acuáticos, y pueden ser consumidas por seres vivos tanto marinos como terrestres.

Fluorescencia: La fluorescencia es un fenómeno en el que un material emite luz después de haber sido expuesto a una determinada longitud de onda.

Fluorocromos: Los fluorocromos son aquellos compuestos que emiten luz fluorescente y se utilizan distintas técnicas de fluorescencia para marcar y detectar microplásticos en muestras. Estos compuestos pueden ser específicos para ciertos tipos de plásticos, lo que permite una detección más precisa.

Espectroscopia: La espectroscopia es una técnica que mide la interacción de la luz con ciertas sustancias. Para la detección de microplásticos, se va a hacer uso de la espectroscopia infrarroja (IR).

Espectro IR: El espectro infrarrojo se usa en la identificación de microplásticos mediante la espectroscopia infrarroja, el cual va a medir ciertas vibraciones moleculares que son específicas de los polímeros plásticos.

Bioacumulación: La bioacumulación se refiere a la acumulación netamente de partículas de micro plásticos en un periodo de tiempo. Siendo este proceso capaz de retener las partículas en tejidos y órganos, causando efectos negativos.

2.3 Bases teóricas

Definición de Microplásticos

Los microplásticos son diminutas partículas de plástico que varían en tamaño desde 1 hasta 5 milímetros. Estas partículas se pueden dividir en microplásticos primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son creados intencionalmente para usar en productos cosméticos. Mientras que los microplásticos secundarios, se generan a partir de la descomposición de plásticos más grandes en el medio ambiente. Los microplásticos tienen diversas formas y coloraciones.

Efectos de las partículas de microplásticos en los organismos.

Los estudios in vivo han demostrado que la exposición a microplásticos puede tener efectos adversos significativos en organismos vivos. Entre estos efectos se encuentran la inflamación y el estrés oxidativo, que pueden dañar células y tejidos. Los microplásticos también pueden causar alteraciones metabólicas y toxicidad celular, interfiriendo con funciones biológicas críticas. La acumulación de microplásticos en órganos como el hígado, los riñones, y el intestino ha sido documentada, y se ha asociado con la disfunción de sistemas biológicos importantes. Los microplásticos pueden actuar como vectores para otros contaminantes químicos, aumentando su potencial tóxico y el riesgo para la salud. (Méndez-Rodríguez et al., 2023)

Determinación de microplásticos en muestras biológicas (técnicas más usadas)

La determinación de microplásticos en muestras biológicas es un proceso complejo que requiere técnicas avanzadas para asegurar la precisión y la reproducibilidad. Las técnicas más utilizadas incluyen la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). La microscopía electrónica permite la visualización detallada de las partículas de microplásticos, mientras que la FT-IR se utiliza para identificar la

composición química de los polímeros. Además, la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) se utiliza para identificar y cuantificar los microplásticos y sus aditivos químicos. Estas técnicas permiten una identificación precisa y una cuantificación de los microplásticos presentes en tejidos y fluidos biológicos. (Méndez-Rodríguez et al., 2023)

Detección de microplásticos en fluidos biológicos

Para detectar microplásticos en fluidos biológicos, se aplican una serie de técnicas que incluyen la filtración y la digestión enzimática o química para eliminar la materia orgánica. Posteriormente, los microplásticos se analizan mediante microscopía óptica y electrónica, así como espectroscopía FT-IR. Estas técnicas permiten identificar y cuantificar microplásticos en fluidos corporales como sangre, orina, y saliva. La precisión de estos métodos es crucial para evitar la contaminación cruzada y garantizar la exactitud de los resultados. (Barceló et al., 2023)

Evaluación de la exposición de microplásticos en humanos

La evaluación de la exposición humana a microplásticos implica la utilización de estudios de biomonitorización y modelos de estimación. Los estudios de biomonitorización analizan muestras biológicas como sangre, heces, y tejidos para detectar la presencia de microplásticos. Los modelos deterministas y estocásticos se utilizan para estimar la ingesta diaria de microplásticos a través de la dieta y la inhalación. Estos modelos consideran variables como la cantidad de microplásticos presentes en los alimentos y bebidas, la frecuencia de consumo, y la tasa de inhalación de partículas en diferentes entornos. (Méndez-Rodríguez et al., 2023)

Vías de exposición

Las principales vías de exposición a microplásticos en humanos son la ingestión y la inhalación. Los microplásticos pueden entrar al cuerpo humano a través de alimentos y bebidas contaminadas, incluyendo agua embotellada, sal de mesa, miel, y cerveza. Además, la inhalación de partículas presentes en el aire, especialmente en áreas urbanas con alta contaminación atmosférica, representa otra vía significativa de exposición. Otras posibles vías incluyen el contacto dérmico, aunque su contribución es menor en comparación con la ingestión y la inhalación.(Damaj et al., 2024)

Ruta de transporte del microplástico

Los microplásticos pueden ser transportados a través del medio ambiente mediante el viento y el agua. En el aire, pueden desplazarse largas distancias y depositarse en suelos y cuerpos de agua. En el agua, los microplásticos pueden ser transportados por corrientes y llegar a los océanos, donde pueden ser ingeridos por organismos acuáticos y entrar en la cadena alimentaria. Los microplásticos también pueden acumularse en sedimentos y ser liberados nuevamente al medio ambiente mediante procesos de erosión y resuspensión.(Damaj et al., 2024)

Legislación actual sobre MPs

La legislación sobre microplásticos varía considerablemente a nivel mundial. En la Unión Europea, se han implementado regulaciones estrictas para limitar la adición de microplásticos

en productos cosméticos y detergentes. También se han establecido directrices para reducir la producción y el uso de plásticos de un solo uso, promoviendo el reciclaje y la economía circular. En otros países, las regulaciones están en desarrollo, enfocándose en la gestión de residuos plásticos y la reducción de la contaminación plástica. La investigación y el monitoreo continuo son esenciales para informar y mejorar las políticas existentes, garantizando una protección efectiva del medio ambiente y la salud pública. (Damaj et al., 2024)

3 CAPITULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 Nivel de investigación

Esta investigación va enfocada en la identificación y estudio de la presencia de microplásticos en las muestras de orinas de diferentes grupos de etarios. Al catalogar a esta investigación como una investigación descriptiva y observacional, se da a entender que las variables no han sido manipuladas, sino que se han limitado a la observación y se describe la situación tal cual, como se presenta sin la introducción de variables externas que pudieran afectar los resultados.

3.1.2 Diseño de investigación

La investigación descriptiva es uno de los métodos de investigación que busca caracterizar y describir los fenómenos sin que se produzca ningún tipo de interferencia en ellos, en este caso, el estudio que se ha desarrollado se enfoca en la identificación de microplásticos que se encuentran presentes en las muestras de orina de los individuos que participaron. Lo que permite observar datos sobre su distribución y sobre sus características en la población estudiada.

Este enfoque es fundamental ya que permite a los investigadores obtener una visión amplia, clara y a la vez precisa de la situación, sin que exista una influencia de variables externas que podrían incidir de alguna manera en los resultados obtenidos.

Los estudios dentro de la identificación descriptiva son particularmente útiles en las situaciones donde no es posible realizar estos experimentos siendo debidamente controlados en este caso en particular la recolección de las muestras fue llevada a cabo en condiciones naturales lo que

con esto se encuentra garantizado que los resultados reflejen la realidad de la presencia de microplásticos en la orina de los participantes; siendo esto crucial para la validez de los hallazgos, ya que cualquier tipo de manipulación podría introducir sesgos que afectarían de forma directa la interpretación de los datos obtenidos.

La primera fase llevada a cabo dentro de la investigación consiste en la recolección de muestras de diferentes grupos de etarios este proceso es crucial, ya que permite establecer una base de datos concisa que luego será analizada y debidamente comparada la recolección de muestra es en condiciones naturales asegura que los datos que son obtenidos sean representativos a la población que ha sido estudiada.

Una de las características distintivas de esta investigación es que no se introducen variables externas, lo que significa que los investigadores se limitan a la observación y al registro de lo que ocurre sin intentar influir tanto en el comportamiento de los sujetos como en las condiciones del entorno. Con esto se está dando paso a una confrontación directa entre las diversas muestras recolectadas y facilitando la identificación de patrones, así como también de tendencias en la presencia de los microplásticos.

3.1.3 Población y muestra

El estudio se llevará a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana, donde se recopilará información de estudiantes pertenecientes a dos carreras de la institución. Teniendo como un estimado de individuos participantes aproximadamente 150, quienes por sus edades pertenecen a dos grupos distintos.

Se recopiló muestras de edades de entre los 17 años en adelante. Este enfoque diferenciado en la edad permite explorar posibles variaciones en la correlación entre las muestras de orina y la edad en diferentes etapas de la vida adulta emergente.

Para determinar la muestra se tomó a una población de 150 estudiantes correspondientes a dos carreras de la Universidad Politécnica Salesiana, para lo cual usamos la fórmula descrita a continuación:

$$n = \frac{N \times z_c^2 \times p \times q}{(N - 1) \times e^2 + Z_c^2 \times p \times q}$$

Donde tenemos que n es el tamaño de la muestra, es decir, el valor que estamos buscando. N será el total de elementos de toda la población que se tomó, en este caso el número de estudiantes, docentes de las dos carreras de la Universidad Politécnica Salesiana. Por otro lado, zeta crítico es el nivel de confianza del 95% y el coeficiente tendrá un valor de 2. Mientras que S es el valor de la desviación crítica estándar. Mientras que la letra e corresponde al error muestral que será de un 5%. La p hace referencia a la proporción de una cantidad con respecto a otra mayor.

Una vez desarrollada la fórmula con los valores descritos tenemos como resultado que el tamaño de la muestra será 40

3.1.4 Variables

Teniendo en cuenta el tipo de investigación se consideró las variables descritas a continuación:

3.1.4.1 Independientes

- Perfil del microplástico

- Edad de los participantes

3.1.4.2 Operacionalización de variables

A continuación, se expone la tabla de las variables y su operacionalización:

Tabla 1

Variables, dimensiones e indicadores

Variable	Dimensiones	Indicadores
		Forma: Fibra o partícula
		Numero de microplasticos por unidad de volumen (MP/100MI)
Perfil de microplasticos	Clase Concentración Morfología	Tipo: (polietileno,porpileno, poliestireno)
Edad	Grupo etario	17-23 años 23 años en adelante

Nota: Esta tabla muestra las variables, sus dimensiones e indicadores mostrando las dos variables con las que se van a trabajar. Elaboración propia

3.1.5 Técnicas de recolección de datos

Para que esta investigación sea viable se lleva a cabo en base a dos técnicas principales que son el análisis documental y la interpretación de los resultados dada por parte de los autores. Con la aplicación de estas técnicas se garantiza que los resultados que se obtengan serán precisos y fundamentados.

Como primer punto se destaca la importancia de realizar una investigación en diversas fuentes, lo que implica la recopilación de información a partir de bases de datos académicos, revistas científicas, libros, repositorios de carácter especializado, etc. El objetivo de esta fase es el de construir una fase teórica sólida con la cual se sustentan la investigación. Al reunir información relevante los investigadores pueden obtener un marco de referencia que les permite entender de mejor manera el contexto del estudio planteado.

Con la recopilación de la información se procederá a realizar un análisis exhaustivo, el mismo que tiene como fin la identificación de patrones, tendencias y hallazgos relevantes que puedan surgir de la revisión de la literatura.

Dentro del proceso esta etapa es crucial, ya que permite a los investigadores conceptualizar los resultados de la investigación de campo e ir integrando los hallazgos obtenidos en la literatura científica existente, con lo cual se fortalece la validez de las conclusiones alcanzadas.

Con este proceso se deja indicado que una metodología rigurosa dentro de una investigación, destacando el papel del análisis documental como un medio eficaz con el cual se garantiza resultados confiables y que se encuentren respaldados por la evidencia científica. Con este tipo de metodología no solo se asegura la credibilidad, sino que ayuda a la comprensión y el

entendimiento de cuál es el impacto que causa los microplásticos en la salud de los seres humanos.

El protocolo riguroso para la recolección de muestras de orina, destaca la importancia de seguir un procedimiento estricto con el cual se evita la contaminación. Con el uso de equipos modernos y con tecnología avanzada como es el microscopio de fluorescencia y la espectroscopía FTIR, han sido una herramienta fundamental ya que con estos instrumentos se permiten una detección más precisa de los microplásticos, lo que es elemental para obtener datos confiables y verídicos.

Al combinar varias técnicas, como son la recolección y el análisis de datos detallado, es un acoplamiento esencial, ya que mediante esta se garantiza la validez y veracidad de las conclusiones sobre la presencia de microplásticos en la orina de los seres humanos.

El tratamiento que se dé a los datos obtenidos dentro de la investigación sobre la presencia de los microplásticos, se enfocará en la caracterización de las partículas que se encuentren en las muestras de orina. Con los mismos se podrá identificar cuál es el tipo, el tamaño y la cantidad de microplásticos presentes. Esta caracterización es fundamental, pues nos ayuda a comprender la distribución y las posibles fuentes de contaminación.

Además, se llevará a cabo análisis estadísticos, con el cual se podrá evaluar la relación entre la presencia de los microplásticos y las variables demográficas como es la edad de los participantes, para ello se utilizará un software estadístico que permitirá calcular correlaciones y otros indicadores relevantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se compararán con la información de las fuentes científicas estudiadas, lo que nos ayudará a validar los hallazgos y a asegurar que las conclusiones estén bien fundamentadas y respaldadas por evidencias científicas.

Dentro de este enfoque integral no sólo se estaría proporcionando datos cuantitativos y cualitativos, sino que también se establece un marco sólido para entender cuál es el impacto de los microplásticos en la salud de los seres humanos y su relación con los factores demográficos.

3.1.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para realizar el procesamiento y por ende el análisis de datos se emplearon diversas técnicas. Como primera técnica se utilizó Excel para la organización de tablas y la generación de gráficos basados en los datos preliminares. Lo que permitió con esto una recolección estructurada y una visualización inicial de la información, esta etapa nos facilitó una primera aproximación a los datos recopilados.

Luego de esto se realizó un análisis más exhaustivo y profundo, utilizando RStudio, un software estadístico que nos permitió llevar a cabo los análisis avanzados necesarios. Entre estos análisis se incluyó la correlación de Spearman que ayudó a evaluar cuáles son las relaciones entre las variables estudiadas de manera más detallada.

Este enfoque que se dio al procesamiento y análisis de datos, asegura que los resultados sean más precisos y que se obtenga una comprensión clara de las interacciones entre las diferentes variables que se presentaron dentro del estudio.

Esto permitió que la información se recolectara de manera organizada y se pudiera ver de forma simple al inicio. Esta etapa nos dio una primera idea de los datos que habíamos juntado. Después, se hizo un análisis más completo y detallado usando RStudio, un programa que nos ayudó a hacer los análisis necesarios.

Entre estos análisis, se utilizó la correlación de Spearman, que nos ayudó a entender mejor las relaciones entre las diferentes variables que se estaban estudiando. Este método de trabajar con los datos asegura que los resultados sean más exactos y que podamos entender claramente cómo interactúan las distintas variables en el estudio.

Para trabajar con los datos, se emplearon diferentes métodos. Primero, se usó Excel para organizar la información en tablas y hacer gráficos simples, lo que ayudó a tener una idea clara de lo que se tenía. Después, se llevó a cabo un análisis más detallado de las relaciones entre los datos utilizando RStudio, un programa que hizo más fácil realizar análisis estadísticos más complicados y que permitió entender mejor cómo se relacionan las diferentes variables que se estudiaron.

3.1.7 Materiales, reactivos, equipos

- Recipientes de recolección de orina
- Filtros de microfiltración
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%
- Reactivos de Fenton
- Rojo de Nilo
- Agua destilada
- Embudo de filtración
- Bomba de vacío
- Microscopio de fluorescencia
- Espectroscopio FTIR
- Guantes y equipo de protección

3.1.8 Metodología para extracción de microplásticos de matriz

3.1.8.1 Procedimiento

Preparación de la Muestra:

Para iniciar el análisis, se colocan 100 mL de muestra de orina humana en un vaso de precipitación de 200 mL, debidamente etiquetado, preparándola para la digestión ácida posterior.

Proceso de Digestión de la muestra:

Se añaden 20 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30% v/v. El recipiente se sella con papel aluminio y se deja reposar durante 72 horas para asegurar una completa digestión ácida.

Reacción de Fenton:

Después de la digestión, se añaden 20 mL de sulfato de hierro 0.05 M al volumen resultante y se incorporan 3 mL de ácido sulfúrico como catalizador. La mezcla se calienta con agitación, manteniendo una temperatura máxima de 75 grados Celsius durante 30 minutos. Luego, se agregan 20 mL de una solución acuosa de NaCl al 5 M y se agita hasta obtener una solución homogénea.

Sedimentación:

Para la separación por sedimentación, la muestra se transfiere a un embudo de decantación y se deja reposar por 72 horas, evitando la exposición a la luz. Tras este período, se descarta la parte sedimentada y el sobrenadante se coloca en un vaso de precipitación correctamente etiquetado.

Microfiltración:

La solución obtenida se filtra al vacío utilizando un filtro de éster de celulosa mixta (MCE) con un tamaño de poro de 0.45 micrómetros y un diámetro de 47 mm.

Secado:

Los filtros se fijan a portaobjetos para evitar pliegues y se guardan en una caja de Petri de vidrio debidamente etiquetada para evitar la contaminación cruzada. Se dejan secar a temperatura ambiente durante 24 horas, evitando la exposición a la luz.

Tinción:

Finalmente, se aplica rojo de Nilo a los filtros, que se dejan secar a temperatura ambiente durante una hora en la caja de Petri de vidrio para evitar contaminación. Una vez secos, los filtros se observan con un microscopio invertido de fluorescencia para la visualización de los microplásticos.

4 CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación del perfil de los microplásticos

Usando un microscopio invertido de fluorescencia y espectroscopía FTIR, hemos logrado obtener varios resultados. Estos análisis nos han ayudado a identificar y describir con detalle los microplásticos que encontramos en las muestras de orina de los individuos, dándonos información importante sobre el tipo, la forma y la cantidad de partículas que se detectaron en cada grupo de edad que fue estudiado. A continuación, se presentan los resultados que observamos:

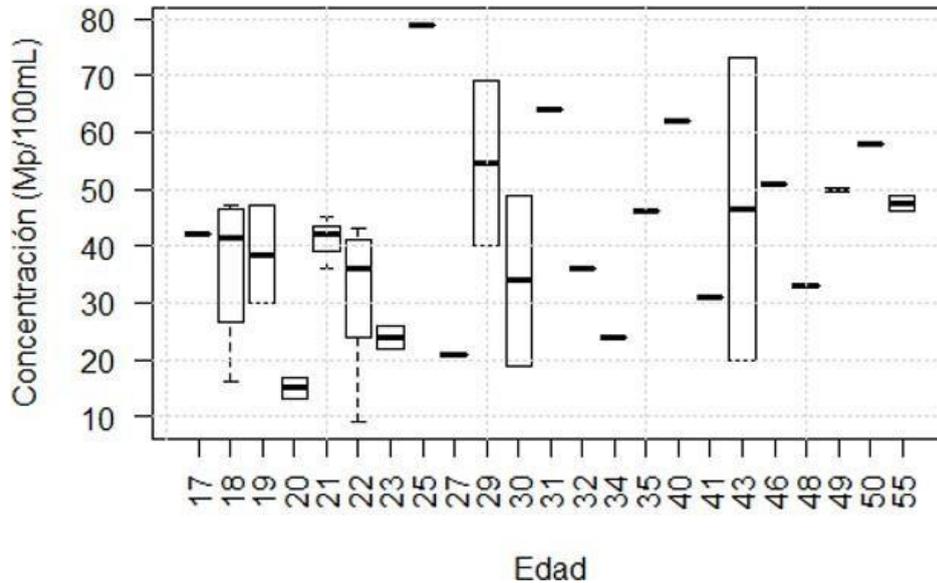
4.1.1 Procesamiento de la concentración de microplásticos

A continuación, se presentará el procesamiento de datos de la concentración de microplásticos, los cuales han sido comparadas por medio de un diagrama de caja y bigotes. Este diagrama permitirá visualizar la distribución y la dispersión de las concentraciones de microplásticos en función de las diferentes edades de los sujetos.

Gráfico 1

Figura 1

Diagrama de caja y bigotes de concentraciones totales y edad de participantes



Nota. La figura muestra cada edad y la concentración de microplásticos medido en (Mp/100mL)

El gráfico 1 presenta un diagrama de caja y bigotes muestra la distribución de las concentraciones de microplásticos (Mp/100mL) en diferentes grupos etarios. Las edades 20 y 22 presentan una mayor dispersión en las concentraciones, con varios outliers indicando variabilidad. Otros grupos de edad, como 21, 23, 27, 34 y 49, muestran una dispersión menor, sugiriendo una concentración más consistente. Notablemente, en algunos grupos de edad, como 17 y 50, solo hay un valor de concentración, lo que dificulta el análisis estadístico.

Para abordar esto, vamos a dividir los datos en dos grupos de edad, como se muestra en la tabla siguiente. Esto nos permitirá hacer una comparación más sólida y evitar que los resultados se vean afectados por la falta de variedad en algunos grupos de edad. Gracias a la fluorescencia y la espectroscopía FTIR, hemos obtenido varios resultados. Estos análisis nos han ayudado a

identificar y describir con detalle los microplásticos que encontramos en las muestras de orina, dándonos información importante sobre el tipo, la forma y la cantidad de partículas que se detectaron en cada grupo de edad estudiado. A continuación, se presentan los resultados que observamos:

Tabla 2

Concentración de microplásticos en 100 mL de muestra en ambos grupos

Grupo 1			Grupo 2		
Número de muestra	Edad	Concentración (Mp/100mL)	Número de muestra	Edad	Concentración (Mp/100mL)
M1	20	13	M1	30	49
M2	18	16	M2	48	33
M3	18	37	M3	25	79
M4	22	24	M4	29	69
M5	22	41	M5	31	64
M6	19	47	M6	40	62
M7	18	46	M7	55	46
M8	21	42	M8	43	73
M9	23	26	M9	46	51
M10	20	17	M10	50	58
M11	22	43	M11	49	50
M12	19	30	M12	43	20

M13	17	42	M13	32	36
M14	21	36	M14	29	40
M15	22	35	M15	35	46
M16	18	47	M16	41	31
M17	23	22	M17	27	21
M18	21	45	M18	55	49
M19	22	9	M19	34	24
M20	22	37	M20	30	19
Media		32,75			47,5
Mediana		32,75			47,5
Rango					
intercuartilico		32,75			47,5

Nota. La tabla muestra tanto las edades de cada participante como la concentración total de microplásticos en cada muestra, medido en Mp/100mL.

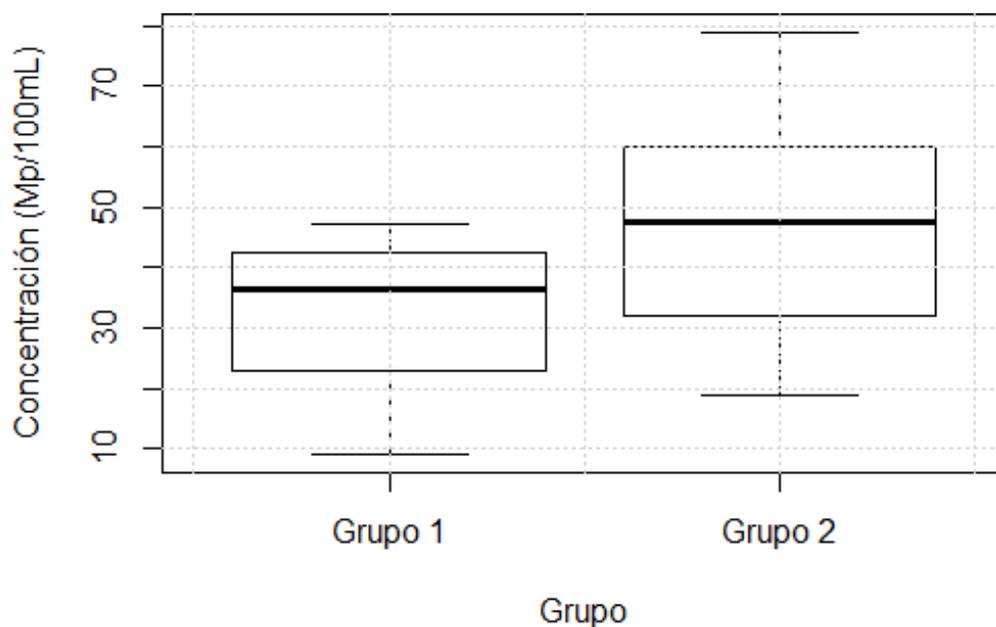
La tabla 3 presenta la concentración de microplásticos en 100 mL de muestra dividida en dos grupos de edad. El Grupo 1 incluye a participantes jóvenes de entre 17 y 23 años, con concentraciones de microplásticos que varían entre 9 y 47 Mp/100mL. El Grupo 2 comprende adultos de entre 25 y 55 años, con concentraciones que oscilan entre 19 y 79 Mp/100mL. Se observa una mayor variabilidad y concentraciones más altas en el Grupo 2 en comparación con el Grupo 1, sugiriendo posibles diferencias en la exposición o acumulación de microplásticos según la edad. Cada grupo contiene 20 muestras, proporcionando una visión comparativa crucial sobre la presencia de microplásticos en diferentes etapas de la vida

Por otro lado, la tabla 3 muestra que la concentración media de microplásticos es mayor en el Grupo 2 (47.5 Mp/100 mL) comparado con el Grupo 1 (32.75 Mp/100 mL), indicando que los adultos tienden a tener una mayor acumulación de microplásticos en sus muestras de orina. La mediana es igual a la media en el Grupo 2, sugiriendo una distribución simétrica, mientras que en el Grupo 1 la mediana es ligeramente mayor que la media, indicando una ligera asimetría. El rango intercuartílico es mayor en el Grupo 2 (26.5 Mp/100 mL) que en el Grupo 1 (18.75 Mp/100 mL), mostrando una mayor variabilidad en las concentraciones de microplásticos entre los adultos. La media de las edades es 29.5 años, con una mediana de 24 años y un rango intercuartílico de 15.25 años, reflejando una dispersión considerable en la edad de los participantes. Estos datos sugieren patrones de exposición y acumulación de microplásticos diferentes entre jóvenes y adultos.

El diagrama de caja y bigotes muestra la distribución de las concentraciones de microplásticos (Mp/100 mL) en dos grupos de edad.

Figura 2

Diagrama de caja y bigotes de la concentración total de microplástico en los dos grupos de edad



Nota. La ilustración muestra la concentración de microplásticos medido en Mp/100mL en relación con los dos grupos de edad.

El diagrama de caja y bigotes muestra la distribución de las concentraciones de microplásticos (Mp/100 mL) en dos grupos de edad. A simple vista, no se observa una diferencia significativa en las concentraciones entre el Grupo 1 (jóvenes) y el Grupo 2 (adultos). Aunque el Grupo 2 muestra una mayor variabilidad y valores más altos en la concentración de microplásticos, con un rango intercuartílico mayor (26.5 Mp/100 mL) en comparación con el Grupo 1 (18.75 Mp/100 mL), las medianas de ambos grupos son similares, situándose en 36.5 Mp/100 mL para el Grupo 1 y 47.5 Mp/100 mL para el Grupo 2.

Esto sugiere que, aunque los adultos pueden tener una mayor dispersión y algunos valores más extremos, la concentración central de microplásticos no difiere drásticamente entre jóvenes y adultos.

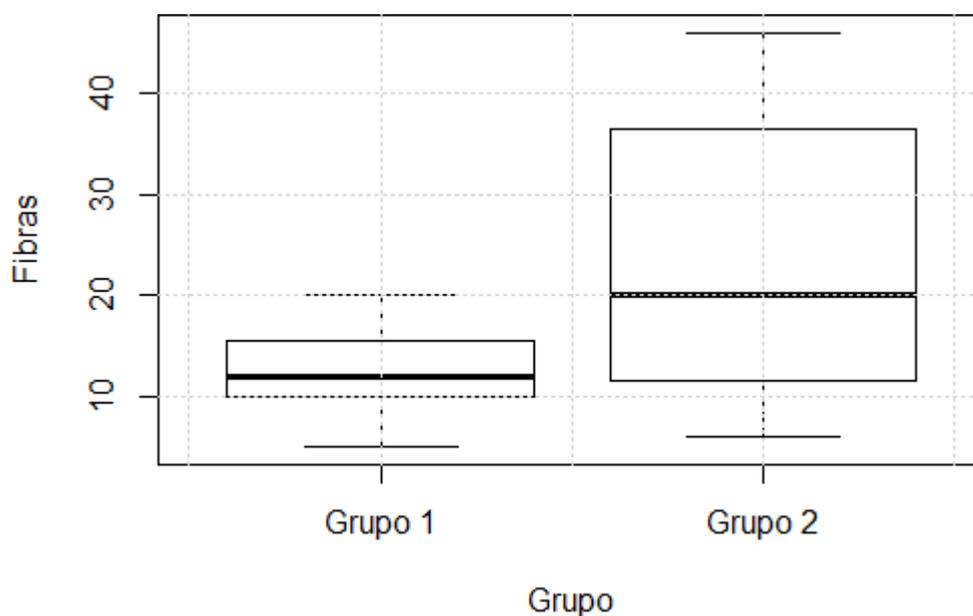
4.1.2 Procesamiento de la morfología

Para procesar los datos sobre la forma de los microplásticos, se utilizó el mismo método que para medir la concentración. Esto significa que hubo edades con solo un resultado, lo que llevó a agrupar los datos en diferentes grupos de edad. Esta agrupación nos permitió hacer comparaciones más sólidas y evitó que los resultados se distorsionaran por la falta de variedad en ciertos grupos de edad.

El diagrama de caja y bigotes muestra cómo se distribuyen las fibras en los dos grupos de edad.

Figura 3

Diagrama de caja y bigotes: Concentración de fibras y edades



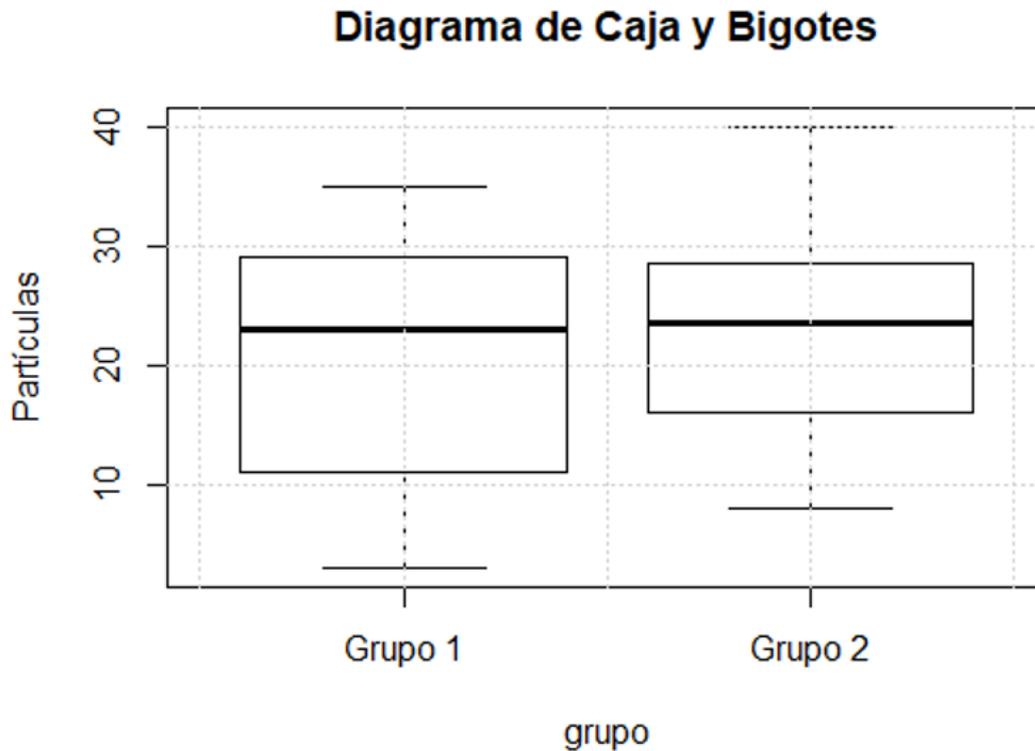
Nota. La figura ilustra la relación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes, divididos en dos grupos etarios.

El gráfico 3 muestra un diagrama de caja y bigotes que muestra la distribución de las fibras en dos grupos de edad. En el Grupo 1, que representa a los jóvenes, la mediana de las fibras es baja y la variabilidad es relativamente pequeña, con la mayoría de los valores concentrados entre 10 y 20 fibras. Por otro lado, el Grupo 2, que representa a los adultos, muestra una mayor dispersión en los valores de las fibras, con una mediana más alta y un rango intercuartílico considerablemente mayor, indicando una mayor variabilidad en las muestras. Esto sugiere que los adultos tienden a tener una mayor cantidad y variabilidad de fibras en comparación con los jóvenes.

El diagrama de caja y bigotes muestra la distribución de partículas en dos grupos de edad.

Figura 4

Diagrama de caja y bigotes: Concentración de partículas y edades



Nota. La ilustración muestra las distintas concentraciones de las partículas en relación a la edad de los grupos de participantes, siendo el grupo 1 personas entre los 17 a 23 años y el grupo 2 personas de 23 años en adelante.

En el Grupo 1, que representa a los jóvenes, la mediana de partículas se sitúa alrededor de 25, con una dispersión moderada y valores que oscilan principalmente entre 15 y 35 partículas. En el Grupo 2, que representa a los adultos, la mediana es similar, también alrededor de 25, pero la variabilidad es ligeramente menor, con la mayoría de los valores entre 20 y 30 partículas. Ambos grupos presentan algunos outliers, pero en general, no se observa una diferencia significativa en la concentración central de partículas entre los dos grupos. Esto sugiere que la

cantidad de partículas no varía drásticamente entre jóvenes y adultos, mostrando distribuciones bastante similares.

4.1.3 Procesamiento de las clases de polímeros encontrados

Gracias al procesamiento de los datos, pudimos identificar qué tipos de microplásticos estaban presentes. Para esto, utilizamos una técnica llamada espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). A continuación, se presentan los resultados que obtuvimos, destacando los diferentes tipos de microplásticos que encontramos en las muestras que estudiamos.

Para realizar el procesamiento del tipo de microplástico, se tomó el 40% de las muestras, es decir, 20% para cada grupo etario, haciendo un análisis total de cada filtro. Por lo tanto, se pudo establecer un patrón de microplásticos, los cuales se enlistan a continuación.

Es necesario mencionar que se aplicó el mismo procesamiento de datos que los puntos anteriores, agrupando los datos de acuerdo a rangos de edad.

Tabla 3

Tipos de polímeros encontrados en 100 m L de muestra en ambos grupos

Tipo de polímero encontrado			
Edad	Tipo de plástico	Cantidad encontrada	Porcentaje referente
	Poliester	11	12,64367816
	Nylon	15	17,24137931
17-23 años	Poly(ethylene terphtha)	43	49,42528736
	Polipropileno isotactic	12	13,79310345
	Otros	6	6,896551724
	Total	87	
Tipo de plástico			
	Tipo de plástico	Cantidad encontrada	Porcentaje referente
	Poliester	8	8,888888889
	Nylon	28	31,11111111
23-> años	Poly(ethylene terphtha)	26	28,88888889
	Polipropileno isotactic	18	20
	Otros	10	11,11111111
	Total	90	

Nota. La ilustración muestra el tipo de micro plástico y la cantidad encontrada en el total de las muestras referentes a cada grupo, así mismo muestra el porcentaje que representa cada tipo de micro plástico.

La comparación entre los dos grupos de edad muestra diferencias en la cantidad y el tipo de microplásticos que se encontraron. En el grupo de 17 a 23 años, el polietileno tereftalato es el microplástico más común, representando casi la mitad de todos los microplásticos hallados (49,43%). Esto sugiere que este grupo de edad está más expuesto a productos o ambientes donde se usa mucho este tipo de plástico. Además, otros microplásticos como el Nylon y el Polipropileno isotáctico también están presentes, aunque en menor cantidad.

Por otro lado, en el grupo de 23 años en adelante, se observa una mayor variedad de tipos de microplásticos. El Nylon es el más común, representando el 31,11% del total, seguido de cerca por el polietileno tereftalato con un 28,89% y el polipropileno isotáctico con un 20%. Esta diversidad puede indicar que hay diferentes fuentes de exposición a microplásticos en comparación con el grupo más joven, lo que podría reflejar diferencias en los hábitos de consumo, actividades y la exposición al medio ambiente de las personas en este grupo de edad.

4.2 Análisis estadístico

4.2.1 Análisis de la correlación de concentración con la edad

Para determinar el tipo de correlación con la que se va a trabajar, se tiene que revisar los supuestos de las pruebas, en este caso, se usara la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si los datos, tanto de la edad como de la concentración tienen una distribución normal.

Tabla 4

Prueba de Shapiro Wilk para la concentración total de microplasticos

w	p-value	Resultado
----------	----------------	------------------

Edad	0,86019	0,0001606	No sigue distribución normal
Concentración	0,97571	0,5343	Distribución normal

Nota. La tabla muestra los resultados de haber realizado la prueba de Shapiro Wilk donde se determina que la edad no cumple con la normalidad mientras que la concentración si.

Como podemos observar en la tabla 4, la edad no cumple con los valores para seguir una distribución normal, mientras que la concentración si, por ende, en este caso, se tendría que realizar el análisis con la correlación de Spearman, siendo esta una alternativa no paramétrica para el análisis de los datos.

Para realizar el análisis de la correlación debemos plantear las hipótesis estadísticas, las cuales se detallan a continuación:

Para la concentración de microplásticos las hipótesis serán las siguientes:

- $H_0: \rho=0$

No existe correlación entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes.

- $H_1: \rho \neq 0$

Existe una correlación entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes.

Con los datos obtenidos de la concentración de microplásticos (MP/100mL) en relación con la edad, debemos realizar la prueba no paramétrica de Spearman. Dándonos como resultado los siguientes datos:

Tabla 5

Correlación de Spearman para concentración total

s	p-value	rho
7270	0,04553	0,31

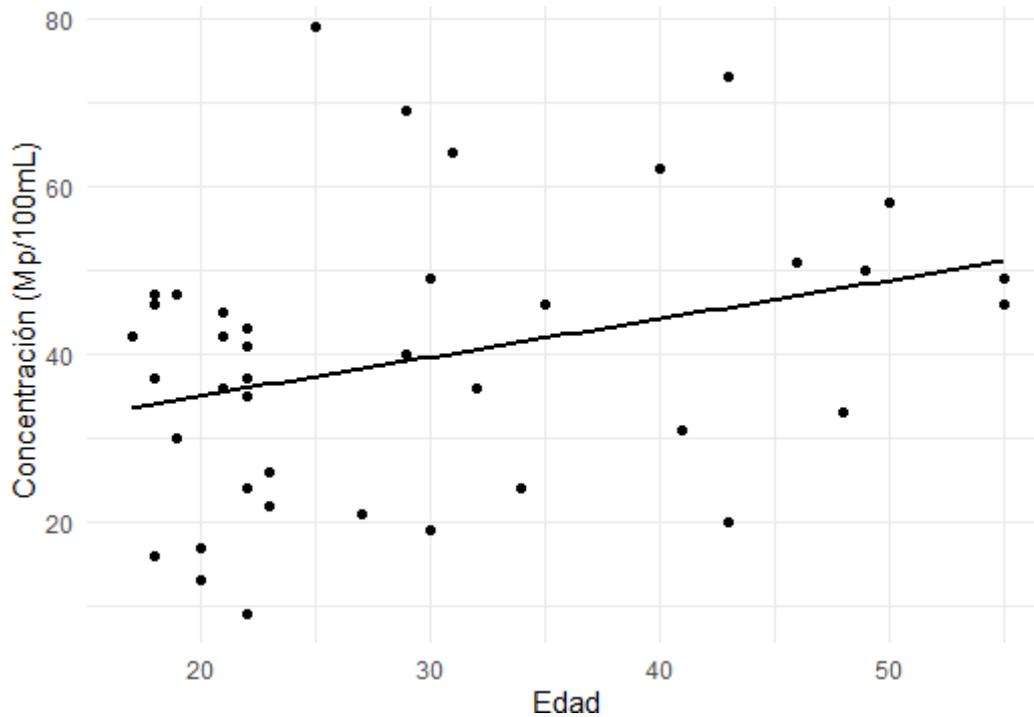
Nota. La tabla muestra la correlación de Spearman donde nos muestra valores de s, p-value y rho para la concentración total de microplásticos.

Los resultados de la prueba de correlación de Spearman entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes indican que existe una correlación positiva débil, con un coeficiente de correlación rho de 0.31. El valor p asociado a esta prueba es 0.04553, lo cual es menor que el nivel de significancia de 0.05.

Esto nos lleva a rechazar la hipótesis nula H0 que postula que no existe correlación entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes, y a aceptar la hipótesis alternativa H1, que sugiere que existe una correlación significativa entre estas dos variables. Por ende, aunque la relación es débil, es estadísticamente significativa y sugiere que, en general, a medida que la edad aumenta, la concentración de microplásticos también tiende a aumentar.

Figura 5

Correlación entre la concentración total y la edad



Nota. En la figura se muestra la correlación positiva entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes.

El grafico 5 muestra una relación positiva débil entre la edad de los participantes y la concentración de microplásticos (Mp/100mL), evidenciada por una pendiente positiva en la línea de tendencia. A medida que la edad aumenta, también tiende a incrementarse la concentración de microplásticos, aunque la relación no es muy fuerte, lo cual concuerda con el coeficiente de correlación de Spearman ($\rho = 0.31$). La dispersión considerable de los puntos alrededor de la línea de tendencia y la presencia de outliers indican una variabilidad significativa en las concentraciones de microplásticos para diferentes edades, sugiriendo que otros factores además de la edad pueden estar influyendo en esta concentración.

4.2.2 Análisis de la correlación de fibras y partículas con la edad

Por otro lado, para determinar si la concentración en cuanto a fibras o partículas cumplen con la normalidad debemos repetir la prueba de Shapiro-Wilk, pero esta vez enfocado en fibras y partículas, dando como resultado:

Tabla 6

Prueba de Shapiro Wilk para fibras y partículas

	w	p-value	Resultado
Edad	0,86019	0,0001606	No sigue distribución normal
Fibras	0,95195	0,3977	Distribución normal
Particulas	0,91327	0,07359	Distribución normal

Nota. La tabla 6 muestra la correlacion de Spearman para las fibras y las particulas, se muestra el valor de w, p-value y el resultado de si la variable sigue o no una distribucion normal.

De la misma manera, debido al factor de la edad no se cumple con la normalidad, por ende, trabajaremos con una prueba no paramétrica, haciendo uso de igual manera del coeficiente de correlación por rangos (Spearman).

Para la correlación entre la fibra y la edad las hipótesis serán las siguientes:

- **H0: $\rho=0$**

No existe correlación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes.

- **H1: $\rho\neq 0$**

Existe una correlación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes.

Para la correlación entre la partícula y la edad las hipótesis serán las siguientes:

- **H0: $\rho=0$**

No existe correlación entre la concentración de partículas y la edad de los participantes.

- **H1: $\rho\neq 0$**

Existe una correlación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes.

Para el análisis de la correlación de las fibras con la edad se requiere procesar los datos de la siguiente manera:

Tabla 7

Correlación de Spearman para fibras

s	p-value	rho
6009.8	0.004893	0.4362334

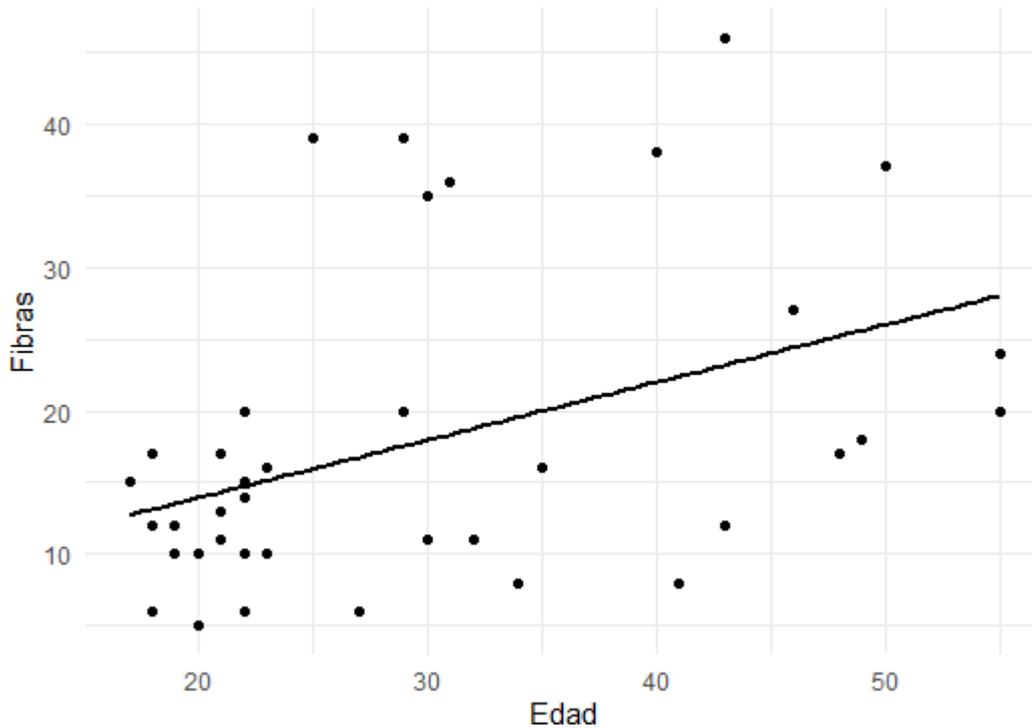
Nota. La tabla muestra los valores de s, p value y coeficiente de correlación para la cantidad de fibras totales.

Los resultados de la prueba de correlación de Spearman entre la concentración de fibras y la edad de los participantes muestran una correlación positiva moderada, con un coeficiente de correlación rho de 0.4362334 y un valor p de 0.004893. Dado que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.05, rechazamos la hipótesis nula H0 de que no existe correlación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes, y aceptamos la hipótesis alternativa H1, que sugiere una correlación significativa entre estas variables. Esto indica que,

en general, a medida que la edad de los participantes aumenta, también tiende a incrementarse la concentración de fibras.

Figura 6

Correlación entre la concentración fibras y la edad



Nota. La ilustración muestra una correlación positiva entre la cantidad de fibras y la edad de los participantes

El gráfico de dispersión ilustra la relación entre la edad de los participantes (eje x) y la concentración de fibras (eje y). La línea de tendencia muestra una correlación positiva moderada, lo que indica que, a medida que aumenta la edad de los participantes, también tiende a aumentar la concentración de fibras. Aunque los puntos están dispersos alrededor de la línea de tendencia, se observa una tendencia clara hacia concentraciones más altas de fibras con el incremento de la edad. A pesar de algunas dispersiones y valores atípicos, la mayoría de los

datos sigue esta tendencia positiva. Estos resultados son consistentes con el coeficiente de correlación de Spearman $\rho = 0.4362334$ y el valor $p = 0.004893$, que sugieren una relación significativa y moderada entre la edad y la concentración de fibras.

Por otro lado, para el análisis de la correlación de las partículas con la edad tenemos los siguientes datos:

Tabla 8

Correlación de Spearman para partículas

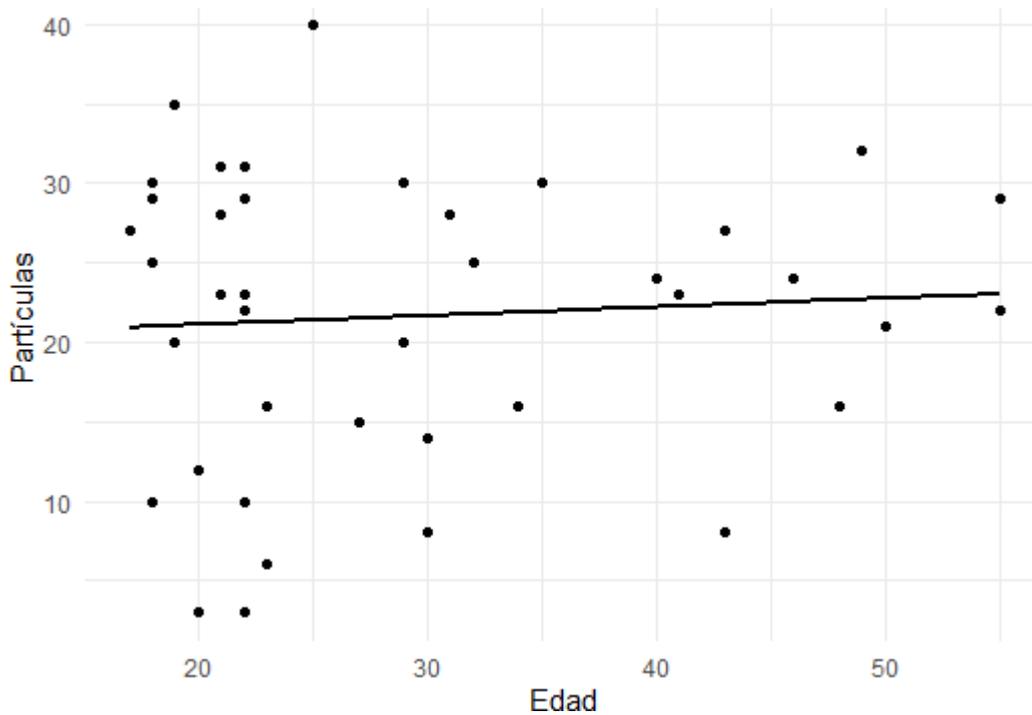
s	p-value	rho
10956	0.8651	-0.02773334

Nota. La tabla muestra los valores de s , p value y coeficiente de correlación para la cantidad de partículas totales.

Los resultados de la prueba de correlación de Spearman entre la concentración de partículas y la edad de los participantes muestran un coeficiente de correlación ρ de -0.02773334 , indicando una correlación negativa extremadamente débil. Con un valor p de 0.8651 , que es mucho mayor que el nivel de significancia de 0.05 , no rechazamos la hipótesis nula de que no existe correlación entre la concentración de partículas y la edad de los participantes. Esto sugiere que no hay una relación significativa entre estas dos variables, y cualquier relación observada es probablemente debida al azar, indicando que la edad no influye en la concentración de partículas.

Figura 7

Correlación entre la concentración partículas y la edad



Nota. La ilustración muestra una correlación negativa entre la cantidad de fibras y la edad de los participantes.

El gráfico de dispersión entre la edad de los participantes y la concentración de partículas muestra una línea de tendencia casi horizontal, lo que indica una correlación muy débil entre estas variables. Los puntos están ampliamente dispersos sin una clara tendencia positiva o negativa, lo que sugiere que la concentración de partículas varía significativamente independientemente de la edad. Esta observación se alinea con el coeficiente de correlación de Spearman de -0.02773334 y el valor p de 0.8651 , que confirman la falta de una relación significativa. La presencia de outliers refuerza la idea de que la edad no influye de manera determinante en la concentración de partículas.

5 Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El estudio realizado nos ayudo a determinar el perfil del microplástico en dos grupos etarios diferentes, ya que existían edades que solo tenían un dato o una repetición por ende limitaba tanto la comparación como el análisis, por ende, se procedió a clasificar en dos rangos de edad; el grupo 1 desde 17- 23 años y el grupo 2 desde 23 años en adelante.

Se logró determinar la concentración de microplasticos mediante microscopia invertida de fluorescencia, teniendo como resultado que se observan concentraciones más altas de microplasticos para el grupo 2; estas posibles variaciones pueden deberse a otras variables como la exposición a microplasticos o la capacidad de los microplasticos a bioacumularse en el organismo.

Por otro lado, en cuanto a la morfología, se identificó dos tipos de microplasticos en concreto: fibras y partículas usando microscopia invertida de fluorescencia. Lo que dio como resultado que los adultos tienen una mayor cantidad de fibras en comparación con los jóvenes, mientras que cuando observamos la concentración de partículas, no hubo una diferencia significativa entre ambos grupos.

De la misma manera, la clase de microplasticos fue determinada mediante FTIR, donde pudimos observar que los polímeros mas representativos en ambos grupos fueron polietileno tereftalato, nylon y polipropileno isostático.

A demás, es necesario mencionar que se logró determinar la correlación que existe entre los microplasticos y la edad de los participantes, en cuanto a la concentración de microplasticos

con la edad podemos decir que existe una correlación positiva débil; por lo que existe una correlación entre la concentración de microplásticos y la edad de los participantes.

Por otro lado, la concentración de fibras muestra una correlación positiva moderada, por lo que existe una correlación entre la concentración de fibras y la edad de los participantes.

Sin embargo, cuando analizamos la concentración de partículas tenemos una correlación negativa débil, por lo que se determinó que no hay una relación significativa entre la presencia de partículas de microplásticos y la edad de los participantes.

Esta investigación nos ayudo a validar la hipótesis planteada que determina que existe presencia de microplásticos en muestras de orina humana; sin embargo, el perfil de microplásticos tiene una correlación positiva no muy elevada en relación a la edad de los participantes, misma información que nos ayuda a responder la pregunta de investigación.

5.2 Recomendaciones

Como recomendación para futuros estudios se puede decir que:

- Se debe incrementar el tamaño de la muestra para incluir un mayor número de participantes en cada grupo etario, lo que permitirá obtener resultados más representativos.
- Incluir más grupos de edad intermedios para tener una representación más equilibrada de todas las etapas de la vida y poder analizar con mayor precisión cómo varían las concentraciones de micro plásticos según la edad.
- Realizar estudios para observar cómo la acumulación de micro plásticos cambia a lo largo del tiempo dentro de los mismos individuos.

6 BIBLIOGRAFIA

- Barceló, D., Picó, Y., & Alfarhan, A. H. (2023). 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>
- Basaran, B., Özçifçi, Z., Akcay, H. T., & Aytan, Ü. (2023). Microplastics in branded milk: Dietary exposure and risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105611. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105611>
- Bhuyan, M. S. (2022). Effects of Microplastics on Fish and in Human Health. *Frontiers in Environmental Science*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.827289>
- Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, C. A. (2020). Microplásticos: Un Contaminante Que Crece En Todas Las Esferas Ambientales, Sus Características Y Posibles Riesgos Para La Salud Pública Por Exposición. *Revista Boliviana de Química*, *37*(3), 160-175.
- Damaj, S., Trad, F., Goevert, D., & Wilkesmann, J. (2024). Bridging the Gaps between Microplastics and Human Health. *Microplastics*, *3*(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/microplastics3010004>
- Di Fiore, C., Ishikawa, Y., & Wright, S. L. (2024). A review on methods for extracting and quantifying microplastic in biological tissues. *Journal of Hazardous Materials*, *464*, 132991. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132991>
- Diaz-Basantes, M. F., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. *Sustainability*, *12*(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su12145514>

- Duumichen, E., Eisentraut, P., Bannick, C. G., Barthel, A. K., Senz, R., & Braun, U. (2017). Fast identification of microplastics in complex environmental samples by a thermal degradation method. *Chemosphere*, 174, 572–584. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.010>
- Franco-Herrera, A., Polanía-Zenner, P. I., Otálora-Rincón, C. D., & Tigreros-Benavides, P. C. (2022). Spatial and temporal distribution of floating microplastics in waters of the Colombian central Caribbean region. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(179), 406–425. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1578>
- 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>
- Guan, Q., Jiang, J., Huang, Y., Wang, Q., Liu, Z., Ma, X., Yang, X., Li, Y., Wang, S., Cui, W., Tang, J., Wan, H., Xu, Q., Tu, Y., Wu, D., & Xia, Y. (2023). The landscape of micron-scale particles including microplastics in human enclosed body fluids. *Journal of Hazardous Materials*, 442. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130138>
- Guo, X., Lin, H., Xu, S., & He, L. (2022). Recent Advances in Spectroscopic Techniques for the Analysis of Microplastics in Food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(5), 1410-1422. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c06085>
- Halfar, J., Čabanová, K., Vávra, K., Delongová, P., Motyka, O., Špaček, R., Kukutschová, J., Šimetka, O., & Heviánková, S. (2023). Microplastics and additives in patients with preterm birth: The first evidence of their presence in both human amniotic fluid and

placenta. *Chemosphere*, 343, 140301.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140301>

Hua, T., Kiran, S., Li, Y., & Sang, Q. X. A. (2022). Microplastics exposure affects neural development of human pluripotent stem cell-derived cortical spheroids. *Journal of Hazardous Materials*, 435, 128884. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128884>

Ibrahim, Y. S., Tuan Anuar, S., Azmi, A. A., Wan Mohd Khalik, W. M. A., Lehata, S., Hamzah, S. R., Ismail, D., Ma, Z. F., Dzulkarnaen, A., & Zakaria, Z. (2021). Microplastics in water: Fate, behaviour and impacts on aquatic organisms. *Environmental Science & Technology*, 55(13), 8890-8899. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c02608>

Jenner, L. C., Rotchell, J. M., Bennett, R. T., Cowen, M., Tentzeris, V., & Sadofsky, L. R. (2022). Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. *Science of The Total Environment*, 831, 154907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154907>

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>

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), 6710. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186710>

Liu, M., Liu, J., Xiong, F., Xu, K., Pu, Y., Huang, J., Zhang, J., Pu, Y., Sun, R., & Cheng, K. (2023). Research advances of microplastics and potential health risks of microplastics

- on terrestrial higher mammals: A bibliometric analysis and literature review. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(6), 2803-2838. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01458-8>
- Malafaia, G., & Barceló, D. (2023). Microplastics in human samples: Recent advances, hot-spots, and analytical challenges. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 161, 117016. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.117016>
- Massardo, S., Verzola, D., Alberti, S., Caboni, C., Santostefano, M., Eugenio Verrina, E., Angeletti, A., Lugani, F., Ghiggeri, G. M., Bruschi, M., Candiano, G., Rumeo, N., Gentile, M., Cravedi, P., La Maestra, S., Zaza, G., Stallone, G., Esposito, P., Viazzi, F., ... Artini, C. (2024). MicroRaman spectroscopy detects the presence of microplastics in human urine and kidney tissue. *Environment International*, 184, 108444. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108444>
- Méndez-Rodríguez, K., Avalos, J., Fernández Macías, J., & González-Palomo, A. (2023). *Microplastics: Challenges of assessment in biological samples and their implication for in vitro and in vivo effects*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2931984/v1>
- Montero-Campos, Virginia, Noboa- Jiménez, Lucía, & Gómez-Vargas, Luis. (2023). Toxicología de micro y nanoplásticos: riesgo de tóxicos a dosis baja y cambios epigenéticos. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(4), 169-180. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v36i4.6417>
- Rotchell, J. M., Austin, C., Chapman, E., Atherall, C. A., Liddle, C. R., Dunstan, T. S., Blackburn, B., Mead, A., Filart, K., Beeby, E., Cunningham, K., Allen, J., Draper, H., & Guinn, B. (2024). Microplastics in human urine: Characterisation using μ FTIR and sampling challenges using healthy donors and endometriosis participants.

Ecotoxicology and Environmental Safety, 274, 116208.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116208>

V. L. Leonard, S., Liddle, C. R., Atherall, C. A., Chapman, E., Watkins, M., D. J. Calaminus, S., & Rotchell, J. M. (2024). Microplastics in human blood: Polymer types, concentrations and characterisation using μ FTIR. *Environment International*, 188, 108751. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108751>

Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, 371(6530), 672-674. <https://doi.org/10.1126/science.abe5041>

Winiarska, E., Jutel, M., & Zemelka-Wiacek, M. (2024). The potential impact of nano- and microplastics on human health: Understanding human health risks. *Environmental Research*, 251, 118535. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118535>

Zhao, J., Zhang, H., Shi, L., Jia, Y., & Sheng, H. (2024). Detection and quantification of microplastics in various types of human tumor tissues. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 283, 116818. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116818>

7 ANEXOS

Anexo 1

Consentimiento informado para los participantes

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Estimado (a) Sr(a) _____

Usted ha sido invitado/ a participar en la “Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes”, dirigido por la Universidad Politécnica Salesiana.

Lo hemos contactado porque usted es mayor de edad y pertenece a la población universitaria de la Universidad Politécnica Salesiana y es invitado/a a participar para conocer el estado de biosorción de microplásticos en el organismo humano . Esta evaluación ayudará a aprender más sobre la condición médicas en la población estudiada.

Su participación es totalmente voluntaria, puede negarse a participar o dejar de participar en cualquier momento sin dar explicaciones o recibir sanción alguna. La prueba no involucra ningún daño o peligro para su salud física o mental. Los beneficios directos que recibirá usted y la posibilidad de ayudar a desarrollar programas de intervención sanitaria contra los microplásticos en orina y no se contemplan ningún otro tipo de beneficio. La participación consistirá en una recolección de orina en un recipiente de vidrio, el cual será tratado y analizado en los laboratorios de la facultad de biotecnología. .

Los datos obtenidos serán de carácter confidencial, se guardará el anonimato y la información recolectada no será usada para ningún otro propósito, además de los señalados anteriormente. Estos datos serán organizados con un número asignado a cada persona, la identidad de los participantes estará disponible sólo para el personal relacionado con la evaluación y se mantendrá completamente confidencial. Todos los nuevos resultados significativos desarrollados le serán entregados a usted y además, se entregará un informe con los resultados generales sin identificar el nombre de los participantes al Ministerio de Salud Pública del Ecuador.

Cualquier pregunta que usted desee hacer durante la evaluación podrá contactar con el docente Dr. Pablo Wilson Arevalo de la Universidad Politécnica Salesiana,, Correo electrónico: parevalo@ups.edu.ec

Agradezco desde ya su colaboración, y le saludo cordialmente. Favor acercarse a la toma de muestra con la segunda hora impresa..Dr. Pablo Wilson Arevalo

Docente-Investigador Carrera de Ingeniería en Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana

ACTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Lugar, de de
2022

Yo, con número de cédula
..... acepto

o
participar voluntaria y anónimamente en la “Análisis de la correlación del perfil de microplásticos en muestras de orina humana y la edad de los participantes” dirigida 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 orina o producto de micción.

Declaro haber sido informado/a que mi participación no involucra ningún daño o peligro para mi salud física o mental, que es voluntaria y que puedo negarme a participar o dejar de participar en cualquier momento sin dar explicaciones o recibir sanción alguna.

Declaro saber que la información entregada será **confidencial y anónima**. Entiendo que la información será analizada por los investigadores en forma grupal 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 y un informe será entregado al Ministerio de Salud Pública del Ecuador.

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

Nombre Participante

Nombre Investigador

Anexo 2

Recolección y etiquetado de la muestra (añadir peróxido de hidrogeno al 20%)



Anexo 3

Realizar la reacción de Fenton sin sobrepasar los 70 °C



Anexo 4

Posterior a la reacción de Fenton poner en un embudo de decantación y cubrir con papel aluminio



Anexo 5

Realizar la microfiltración, utilizando filtro de nitrocelulosa



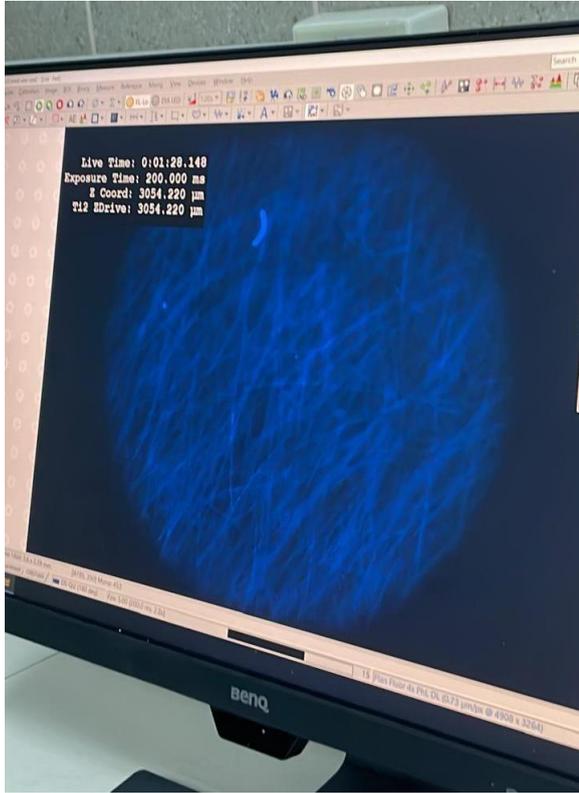
Anexo 6

Secado de los filtros y aplicación del rojo de Nilo



Anexo 7

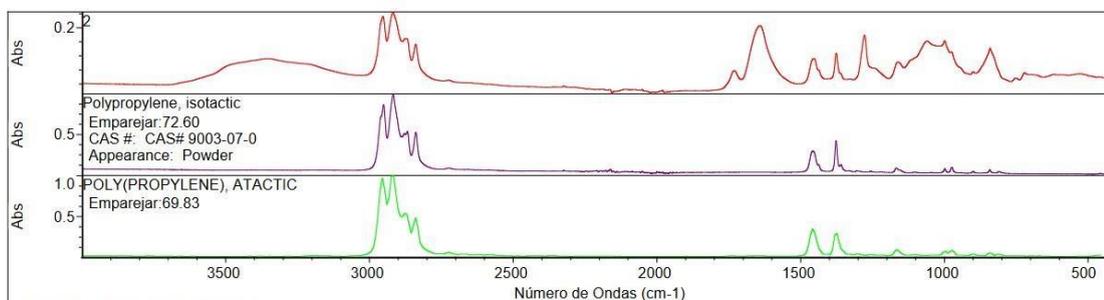
Observación en el microscopio invertido de fluorescencia para determinar la concentración de micro plásticos



Anexo 8

Resultados FTIR

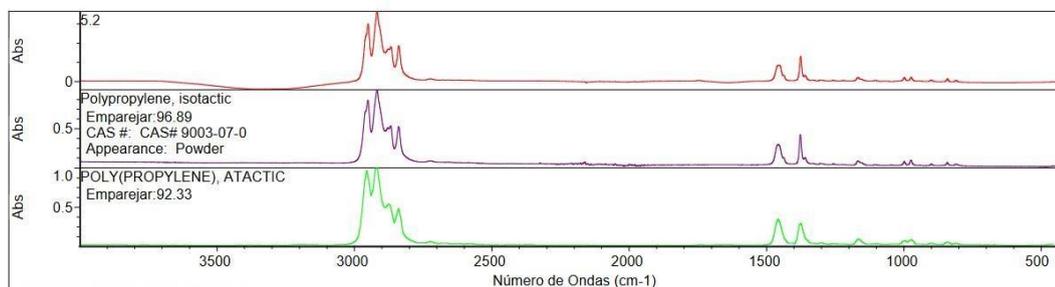
Resultados de búsqueda para: 2
 Fecha: Vie Jul 26 20:46:26 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	67	72.60 Polypropylene, isotactic	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	41	69.83 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
3	67	67.91 Polypropylene, isotactic	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
4	38	67.41 POLY(PROPYLENE), SYNDIOTACTIC	Hummel Polymer Sample Library
5	66	55.97 Polypropylene, isotactic, chlorinated	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	39	51.32 POLY(ETHYLENE:PROPYLENE)	Hummel Polymer Sample Library
7	62	44.44 Poly(4-methyl-1-pentene)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
8	66	44.38 Polypropylene, isotactic, chlorinated	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
9	185	38.34 Dliridecyl phthalate	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
10	180	36.03 Diisodecyl phthalate	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected

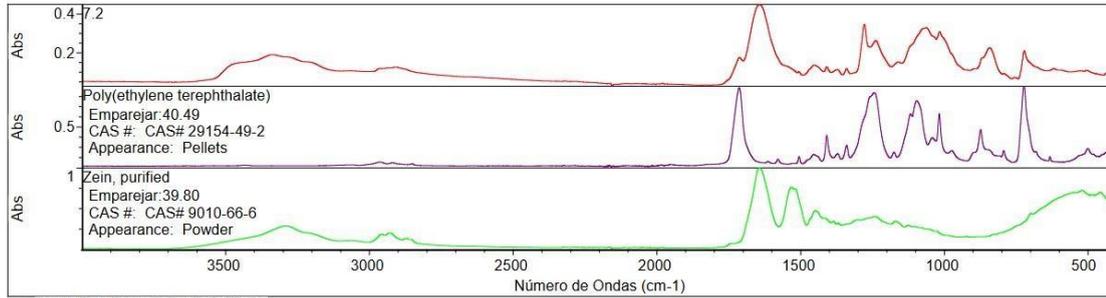
Resultados de búsqueda para: 5.2
 Fecha: Sab Jul 27 08:46:26 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	67	96.89 Polypropylene, isotactic	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
2	41	92.33 POLY(PROPYLENE), ATACTIC	Hummel Polymer Sample Library
3	324	91.12 Polypropylene + poly(ethylene:propylene)	HR Hummel Polymer and Additives
4	566	90.81 Polypropylene, atactic	HR Hummel Polymer and Additives
5	942	89.24 Polypropylene, isotactic	HR Hummel Polymer and Additives
6	1653	87.83 POLYPROPYLENE-AMORPHOUS	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	67	87.07 Polypropylene, isotactic	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
8	303	86.96 Polypropylene + 20% talcum	HR Hummel Polymer and Additives
9	1061	86.25 Poly(propylene:butenone), 2:1	HR Hummel Polymer and Additives
10	499	85.11 Poly(propylene:ethylene), 83 mol% C3	HR Hummel Polymer and Additives

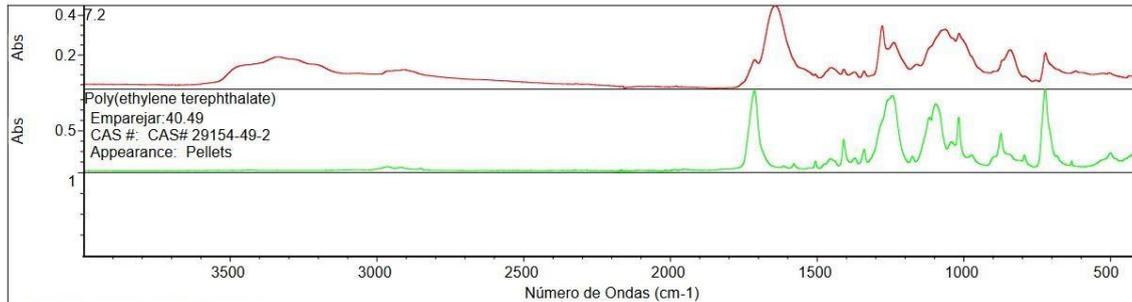
Resultados de búsqueda para: 7.2
 Fecha: Sab Jul 27 09:33:27 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	40.49 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	100	39.80 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
3	100	38.49 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
4	79	37.61 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
5	40	36.22 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
6	79	34.55 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
7	129	32.94 Polyethylene glycol 200 dibenzoate	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
8	57	32.52 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
9	28	31.48 Nylon 6(3)T [Poly(trimethyl hexamethyleneterephthalamide)]	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
10	40	31.31 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected

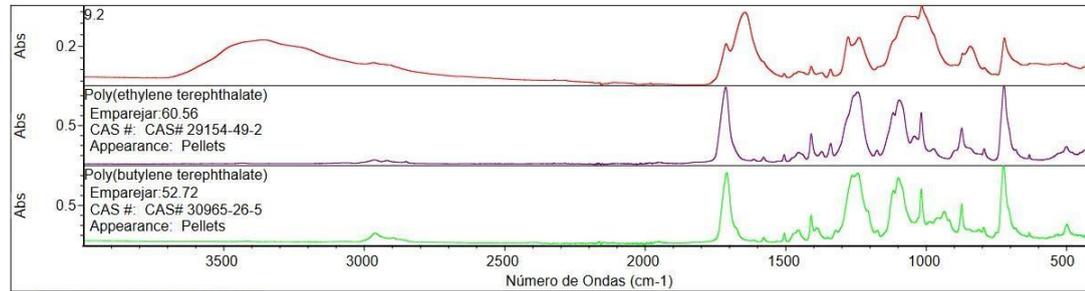
Resultados de búsqueda para: 7.2
 Fecha: Sab Jul 27 09:34:16 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	40.49 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR

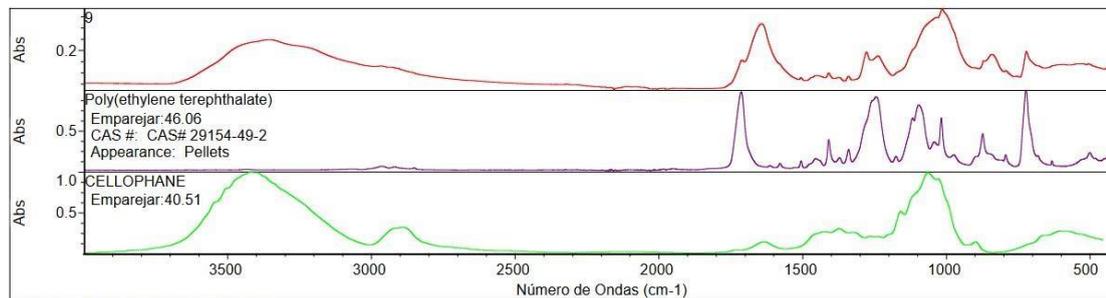
Resultados de búsqueda para: 9.2
 Fecha: Vie Jul 26 19:07:21 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	60.56 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	40	52.72 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
3	757	49.93 Cellulose nitrate, 12.4%N	HR Hummel Polymer and Additives
4	57	49.50 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
5	40	46.06 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	369	44.97 Poly(oxalyhydrazide:terephthaloylhydrazide)	HR Hummel Polymer and Additives
7	368	40.76 Poly(1,4-phenylene-2,5-oxadiazole)diyl:terephthaloyl N-methyl	HR Hummel Polymer and Additives
8	779	40.08 Explosive gelatine	HR Hummel Polymer and Additives
9	543	35.89 Poly(ethylene terephthalate)	HR Hummel Polymer and Additives
10	1064	34.96 Silk II	HR Hummel Polymer and Additives

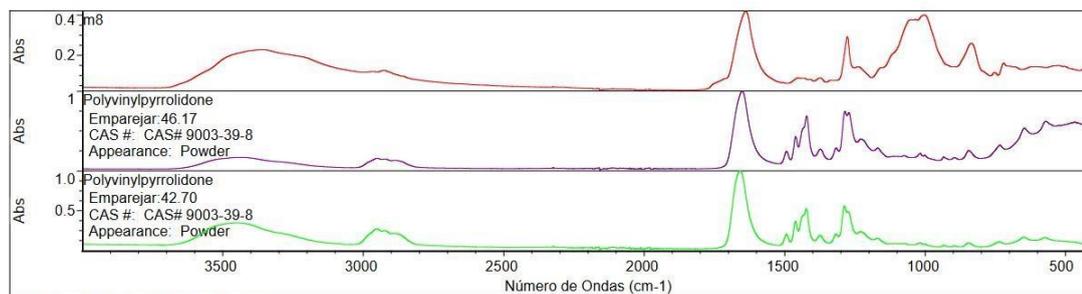
Resultados de búsqueda para: 9
 Fecha: Vie Jul 26 19:02:31 2024 (GMT-05:00)
 Algoritmo de búsqueda: Correlación
 Regiones buscadas: 3995.85-455.13



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	46.06 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	40	40.51 CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library
3	40	39.35 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
4	57	35.75 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
5	100	34.31 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	79	33.05 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
7	100	33.03 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
8	40	32.77 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
9	79	31.73 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
10	8	30.66 CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library

Resultados de búsqueda para: m8
 Fecha: Vie Jul 26 18:30:31 2024 (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	79	46.17 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	79	42.70 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
3	100	42.23 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
4	368	41.88 POLYVINYLPIRROLIDONE	HR Polymer Additives and Plasticizers
5	100	40.38 Zein, purified	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
6	546	36.79 COCOAMIDOPROYL BETAINE	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	554	36.75 SOYA AMIDOPROPYL DIMETHYLAMMONIO ACETATE	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	381	35.47 TETRAFLUOROETHYLENE-PERFLUORO(PROPYL VINYL ETHER) COPOLYMER	HR Polymer Additives and Plasticizers
9	40	35.32 CELLOPHANE	Hummel Polymer Sample Library
10	28	34.60 POLYAMIDE 6 + POLYAMIDE 6,6	Hummel Polymer Sample Library

Anexo 9

Tabla de concentración total de micro plásticos por fibras y partículas grupo 1

Grupo 1			
Número de muestra	Edad	Fibras	Partículas
M1	20	10	3
M2	18	6	10
M3	18	12	25
M4	22	14	10
M5	22	10	31
M6	19	12	35
M7	18	17	29
M8	21	11	31
M9	23	10	16
M10	20	5	12
M11	22	20	23
M12	19	10	20
M13	17	15	27
M14	21	13	23
M15	22	6	29
M16	18	17	30
M17	23	16	6
M18	21	17	28
M19	22	6	3
M20	22	15	22

Anexo 10

Tabla de concentración total de micro plásticos por fibras y partículas grupo 2

Grupo 2			
Número de muestra	Edad	Fibras	Partículas
M1	30	35	14
M2	48	17	16

M3	25	39	40
M4	29	39	30
M5	31	36	28
M6	40	38	24
M7	55	24	22
M8	43	46	27
M9	46	27	24
M10	50	37	21
M11	49	18	32
M12	43	12	8
M13	32	11	25
M14	29	20	20
M15	35	16	30
M16	41	8	23
M17	27	6	15
M18	55	20	29
M19	34	8	16
<u>M20</u>	<u>30</u>	<u>11</u>	<u>8</u>

Anexo 11

Estadística básica para fibras y partículas

Fibras			
Grupo	Media	Mediana	Rango intercuartílico
1	12,1	12	5,23
2	23,4	20	24,5

Partículas			
Grupo	Media	Mediana	Rango intercuartílico
1	20,65	23	17,5
2	22,6	23,5	12,25
