



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA  
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA EN CUENCA

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

AUTORA: CAMILA MALO VALDIVIESO

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, PhD.

Cuenca - Ecuador

2024

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

Yo, Camila Malo Valdivieso con documento de identificación No. 0104846506, 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, 9 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Camila Malo Valdivieso

0104846506

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

Yo, Camila Malo Valdivieso con documento de identificación No. 0104846506, 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: “Evaluación de la capacidad de depuración de microplásticos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba en Cuenca”, 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, 9 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Camila Malo Valdivieso

0104846506

## 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: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE DEPURACIÓN DE MICROPLASTICOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE UCUBAMBA EN CUENCA, realizado por Camila Malo Valdivieso con documento de identificación No. 0104846506, 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, 9 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Pablo Wilson Arévalo, Ph. D  
0102156957

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermano, mi familia más cercana, también a mi familia y amigos que más quiero que a pesar de no entendían nada siempre estuvieron apoyándome durante todo el proceso. A las personas que ya no están con nosotros que siempre se siente su apoyo. A todos los profesionales que resolvieron la más mínima duda.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Politécnica Salesiana por la acogida durante estos cinco años de experiencias y conocimientos.

Agradezco a mi tutor, el Ing. Pablo Arévalo, Ph.D., quien me ayudó y compartió sus experiencias y conocimientos adquiridos a lo largo de su vida profesional.

También expreso mi agradecimiento a la Empresa ETAPA EP, al personal, especialmente a la Dra. María José Cherrez, y a los profesionales por la apertura y apoyo brindado durante este proceso investigativo.

Asimismo, agradezco a la empresa RECORD DENTAL, en especial al Ing. Andrés Rivera, quien con su amabilidad y conocimiento me ayudó con saber técnicos sobre microscopía de fluorescencia.

Quiero manifestar mi agradecimiento a la Carrera de Ingeniería en Biotecnología por darme la oportunidad de adquirir no solo conocimientos académicos, sino también experiencia de vida.

Agradezco a mis distinguidos docentes, quienes con su ética y profesionalismo nos han inculcado los conocimientos que me serán útiles para fomentar el adelanto en la sociedad y en mi vida profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra manera colaboraron para concluir con éxito mi carrera universitaria y este trabajo.

Gracias

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>1.1 Planteamiento del problema de investigación</b> .....	6
<b>1.2 Pregunta de investigación</b> .....	9
<b>1.3 Justificación</b> .....	9
<b>1.4 Limitaciones del estudio</b> .....	10
<b>1.5 Objetivos</b> .....	11
<b>1.5.1 Objetivo general</b> .....	11
<b>1.5.2 Objetivos específicos</b> .....	11
<b>1.6 Hipótesis</b> .....	11
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	12
<b>2.1 Estado del arte</b> .....	12
<b>2.2 MARCO CONCEPTUAL</b> .....	16
<b>2.2.1 Termoplásticos</b> .....	16
<b>2.2.2 Termofijos</b> .....	16
<b>2.2.3 Elastómeros</b> .....	17
<b>2.2.4 Polietileno</b> .....	17

<b>2.2.5</b>	<b>Polietileno de alta densidad</b> .....	17
<b>2.2.6</b>	<b>Polietileno de baja densidad</b> .....	18
<b>2.2.7</b>	<b>Tereftalato de polietileno (PET)</b> .....	18
<b>2.2.8</b>	<b>Cloruro de polivinilo (PVC)</b> .....	18
<b>2.2.9</b>	<b>Polipropileno</b> .....	19
<b>2.2.10</b>	<b>Poliestireno (PS)</b> .....	19
<b>2.2.11</b>	<b>Macroplásticos</b> .....	19
<b>2.2.12</b>	<b>Microplásticos</b> .....	20
<b>2.2.13</b>	<b>Microplásticos primarios</b> .....	20
<b>2.2.14</b>	<b>Microplásticos secundarios</b> .....	21
<b>2.2.15</b>	<b>Nanoplásticos</b> .....	21
<b>2.2.16</b>	<b>Fragmentos plásticos</b> .....	21
<b>2.2.17</b>	<b>Fibras plásticas</b> .....	21
<b>2.2.18</b>	<b>Pellets</b> .....	22
<b>2.2.19</b>	<b>Rojo Nilo</b> .....	22
<b>2.2.20</b>	<b>Fluorescencia</b> .....	22
<b>2.2.21</b>	<b>Espectroscopia</b> .....	23
<b>2.2.22</b>	<b>Aguas Residuales</b> .....	23
<b>2.2.23</b>	<b>Planta de tratamiento de aguas residuales</b> .....	23
<b>2.3</b>	<b>BASES TEORICAS</b> .....	24



2.3.1	Origen de los microplásticos .....	24
2.3.2	Impacto ambiental de los microplásticos .....	25
2.3.3	Efectos de los microplásticos en la salud humana.....	27
2.3.4	Métodos de extracción para microplásticos .....	29
2.3.5	Reacción de Fenton .....	30
2.3.6	Microfiltración .....	30
2.3.7	Métodos de evaluación de microplásticos .....	30
2.3.8	Caracterización de microplásticos.....	32
2.3.9	Métodos de identificación de microplásticos .....	32
<b>METODOLOGIA .....</b>		<b>34</b>
3.1	Nivel de investigación.....	34
3.2	Diseño de investigación .....	34
3.3	Población y muestra .....	35
3.4	Variables.....	36
3.4.1	Variables independientes.....	36
3.4.2	Operacionalización de variables.....	36
3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	37
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	38
3.7	Materiales, reactivos y equipos .....	39
3.8	Metodología para levantamiento de información .....	40

3.8.1	Toma de muestra .....	40
3.8.2	Metodología para la extracción de los microplásticos de la matriz.....	43
3.8.3	Análisis de las muestras.....	44
<b>ANÁLISIS Y RESULTADOS .....</b>		<b>46</b>
4.1	Método implementado para el pretratamiento de la muestra .....	46
4.2	Características físicas de los microplásticos del estudio .....	47
4.2.1	Análisis de la concentración de microplásticos .....	47
4.2.2	Análisis de la forma de los microplásticos .....	53
4.2.3	Análisis del tamaño de los microplásticos.....	61
4.3	Tipo del microplásticos por Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).....	68
4.4	Análisis estadístico.....	70
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>70</b>
5.1	Conclusiones .....	73
5.2	Recomendaciones .....	74
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>76</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>90</b>
Anexo A. Procedimiento para evaluación de muestras .....		90
Anexo B. Microplásticos observados en el microscopio invertido de fluorescencia .....		91

<b>Anexo C. Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la planta de tratamiento de agua residual de Ucubamba .....</b>	<b>92</b>
--	-----------

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 Matriz operacionalización de Variables .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 2 Materiales, reactivos y equipos para análisis de microplásticos. ....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 3 Puntos de muestreo y lugar de muestreo.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 4 Efectividad de tratamientos para visualización.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 5 Número de microplásticos y concentración encontrados en las muestras de agua residual de la planta de tratamiento de Ucubamba. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 6 Test de normalidad. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla 7 Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 8 Número de fibras y fragmentos de microplásticos encontrados en las muestras de agua residual de la planta de tratamiento de Ucubamba.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 9 Test de normalidad.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 10 Test de normalidad.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 11 Prueba de U de Mann-Whitney.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 12 Prueba de U de Mann-Whitney.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 13 Promedio del área por filtro de cada muestra. ....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 14 Test de normalidad.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 15 Prueba de U de Mann-Whitney.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 16 Test de normalidad.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla. 17 T - Student test.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 18 Tipo de microplásticos identificadas.....</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 19 Estadística descriptiva. ....</b>	<b>71</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	<b>Concentraciones de Mp's/200mL.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 2</b>	<b>Distribución de la cantidad de fibras.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 3</b>	<b>Distribución de la cantidad de partículas.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 4</b>	<b>Distribución del área de fibras por piscina. ....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 5</b>	<b>Distribución del área de las partículas por piscina. ....</b>	<b>68</b>

## **RESUMEN**

La creciente contaminación medioambiental que existe en la actualidad es un verdadero problema. La polución del agua se ha convertido en uno de los retos más notorios, dado que la existencia de microplásticos puede comprometer la calidad del recurso hídrico. Además, el aumento del uso de plásticos en la actualidad se debe a su comodidad en la vida cotidiana. Sin embargo, esta comodidad también conduce a una manipulación inadecuada de los productos plásticos, lo que tiene un efecto adverso sobre el medio ambiente y la biodiversidad. Este presente estudio con un nivel descriptivo de investigación evaluó la capacidad de depuración de microplásticos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba en Cuenca. A través de métodos analíticos se analizaron 10 muestras en total las cuales 5 pertenecían a la piscina de entrada o más conocida como “Cruda” y las 5 restantes a la piscina de maduración 2 “M2”, se determinó las concentraciones de los microplásticos y el tipo de microplásticos presente a través del equipo FTIR. Los resultados obtenidos fueron de 1100,8 Mp’s por 200 mL en la entrada, mientras que la concentración en las muestras de salida es de 1723,8 Mp’s por 200 mL. Y el tipo de microplásticos que se encontraron en mayor abundancia en las aguas residuales fueron tanto el PET como el PVP, se puede concluir que las aguas de la planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba en Cuenca no son eficaces ante el tratamiento de microplásticos, debido a que si existe la presencia de estos parámetros a la salida de la planta de tratamiento.

**Palabras clave:** Microplásticos, aguas residuales, reacción de Fenton, microscopio de fluorescencia, FTIR

## **ABSTRACT**

Today's increasing environmental pollution is a real problem. Water pollution has become one of the most notorious challenges since the existence of microplastics can compromise the quality of the water resource. In addition, the increased use of plastics today is due to their convenience in everyday life. However, this convenience also leads to improper handling of plastic products, which has an adverse effect on the environment and biodiversity. This present study with a descriptive level of research evaluated the purification capacity of microplastics in the Ucubamba wastewater treatment plant in Cuenca. Through analytical methods, a total of 10 samples were analyzed, 5 of which belonged to the inlet pool or better known as "Raw" and the remaining 5 to the maturation pool 2 "M2". The concentrations of microplastics were determined and the type of microplastics present was identified through FTIR equipment. The results obtained were 1100.8 Mp's per 200 mL in the inlet, while the concentration in the outlet samples is 1723.8 Mp's per 200 mL. And the type of microplastics that were found in greater abundance in the wastewater were both PET and PVP, it can be concluded that the water of the Ucubamba wastewater treatment plant in the basin is not effective in the treatment of microplastics, because there is the presence of these parameters at the outlet of the treatment plant.

**Key words:** Microplastics, wastewater, Fenton reaction, fluorescence microscopy, FTIR.

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

Un problema grave que enfrentamos en la sociedad actual es la sobreexplotación de recursos y el consumo excesivo de bienes y servicios a nivel mundial, lo que está causando daños significativos tanto al medio ambiente como a la estructura social. Este fenómeno ha desencadenado un desequilibrio significativo entre la población y el medio ambiente (Jaén et al., 2019). La búsqueda de un mayor nivel de vida y bienestar ciudadano ha sido prioritaria, aunque esta perspectiva se ha centrado de manera exclusiva en términos económicos

Lamentablemente esta orientación ha desviado la atención al medio ambiente, por lo tanto, más allá del enfoque económico, los indicadores muestran que la calidad de vida ha disminuido paralelamente con la degradación de los sistemas naturales; destacándose la relación dinámica e interdependiente entre la sociedad y el medio ambiente.

En la actualidad, uno de los grandes problemas ambientales prioritarios está relacionado con los plásticos que poseen una característica particular, los tiempos de degradación son muy extensos, adicionalmente son fuentes de gases de efecto invernadero, constituyendo así una amenaza para el entorno. Este fenómeno ha dado lugar a la aparición de nuevos contaminantes derivados de los plásticos, entre ellos podemos mencionar los microplásticos, que constituyen una preocupación global, pues es una consecuencia directa de actividades antropogénicas (Waldschläger et al., 2022). En las últimas décadas, la contaminación por microplásticos se ha convertido en un problema global de gran preocupación (Montagner et al., 2021). Estos diminutos fragmentos de plástico, con un tamaño menor a 5 mm, están presentes en una amplia variedad de matrices ambientales, siendo el agua uno de los medios



más afectados. En particular el agua es uno de los recursos con una alta concentración de microplásticos, ya que interactúa con el entorno.

La relación intrínseca entre el exceso consumo de plásticos y la generación de microplásticos destaca la necesidad urgente de cambiar nuestras prácticas para abordar no solo el impacto directo del consumo, sino también sus ramificaciones ambientales. El entendimiento y la acción frente a esta problemática son esenciales para preservar la salud del planeta y garantizar un equilibrio sostenible entre la sociedad y el entorno natural.

La presencia de microplásticos en el agua tiene consecuencias significativas tanto para los ecosistemas acuáticos como para la salud humana. Los microplásticos pueden afectar negativamente la vida acuática al ser ingeridos por organismos, alteran su fisiología y comportamiento al sumarse a la cadena alimentaria. Además, existe una creciente preocupación por los posibles efectos en la salud humana, ya que los microplásticos pueden entrar en nuestra dieta a través de alimentos y agua contaminados y potencialmente tener efectos negativos en nuestro organismo.

Por lo tanto, la detección y caracterización precisa de los microplásticos en el agua es fundamental para comprender la magnitud y el alcance de esta problemática y, a su vez, desarrollar estrategias adecuadas para abordarla. Esto implica la necesidad de investigar y desarrollar métodos de detección eficaces y confiables que permitan identificar y cuantificar los microplásticos presentes en el agua, así como también determinar su composición y distribución espacial.

Las aguas residuales representan un recurso valioso que, al ser tratadas adecuadamente, puede tener múltiples aplicaciones beneficiosas, como por ejemplo el riego agrícola o el suministro a diversas industrias. Sin embargo, es esencial gestionar estas aguas de manera

responsable y cumplir con estrictas normas de control de calidad para garantizar su uso seguro y sostenible en diversas actividades.

En el ámbito agrícola, el uso de aguas residuales tratadas para el riego puede ser una estrategia efectiva para la conservación del agua y la fertilización de cultivos. No obstante, es crucial que, estas aguas cumplan con normas específicas que garanticen la ausencia de contaminantes para la salud humana y el medio ambiente que sean perjudiciales. Las autoridades y organismos reguladores establecen estándares de calidad del agua que deben seguirse para el uso seguro en actividades como el riego agrícola.

A pesar de los avances en la regulación y control de la calidad del agua, un aspecto que ha ganado relevancia recientemente es la presencia de microplásticos en las aguas residuales. Estos fragmentos de plástico, provenientes de diversas actividades antropogénicas, son liberados en las aguas y pueden persistir en el medio ambiente durante largos periodos. Aunque la conciencia sobre los microplásticos está en aumento, no existen, aún normas consolidadas que regulen su presencia en las aguas residuales, por lo tanto, la gestión de estos recursos requiere un enfoque integral que cumpla con normas rigurosas de calidad del agua. Además, la inclusión de parámetros emergentes como la presencia de microplásticos en las regulaciones futuras, es esencial para garantizar la protección a largo plazo de nuestros recursos hídricos y la sostenibilidad de las actividades que dependen de ellos como la salud de los seres humanos.

Por lo anteriormente expuesto, este estudio tiene como objetivo: Averiguar si la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba realmente reduce la cantidad de microplásticos en las aguas tratadas. Para su investigación, se utilizará técnicas avanzadas como microscopía de fluorescencia y espectroscopía infrarroja. Se establecerá un método eficaz para preparar las muestras de aguas residuales, asegurándonos de que podamos ver los microplásticos

correctamente. También se hará uso de técnicas de laboratorio para entender cómo son físicamente los microplásticos en diferentes puntos. El estudiar detenidamente las partículas de plástico en el agua usando microscopía y espectroscopía ayudará a definir que tipos específicos de microplásticos están presentes. Se evaluará la eficiencia de la planta analizando cuidadosamente los datos recopilados para determinar si la cantidad de microplásticos que entra en la planta es similar a la que desfoga al Río Cuenca. Será de gran ayuda para entender el impacto ambiental y la efectividad del tratamiento de aguas residuales en la reducción de microplásticos.

Esta investigación es de suma importancia, ya que proporcionará la presencia de los microplásticos en el agua residual que, a su vez, ayudará a orientar políticas y medidas necesarias para mitigar esta problemática, con el objetivo de minimizar la liberación de microplásticos al medio ambiente y proteger la salud de los ecosistemas acuáticos, de los recursos hídricos y de la población humana.

### **1.1 Planteamiento del problema de investigación**

Actualmente en la sociedad, uno de los desafíos más urgentes es la creciente presencia de microplásticos en las aguas residuales, una problemática que ha surgido como resultado de nuestras actividades cotidianas y que tiene consecuencias significativas tanto a nivel ambiental como de salud pública.

El principal obstáculo es la identificación y evaluación de microplásticos vertidos en aguas residuales que desembocan en arroyos y van al río Cuenca. Varios componentes de nuestra sociedad y el medio ambiente están en riesgo debido a este problema.

El análisis de aguas residuales es crucial porque éstas constituyen la recopilación de todas las actividades antropogénicas que eventualmente son desechadas en las alcantarillas. Este flujo

de agua residual se convierte en una matriz representativa de los diversos contaminantes generados por las actividades humanas.

Como menciona (Briones, 2022) las aguas residuales son de gran interés en la evaluación de contaminantes como los microplásticos. La planta de tratamiento de aguas residuales se convierte en el epicentro de esta recopilación, ya que recibe y acumula los residuos de una amplia gama de actividades humanas.

La concentración de microplásticos en las aguas residuales es motivo de preocupación (Olmos Espinar et al., 2021) ya que estos contaminantes pueden persistir en el medio ambiente y tener efectos adversos en los ecosistemas acuáticos. El análisis de aguas residuales se convierte, así, en una herramienta esencial para comprender la presencia y el alcance de los microplásticos, permitiendo tomar medidas adecuadas para minimizar su impacto.

El análisis de aguas residuales es vital porque éstas representan una mezcla de desechos de actividades humanas, siendo la planta de tratamiento el punto focal para evaluar y abordar la presencia de contaminantes como los microplásticos. La comprensión de estos contaminantes en las aguas residuales es fundamental para implementar estrategias efectivas de gestión ambiental y salvaguardar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

Varios estudios, entre ellos los de (Flores & Orozco, 2022), (Cuenca & Mayancela, 2023b), así como (Lino, 2022), que abordan la presencia de microplásticos en diversas matrices, ofrecen una visión detallada del impacto actual de estos contaminantes en el medio ambiente. Sus estudios revelan la creciente presencia en estrecha convivencia con los seres vivos.

En consecuencia, las preocupaciones medioambientales relativas a la presencia de microplásticos en las aguas residuales, son de suma importancia. Estas partículas, de menos de 5 mm de tamaño, no sólo son perjudiciales para la vida acuática, sino que además

contienen pequeñas cantidades de energía. Según el estudio de (Rohr et al., 2020), los organismos acuáticos se pueden consumir y puede tener un impacto en la biodiversidad de los ríos y masas de agua a medida que ascienden en la cadena alimentaria.

Además de las consecuencias ambientales, este problema, también tiene impactos directos en la salud pública. En las proximidades del río Cuenca, donde los microplásticos existen y afectan en el suministro de agua que se usa para los cultivos. La presencia de microplásticos en los alimentos puede suponer riesgos para la salud de quienes dependen de esta fuente de riego.

Estudios realizados anteriormente han descubierto la existencia de microplásticos en especies acuáticas destinadas al consumo humano, lo que respalda la gravedad del problema (Quiñones, 2019). Y la necesidad inmediata de tratar este problema.

Una solución novedosa a este problema es el estudio y la implementación de tecnologías biotecnológicas, para la cuantificación como para la caracterización de estas partículas que hoy en día están muy presentes en los medios. Además, la biotecnología ahora cuenta con equipos sofisticados para identificar y caracterizar los microplásticos en las aguas residuales antes de su vertido a los ríos. Preservar los ecosistemas acuáticos y la calidad del agua y al mismo tiempo reducir la exposición humana a los microplásticos para fomentar la salud pública y la sostenibilidad ambiental a través de todas las etapas de la producción y distribución de alimentos sería ventajoso.

Por lo tanto, La presencia de microplásticos en las aguas residuales es muy alarmante, dado su impacto perjudicial, tanto para el medio ambiente como para la salud pública. Sugiere la biotecnología es un método viable y necesario para abordar este problema y lograr soluciones sostenibles. No sólo mejoraría el bienestar de la vida de los ríos, sino que también la de los seres humanos, garantizando la seguridad de los alimentos que consumimos día a día.

## **1.2 Pregunta de investigación**

¿La planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba disminuye los microplásticos presentes en las aguas residuales?

## **1.3 Justificación**

La problemática abordada se relaciona con la presencia de microplásticos en las aguas residuales tratadas que terminan depositándose en el Río Cuenca. Esta situación es de relevancia y preocupación tanto desde una perspectiva ambiental como de salud pública. Es crucial señalar que el agua del Río Cuenca, afectada por los microplásticos, ha sido verificada a través de análisis realizados en el río Limón, que comparte parte del curso hídrico del Río Cuenca (Cuenca & Mayancela, 2023a). A su vez tanto el río Cuenca como el río Limón hacen uso de este recurso agua para el riego de cultivos situados en las proximidades de sus orillas. Según (Castañeta & Gutiérrez, 2020), los microplásticos son partículas de muy pequeño tamaño, inferiores a 5 mm, que son liberados en grandes cantidades al medio ambiente. Su presencia en las aguas residuales representa una amenaza tanto para los ecosistemas acuáticos como para la seguridad de los cultivos que dependen de esta fuente de riego que, de esta forma puede ingresar a la cadena alimenticia.

Debido a que las aguas residuales son una amenaza, la empresa de Telecomunicaciones, agua potable, alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) posee piscinas de oxigenación las cuales tienen como objetivo al tratamiento de las aguas residuales de la ciudad Cuenca, para su posterior desecho en el Río Cuenca.

El Río Cuenca, es una vía de transporte y fuente de recursos para las comunidades ribereñas, lo que lo hace especialmente vulnerable a la contaminación por microplásticos. Además, se ha detectado la presencia de microplásticos en especies acuáticas destinadas al consumo humano, lo que plantea riesgos potenciales para la salud (Quiñones, 2019). Investigar la

presencia de microplásticos en las aguas residuales y su posterior entrada en los ríos, es fundamental, para comprender la magnitud de esta amenaza antropogénica y sus implicaciones para la salud pública.

Por otro lado, la ampliación de los conocimientos en biotecnología desempeña un papel crucial en la comprensión y abordaje de los efectos adversos en el sistema hidrológico. La biotecnología ofrece herramientas para identificar y comprender mejor los impactos negativos en los recursos hídricos. Además, permite desarrollar métodos para monitorear y evaluar la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos (Castañeta & Gutiérrez, 2020). Esta aplicación de la biotecnología resulta indispensable para el desarrollo profesional en el ámbito de la evaluación del impacto ambiental y para solventar efectos negativos provenientes de la actividad antropogénica que amenaza la vida.

Hasta el momento, no se ha establecido un método específico para la remoción de microplásticos de las fuentes de agua. Esto se debe a que estas diminutas partículas tienden a mantenerse en suspensión debido a su reducido tamaño, lo que les permite ser arrastradas con facilidad por las corrientes del agua (Bollaín et al., 2020)

#### **1.4 Limitaciones del estudio**

- La falta de tecnología de punta adecuada para visualizar los microplásticos a través de microscopio de fluorescencia.
- Restricciones en el acceso a los laboratorios de la universidad y su disponibilidad.
- Limitaciones en el acceso durante los fines de semana, incluyendo las restricciones de horarios de cierre tanto de los laboratorios.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Evaluar la presencia de microplásticos en planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba mediante microscopía de fluorescencia y Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), determinando la eficiencia de la planta en la mitigación del parámetro.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

Establecer una metodología efectiva para el pretratamiento de las muestras de aguas residuales mediante técnicas de laboratorio para la óptima visualización de los microplásticos.

Determinar las características físicas de los microplásticos de los diferentes puntos de muestreo mediante técnicas de laboratorio para la obtención de la cantidad, forma y tamaño de los microplásticos.

Caracterizar las micropartículas de plástico presentes en el recurso hídrico de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba utilizando métodos de laboratorio, como la microscopía de fluorescencia y espectroscopia infrarroja por las transformadas de Fourier (FTIR), estableciendo el tipo de microplásticos presente en las aguas residuales.

Evaluar la eficiencia de la planta mediante análisis de los datos compilados para la toma de decisiones.

## **1.6 Hipótesis**

La cantidad de microplásticos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba son similares a la cantidad que sale al Río Cuenca.



## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Estado del arte

La investigación sobre los microplásticos emerge como una problemática global crucial en la actualidad. Al constatar que estos materiales persisten en el medio ambiente sin degradarse naturalmente, la atención investigativa se ha dirigido a comprender su presencia en distintos entornos. Esta preocupación se intensifica al considerar que la producción de plástico ha experimentado un crecimiento exponencial, alcanzando cerca de 400 millones de toneladas en 2018 (Syberg et al., 2021). La detección de estos contaminantes y su inadecuado proceso de desecho han generado impactos significativos en diversos medios, incluyendo ríos, océanos, cuerpos de agua dulce e incluso en seres humanos.

En este contexto, se evidencia que, a lo largo de la historia, los ríos han desempeñado un papel fundamental como fuentes esenciales de agua dulce para la supervivencia humana. Aunque han sido aprovechados para diversos propósitos, desde el suministro de agua hasta la generación de energía, respaldo de la agricultura, la ganadería y la producción industrial, su importancia se ve amenazada por la presencia creciente de microplásticos. La importancia de investigar estos parámetros en relación con la crucial función de los ríos en la provisión de recursos esenciales resalta la urgencia de abordar la problemática de los microplásticos para proteger la salud y la sostenibilidad de estos fundamentales ecosistemas acuáticos.

No obstante, en la actualidad, diversos estudios, como el llevado a cabo por (J. Sun et al., 2019), (García et al., 2021) y (García-Chamero et al., 2020) han revelado la preocupante presencia generalizada de microplásticos en diversos ecosistemas como en fauna y flora.

Adicionalmente, se cuenta con pruebas de la presencia de microplásticos en el cuerpo humano según el estudio llevado a cabo por (D. Wu et al., 2023), el cual señala la detección

de estos elementos extraños en trombos sanguíneos. Por otra parte, se han llevado a cabo estudios significativos, como los realizados por (Pironti et al., 2022), que sostienen la presencia de microplásticos en muestras de orina humana. Asimismo, investigaciones como las de (W. Sun et al., 2022) han demostrado de manera concluyente la existencia de microplásticos en muestras de orina de ratones. Estos hallazgos subrayan la preocupación creciente acerca de la contaminación por microplásticos y sus posibles efectos en la salud, tanto en seres humanos como en otros organismos.

Además, según las investigaciones de (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016) se indica que las aguas residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) constituyen la principal fuente de microplásticos en los cuerpos de agua, debido a que estas aguas tratadas son expulsadas a los ríos aledaños. Este descubrimiento resalta la importancia de enfrentar la contaminación por microplásticos considerando las prácticas actuales de tratamiento de aguas residuales, enfatizando la urgencia de implementar medidas efectivas para controlar este creciente impacto ambiental.

Esta preocupante situación es el resultado de la elevada sobreproducción de productos compuestos principalmente de polímeros, los cuales, al ser productos sintéticos no son amigables con el medio ambiente. Se dice que aproximadamente en 1980 se desechaban 10 gramos de plástico al día. Para 2010, este desperdicio aumentó a 300 gramos por día, lo que significa que cada persona en el mundo desecha 100 kg de plástico al año. Estos residuos terminan en el océano o en fuentes de agua vitales para los seres vivos, lo que tiene un impacto en la vida de las criaturas y su entorno (Murray-Tortarolo et al., 2021).

Todos estos efectos son serios y necesitan una pronta resolución. Aunque, la ciencia ha dirigido su enfoque recientemente hacia un asunto menos reconocido: la influencia de los microplásticos. Estos diminutos pedazos de plástico están extendidos por todo el medio

ambiente, presentes en varios lugares, desde los océanos y cuerpos de agua dulce hasta los suelos y el aire que respiramos. Los microplásticos surgen por la influencia del sol, la sal marina, la lluvia y las fluctuaciones de temperatura, que gradualmente descomponen botellas, bolsas y envases hasta convertirlos en fragmentos microscópicos. Lo más preocupante es que estos microplásticos permanecen suspendidos en el lecho de cuerpos de agua generando inquietudes sobre el impacto en la biodiversidad y la salud humana.

Los microplásticos pueden ingresar al entorno a través de diversas vías, siendo la más preocupante la exposición a través de la alimentación. Actividades antropogénicas como el lavado de prendas de vestir sintéticas, la descomposición de plásticos abandonados, la fragmentación de artículos plásticos y la descarga de aguas residuales son algunas de las formas en que estos microplásticos pueden ingresar al medio ambiente y, finalmente, afectar a los organismos vivos.

A pesar del creciente nivel de conciencia sobre los microplásticos, todavía se sabe muy poco sobre su impacto directo. Por esta razón, países como Holanda, Inglaterra, China, Alemania y otros han mostrado un interés cada vez mayor en este tema. Estudios realizados en China por (Li et al., 2021) indican la presencia de micropartículas de plástico en los cuerpos de los peces. Se ha observado que los peces no ingieren microplásticos directamente, sino que estos ingresan involuntariamente a su sistema debido a la succión durante la respiración, siendo así una problemática que se agrava aún más debido a que los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos acuáticos, lo que potencialmente lleva al ingreso de estas partículas en la cadena alimentaria humana causando problemas graves de bioacumulación pudiendo tener efecto directo evidente ya sea por atrapamiento, ingestión, inhalación, estrangulamiento o toxicidad, con respecto a la toxicidad la IARC (International Agency for Research on Cancer), indica que algunos plásticos y sus derivados están en una lista de carcinogénicos (Bollaín et al., 2020).

En América del Sur existen varias investigaciones relacionadas al impacto ocasionado por la presencia de los microplásticos como es el artículo realizado por (Hidalgo-Ruz & Thiel, 2013) en 39 playas chilenas y la Isla de Pascua, también en cuatro playas arenosas en Perú (Purca & Henostroza, 2017). En (Gallardo et al., 2021) se menciona la presencia en 37 chilenas; (Garcés, 2022) en 15 playas del Pacífico colombiano; y ((Jones et al., 2022) en dos playas (Punta Pitt y Tortuga Bay) en Islas Galápagos.

Por lo tanto, estos polímeros que atentan contra la vida de los seres vivos están cada vez más presentes en la realidad, como en la investigación realizada por (Ponce et al., 2023) han confirmado la presencia de microplásticos en peces. De las seis especies analizadas, el 68.5% de los peces contienen microplásticos en su sistema digestivo, el 37.1% en su carne, y todas las muestras de agua y arena analizadas resultaron positivas en su totalidad. Esto plantea una preocupación adicional por la calidad de los recursos hídricos y la salud de los organismos que dependen de ellos. Existen estudios en Ecuador que respaldan esta problemática, por ejemplo, se puede observar la presencia de microplásticos en los glaciales del volcán Antisana, un claro ejemplo del amplio campo de impacto al que este contaminante puede llegar a alcanzar (Cabrera et al., 2020), también existen estudios en las costas del Ecuador en donde las en uno de los humedales más grandes “La Segua” se obtuvo una concentración de 313 y 490 partículas/litro (López et al., 2023). Los estudios realizados en las aguas costeras y fluviales de la provincia de Esmeraldas han revelado también la presencia de microplásticos, sugiriendo la posible llegada de estos contaminantes desde diversas fuentes (Capparelli et al., 2021). Al igual que en los estudios de peces en China mencionado anteriormente se detectó de igual manera la presencia de microplásticos en peces del puerto pesquero de Santa Rosa, de la provincia de Santa Elena (LINO, 2019).

Por lo tanto, el proyecto titulado "Evaluación de la capacidad de depuración de microplásticos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba en Cuenca"

desempeña un papel crucial en el abordaje de este problema. La planta ubicada en el sector de Ucubamba en la ciudad de Cuenca tiene un papel fundamental en la eliminación y filtrado de contaminantes antes de que el agua sea liberada en el Río Cuenca. La detección de microplásticos en esta etapa permitirá comprender mejor la magnitud de la contaminación y tomar medidas para mitigar su impacto ambiental.

Este proyecto no solo se centra en la detección de microplásticos, sino que también sienta las bases para la protección de los ecosistemas acuáticos y por ende en la salud humana. Su importancia radica en su potencial contribución para limitar la propagación de microplásticos en la cadena alimentaria, reducir la contaminación de los cuerpos de agua y aumentar la conciencia sobre los riesgos asociados con la presencia de microplásticos.

A nivel global, la preocupación por los microplásticos y sus impactos en la biodiversidad y la salud humana ha llevado a un mayor enfoque en la investigación, regulación y la adopción de prácticas sostenibles en relación con el uso y desecho de plásticos. La realización de estudios del agua y su calidad es fundamental para avanzar en la comprensión de la problemática y desarrollar estrategias efectivas para abordarla.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Termoplásticos**

Son aquellos cuyas moléculas poseen una distribución específica, de tal manera que cuando se calienta el plástico, las interacciones moleculares se debilitan, lo que hace que el objeto de plástico se vuelva más maleable. Esto facilita su moldeado bajo presión (Cornish Alvarez, 1997).

### **2.2.2 Termofijos**

También conocidos como termoestables, no experimentan alteraciones en su estructura física al ser sometidos a calor. En su mayoría, este tipo de polímeros se encuentra en estado líquido,

como es el caso de las resinas. Cuando estos polímeros entran en contacto con un catalizador, se desencadena un proceso de polimerización, resultando en un endurecimiento irreversible de la estructura (Billmeyer et al., 2020).

### **2.2.3 Elastómeros**

Son polímeros que pueden tener origen sintético o vegetal. Una característica distintiva de estos materiales es su excepcional capacidad de elongación, que puede alcanzar hasta unas 30 veces su tamaño original. Además, poseen la capacidad de regresar a su estado inicial sin sufrir daño alguno, lo que les confiere propiedades únicas de elasticidad y flexibilidad (William D . Callister, 2012).

### **2.2.4 Polietileno**

El polietileno es un polímero compuesto por una cadena repetitiva de etileno  $(CH_2)_n$ , Estas cadenas pueden tener una estructura lineal o ramificada, lo que influye en sus propiedades finales. En su estructura, contiene únicamente átomos de hidrógeno y carbono. El polietileno pertenece a la familia de los termoplásticos y se divide en cuatro subcategorías principales: polietileno, polipropileno, poliestireno y polivinilcloro (Cardona et al., 2010).

### **2.2.5 Polietileno de alta densidad**

El HDPE (Polietileno de Alta Densidad, por sus siglas en inglés) es un polímero que se destaca por su alta densidad molecular, aproximadamente de  $0,96 \text{ g/cm}^3$  (Klein, 2013), lo que le confiere mayor rigidez y resistencia en comparación con otros tipos de polietileno. Además, presenta notables propiedades de resistencia a la humedad, a productos químicos y a la tracción. Este material se encuentra ampliamente empleado en la fabricación de envases, tuberías, botellas y una diversidad de productos plásticos.

### **2.2.6 Polietileno de baja densidad**

El Polietileno de Baja Densidad (LDPE), también conocido como Polietileno de Baja Densidad en inglés, es un producto sintético derivado del petróleo que contiene cadenas o ramificaciones de polietileno en varios puntos (Seymour & Carraher Jr., 1995). La cantidad de estas ramificaciones puede variar entre 1 por cada 20 grupos metileno y 1 por cada 100 de estos grupos. Esto implica que la linealidad del LDPE proporciona resistencia, mientras que las ramificaciones contribuyen a su tenacidad (Ricardo Acuña Molina, 2017).

### **2.2.7 Tereftalato de polietileno (PET)**

Polímero que tiene muchos enlaces éster, por lo que se le denomina poliéster, está compuesto principalmente por etilenglicol (EG) y ácido tereftálico (TPA) unidos por enlaces éster (Klein, 2013), es parte de la familia de los polímeros termoestables, con características maleables al aumentar la temperatura y se endurece al enfriarse, lo que es de carácter reversible. El PET es utilizado principalmente en la industria textil y como material de empaque para alimentos y bebidas. Su apariencia visual es semicristalina. Su superficie es de carácter hidrofóbico lo que es una barrera significativa para la biodegradación impidiendo la colonización microbiana por ende la acción de enzimas hidrolíticas para su degradación (J. Pérez et al., 2020).

### **2.2.8 Cloruro de polivinilo (PVC)**

El PVC (Policloruro de Vinilo) tiene una densidad aproximada de  $1,35 \text{ kg/dm}^3$  (Nutsch, 1962). Se forma mediante la polimerización del cloruro de vinilo, resultando en una masa sólida, incolora y transparente que se puede teñir de cualquier color. El PVC se divide en dos categorías: rígido y flexible. El PVC rígido mantiene su integridad hasta una temperatura de 80 grados Celsius y es resistente a ácidos, álcalis y sales comunes, aunque algunos disolventes, como el benceno y la acetona, pueden causar hinchazón o deterioro. Por otro lado, el PVC flexible conserva su elasticidad incluso a temperaturas tan bajas como -20

grados Celsius, pero solo permanece firme hasta aproximadamente 40 grados Celsius. No es tan resistente a productos químicos como el PVC rígido y puede disolverse en una variedad de disolventes.

### **2.2.9 Polipropileno**

El polipropileno es un plástico ampliamente empleado debido a su resistencia, durabilidad y capacidad de flexión. Se destaca por su capacidad para resistir impactos, humedad y diversos productos químicos. Este tipo de plástico se utiliza comúnmente en envases, textiles, muebles, piezas de automóviles y muchos otros productos de consumo (Carolina et al., 2017). Sin embargo, es importante manejarlo adecuadamente debido a las preocupaciones ambientales relacionadas con la acumulación de residuos y su lenta descomposición en el medio ambiente. Es esencial tomar medidas para gestionar de manera responsable los desechos de polipropileno y promover prácticas sostenibles en su uso y disposición.

### **2.2.10 Poliestireno (PS)**

Un ejemplo de polímero termoplástico es el poliestireno (PS) que se produce a partir de la polimerización del estireno. A altas temperaturas, el poliestireno se vuelve flexible y maleable, y se derrite cuando se calienta. Cuando se enfría lo suficiente, el poliestireno pasa por una transición vítrea y se endurece en un estado sólido (Ocles, 2017). Por lo tanto, el poliestireno es un material termoplástico que puede deformarse a altas temperaturas, pero se vuelve sólido y rígido cuando se enfría. Con el poliestireno se pueden fabricar una amplia variedad de productos, incluyendo bolsas de almacenamiento, frascos de champú e incluso chalecos a prueba de balas.

### **2.2.11 Macroplásticos**

Los macroplásticos son grandes trozos de plástico, normalmente de más de 25 milímetros, que se encuentran en el medio ambiente (Blettler et al., 2017). Estos fragmentos se crean



cuando se rompen objetos de plástico, residuos industriales o restos de naufragios. Suponen una grave amenaza para el medio ambiente, ya que pueden contaminar los ecosistemas acuáticos y terrestres, dañar la fauna e incluso afectar a la salud humana (Dauvergne, 2018). La lucha contra la contaminación por macroplásticos es muy importante y se están tomando medidas para reducir su liberación al medio ambiente y eliminarlos del entorno natural.

Según (Campoy et al., 2019) los desechos originarios de los plásticos se dividen en 4 categorías: nanopartículas que tienen un tamaño de 1 nm a 1  $\mu$ m, los microplásticos de 1  $\mu$ m a 5 mm, entre los cuales se encuentran los microplásticos grandes que van desde 1 a 5 mm, los cuales no son ingeridos por los organismos vivos filtradores y los microplásticos pequeños que son < 1 mm. A continuación, siguen los mesoplásticos de 5 mm a 25 mm y, por último, los macroplásticos, que son > 25 mm

#### **2.2.12 Microplásticos**

Varios autores, como (Batioja & Dennisse, 2019) (Bollaín et al., 2020), y (Buteler et al., 2020) están de acuerdo en que la definición de microplásticos se refiere a pequeñas partículas de plástico con un diámetro inferior a 5 mm. Estas partículas se dividen en microplásticos (MP) primarios y secundarios, que tienen un origen antropogénico y son resultado de factores climáticos y ambientales, como la exposición a los rayos ultravioleta, la acción del viento, el flujo hídrico, entre otros.

#### **2.2.13 Microplásticos primarios**

Las partículas de plástico primarias tienen su origen en productos manufacturados con un tamaño muy reducido, entre los que destacan las microesferas. Estas microesferas se encuentran presentes en productos cosméticos, textiles, fármacos o se utilizan como materia prima en la producción de plástico (De-La-Torre et al., 2019).

#### **2.2.14 Microplásticos secundarios**

Por otro lado, los microplásticos secundarios son de mayor tamaño, superior a 5 mm, y se encuentran en el entorno natural, donde están expuestos a condiciones ambientales que favorecen su degradación debido a factores biológicos, químicos y físicos (RA Sarria-Villa, 2016).

#### **2.2.15 Nanoplásticos**

La descomposición de los microplásticos a través de procesos físicos, químicos y biológicos resulta en la creación de nanoplásticos, que son partículas de plástico con un tamaño menor a 100 nanómetros. Este fenómeno aumenta los riesgos medioambientales asociados a la contaminación por plásticos. En comparación con las membranas y otros componentes celulares, su pequeño tamaño representa un riesgo potencialmente mayor. Debido a sus propiedades hidrófobas y a su pequeño tamaño, los nanoplásticos pueden penetrar en las células a través de los poros o rompiendo las paredes celulares, con el consiguiente riesgo de citotoxicidad (Celaya, 2020).

#### **2.2.16 Fragmentos plásticos**

Podemos definir los "fragmentos microplásticos" como pequeños componentes plásticos que se producen como resultado de la fragmentación de objetos plásticos de mayor tamaño basándonos en las definiciones aportadas. Estos fragmentos, que a menudo tienen un tamaño microscópico, son un tipo común de residuo plástico que puede tener un impacto medioambiental significativo.

#### **2.2.17 Fibras plásticas.**

Las pequeñas partículas de plástico conocidas como fibras de plástico se crean al desmontar diversos productos de plástico. Son un grupo de partículas microscópicas de plástico que se desprenden durante la descomposición de objetos de plástico más grandes y el lavado de

textiles sintéticos. También se encuentran en artículos como alfombras, camisetas sin atar y accesorios de tocador. La longitud y la curvatura de las fibras de plástico pueden variar, y su grosor suele ser del orden de unas pocas micras.

### **2.2.18 Pellets**

Los "pellets" son esferas primarias de plástico con tamaños que oscilan entre 5 mm y 1 mm (Gamboa et al., 2022). Estas minúsculas esferas de plástico tienen un papel fundamental en la industria, ya que son empleadas en la fabricación de una amplia variedad de productos plásticos. Estas esferas desempeñan un rol esencial en los procedimientos de moldeo por inyección y extrusión.

### **2.2.19 Rojo Nilo**

Debido a la naturaleza hidrofóbica de la superficie de los plásticos se hace uso de estrategias de tinción lipofílico y poder obtener una visión clara y definida. Los tintes fluorescentes se han usado como técnicas para el análisis de polímeros como es el Rojo Nilo (C<sub>20</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – 9-(dietilamino) benzo[a]fenoxazin-5-ona), al ser un tinte lipofílico cuyo espectro de emisión está en la zona rojo con aproximadamente 550-555 nm para excitación y 637-642 nm para emisión, este tinte permite la tinción de PE, PS, PVC y PET (Arbués Pérez & Morales, 2022).

### **2.2.20 Fluorescencia**

Fenómeno que ocurre cuando un material emite luz después de ser estimulado por una fuente de energía, como la radiación ultravioleta. Cuando los electrones del material excitado vuelven a su estado fundamental, se produce la fluorescencia (Marini et al., 2019). Existen numerosas aplicaciones de la fluorescencia, como la detección de tumores en medicina, el estudio de la estructura molecular de las proteínas en la investigación científica y hoy en día para visualizar microplásticos.

### **2.2.21 Espectroscopia**

El término "espectroscopia" se refiere a la observación y estudio de espectros y se basa en la forma en que la energía radiante interactúa con la materia. Esta interacción es tan específica que se puede determinar el tipo y la cantidad de sustancias involucradas. Gracias a los métodos espectroscópicos se pueden realizar análisis cuantitativos y cualitativos. La espectroscopía se puede utilizar para identificar y medir componentes (orgánicos e inorgánicos) en una gran variedad de muestras

### **2.2.22 Aguas Residuales**

Las aguas residuales, también conocidas como aguas servidas, provienen de las actividades cotidianas del ser humano y se descargan a través de sistemas de alcantarillado o vertimientos directos en el entorno (Carrillo et al., 2021). Las variedades en la composición de estas aguas se reflejan en cambios notables en sus características químicas, biológicas y físicas. En su estado agradable, no son aptas para el consumo humano y requieren un tratamiento particular. Entre los principales componentes de estas aguas figuran los sólidos totales en suspensión, los compuestos orgánicos biodegradables, los elementos inorgánicos disueltos, los metales pesados, los nutrientes y los contaminantes orgánicos prioritarios.

### **2.2.23 Planta de tratamiento de aguas residuales**

Antes de ser devueltas al medio ambiente o de ser utilizadas de nuevo, las aguas residuales deben ser depuradas en una planta dedicada al tratamiento de aguas residuales. El objetivo fundamental es evitar la contaminación del agua, preservar la salud pública y el medio ambiente, y disminuir los contaminantes presentes en las aguas residuales. (*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba – ETAPA EP, 2023*).

Según (Vargas et al., 2020) Los procesos de tratamiento de aguas residuales pueden ser físicos, químicos o biológicos. En los procesos físicos, se aprovechan las diferencias de

propiedades entre partículas y agua, utilizando principios de separación como sedimentación o flotación. Los procesos químicos emplean coagulantes o floculantes para formar partículas coloidales con mayor densidad. Los procesos biológicos, más comunes en Latinoamérica para tratar aguas residuales domésticas, se basan en principios naturales observados en ríos o lagos, donde los microorganismos consumen materia orgánica para estabilizar y eliminar sólidos coloidales.

## **2.3 BASES TEORICAS**

### **2.3.1 Origen de los microplásticos**

Los microplásticos primarios son pequeñas partículas producidas intencionadamente, incluidos pellets de preproducción y gránulos de plástico utilizados en diversas aplicaciones. Los microplásticos secundarios proceden de diversas fuentes y se fragmentan durante y después de su uso (Welden & Lusher, 2020).

La fragmentación durante el uso implica procesos como el desgaste de los neumáticos, el lavado de la ropa y el desgaste de los aparejos de pesca. La fragmentación posterior al uso se produce por la descomposición de plásticos perdidos y desechados, que llegan al medio ambiente a través de la mala gestión de los residuos, los sistemas de aguas residuales, el transporte eólico y la basura.

Las iniciativas internacionales pretenden minimizar el uso de microplásticos primarios, especialmente en productos cosméticos. En el medio ambiente, la exposición a los elementos hace que los plásticos grandes se vuelvan quebradizos y se fragmenten en trozos más pequeños. Los plásticos también pueden degradarse por ingestión de los organismos, lo que provoca una reducción de tamaño.

Esta degradación continúa en el medio ambiente, ralentizándose sólo en condiciones específicas como la exposición reducida a la luz en las profundidades marinas y el

enterramiento en sedimentos. En general, tanto las fuentes intencionadas como las no intencionadas contribuyen a la presencia generalizada de microplásticos en el medio ambiente.

### **2.3.2 Impacto ambiental de los microplásticos**

Debido a su composición no biodegradable, la liberación de microplásticos en el entorno puede acarrear efectos negativos para otros seres vivos que comparten el mismo espacio. A pesar de que el plástico se ha convertido en uno de los materiales más omnipresentes y esenciales en la vida moderna, gracias a la capacidad de adaptar las propiedades de los polímeros para satisfacer diversas necesidades, su extenso uso en aplicaciones domésticas e industriales ha llevado consigo un impacto negativo cada vez más evidente en los ecosistemas y la salud humana. La versatilidad del plástico ha permitido su integración en una variedad de productos y procesos, pero este mismo atributo ha desencadenado una serie de consecuencias ambientales y de salud que demandan una evaluación crítica (Issac & Kandasubramanian, 2021). Por lo tanto, las micropartículas de plástico han surgido como un aspecto particularmente preocupante. Se trata de diminutas partículas plásticas, imperceptibles a simple vista, que se han infiltrado en todos los ecosistemas, bien sean terrestres, acuáticos e incluso en el aire que respiramos (Sridharan et al., 2021), estas micropartículas de plástico desatan una serie de consecuencias ambientales y de salud que requieren una atención urgente y acción global. ambiente.

#### **2.3.2.1 Consecuencias Ambientales de los microplásticos en los ecosistemas acuáticos**

En el hábitat acuático se encuentran los restos de los plásticos, los microplásticos, en las masas de agua, los cuales se componen principalmente de diferentes tipos de plásticos, como el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el cloruro de polivinilo, que interactúan con la materia orgánica, los elementos inorgánicos y los microorganismos presentes en los hábitats acuáticos (Priyadarshini et al., 2021). Asimismo, diversos estudios

como el de (J. Wu et al., 2019) ha evidenciado la capacidad de los microplásticos para absorber diferentes sustancias tóxicas perjudiciales, existiendo un consenso generalizado de que estas partículas marinas pueden funcionar como imanes, atrayendo productos químicos tóxicos en el entorno y facilitando su transporte entre distintos hábitats.

### **2.3.2.2 Consecuencias Ambientales de los microplásticos en los ecosistemas terrestres**

Los microplásticos en el entorno terrestre es un factor clave que contribuye a uno de los cambios humanos más amplios y a largo plazo en los hábitats terrestres de la Tierra. Es crucial destacar que la mayoría de los desechos plásticos que eventualmente llegan a los cuerpos de agua fueron originalmente producidos, utilizados y descartados de manera indiscriminada en tierra firme (de Souza Machado et al., 2018). Por consiguiente, los ambientes terrestres se consideran extensos depósitos de micropartículas plásticas, ofreciendo diversas vías de exposición. Se ha observado que los microplásticos persisten durante largos periodos, interactuando con la materia orgánica del suelo y afectando los parámetros fisicoquímicos del suelo. Este proceso contamina las aguas subterráneas y, como resultado, disminuye el crecimiento de las plantas y la productividad general (Wahl et al., 2021). De igual manera, generan efectos adversos significativos en la fauna del suelo, estos efectos afectan su desarrollo, reproducción, esperanza de vida y supervivencia a través de diversos mecanismos tóxicos, como la bioacumulación, daño en el ADN, genotoxicidad, etc. Además, debido a su elevada relación superficie-volumen y a su hidrofobicidad, los microplásticos podrían actuar como transportadores de patógenos y contaminantes orgánicos en tierra firme, como sucede en los hábitats acuáticos (Priyadarshini et al., 2021).

### **2.3.2.3 Consecuencias Ambientales de los microplásticos en la atmósfera**

Estudios actuales como el de (Yang et al., 2021) han señalado la atmósfera como un significativo depósito y origen de la contaminación por microplásticos, ya que se han identificado su presencia en zonas urbanas, suburbanas y rurales. Se ha evidenciado que los

microplásticos transportados por el aire tienen la capacidad de desplazarse distancias considerables desde sus regiones de origen, acumulándose en diversos entornos terrestres y acuáticos, lo que representa varias amenazas para la biosfera (Mbachu et al., 2020). Los microplásticos presentes en la atmósfera pueden acabar llegando a diferentes organismos terrestres a través de la respiración, más concretamente a los seres humanos por lo tanto, los microplásticos es un tema de gran relevancia y actualidad que está adquiriendo un gran protagonismo y se ha convertido en una preocupación cada vez más urgente en la actualidad.

### **2.3.3 Efectos de los microplásticos en la salud humana**

La presencia generalizada de microplásticos en el medio ambiente ha despertado creciente preocupación en la sociedad y en la comunidad científica debido a su constante interacción directa e indirectamente con los seres humanos ha causado graves interrogantes de este fenómeno por su capacidad de bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria, lo que plantea serias inquietudes sobre los posibles impactos en la salud humana.

Según (Blackburn & Green, 2021) el impacto de los microplásticos (MP) en la salud humana puede clasificarse en tres ámbitos principales: efectos químicos, efectos físicos y efectos biológicos. Existen pruebas que sugieren que aditivos como colorantes o plastificantes podrían causar toxicidad, carcinogenicidad y mutagenicidad (Gasperi et al., 2018). Los aditivos, colorantes y pigmentos podrían desprenderse de los MP y acumularse en las superficies y en las fuentes de agua, sin que se conozcan sus consecuencias para la salud. Además, estos compuestos no están unidos químicamente a los materiales poliméricos, lo que aumenta su probabilidad de lixiviación en el medio ambiente circundante y de ser transportados a través de diferentes cadenas alimentarias (Priyadarshini et al., 2021) Por otro lado, es relevante mencionar la presencia de los contaminantes orgánicos persistentes (COP), los cuales se sabe que están ampliamente distribuidos en todos los ecosistemas. Según (Velzeboer et al., 2014), estos contaminantes exhiben propiedades hidrófobas, lo que significa



que tienen una afinidad por el agua, y se ha observado que se adhieren fácilmente a los microplásticos (MP). Además, se ha documentado que los metales pesados interactúan con los microplásticos, proporcionándoles un medio para ingresar a la cadena alimentaria. En cuanto a los efectos físicos de los microplásticos existen varios estudios que demuestran la presencia de MP en la atmósfera, que se inhalan fácilmente. Los efectos de la inhalación de MP fibrosos sobre la salud humana no se conocen bien hasta el momento (Prata, 2018). La mayoría de las fibras se consideran capaces de ser eliminadas del sistema respiratorio, pero hay algunas que pueden causar lesiones respiratorias o respuestas inflamatorias, especialmente en personas con mecanismos de eliminación comprometidos. Los efectos de ingestión son principalmente por consumo de la vida acuática, en los cuales existen varios estudios como los de (Van Raamsdonk et al., 2020), (Hossain et al., 2019), (Villamar Lucas, 2022) que reportan la presencia de microplásticos en los organismos los cuales son miembros de la cadena alimenticia del ser humano. Aunque la mayoría de los estudios se centran en la ingestión de MP no humanas, pueden utilizarse para observar los efectos que esto podría tener en tejidos y órganos. Un estudio sobre la acumulación tisular de poliestireno en el pez cebra encontró MP de 5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Esto provocó inflamación y acumulación de lípidos. También descubrieron que la exposición a MP indujo alteraciones de los perfiles metabólicos en el hígado y alteraba el metabolismo lipídico y energético (Lu et al., 2016). Y por último los efectos biológicos se ha demostrado que las bacterias pueden colonizar rápidamente las superficies MP en el medio marino (Blackburn & Green, 2021). Aunque hay suficientes investigaciones que demuestran que los microorganismos pueden colonizar las MP, hay pocas pruebas de si son capaces o no de degradar las partículas de los microplásticos. También se sabe que la microbiota intestinal desempeña un papel importante en la salud del huésped y que las MP pueden ser portadoras de posibles pesticidas, fungicidas

y patógenos, los cuales una vez ingeridos, estos pueden afectar a la salud al cambiar la composición de la microbiota intestinal (Lu et al., 2016).

### **2.3.4 Métodos de extracción para microplásticos**

Los procesos de extracción son fundamentales para llevar a cabo una etapa inicial de descomposición con el fin de extraer microplásticos (MPs) de la matriz objeto de estudio.

Entre los métodos de descomposición más significativos se encuentran aquellos que implican reacciones ácidas, alcalinas y enzimáticas (Acevedo Quilis, 2020).

#### **2.3.4.1 Digestiones, eliminación de materia orgánica**

Los métodos de digestión más adecuados implican en la degradación y disolución de materia biogénica presente en la muestra, son métodos de purificación para poder identificar y caracterizar de la mejor manera. Existen varios métodos utilizados para el pretratamiento de muestras con alto contenido de materia orgánica (Acevedo Quilis, 2020) la digestión ácida se utiliza para aislar fibras, pellets y/o fragmentos la cual consta en hacer uso de ácidos como son los más utilizados el HCl o HNO<sub>3</sub>, aunque se suele dañar los polímeros, por otro lado, tenemos a la digestión alcalina, la cual se emplea bases como NaOH o KOH actúan mediante la hidrólisis de las proteínas de la matriz orgánica. Se demostró que los polímeros sufren menor daño al ser tratados por digestión alcalina (Miller et al., 2017). La digestión enzimática es rápida y eficiente, pero tiene una gran desventaja la cual es que se necesita el uso de soluciones homogeneizadoras como lo es el tampón Tris-HCL lo cual se vuelve una digestión costosa. Y por último la digestión oxidativa WPO, por sus siglas en inglés, wet peroxide oxidation, se usa sustancias oxidativas como es el peróxido de hidrogeno al 30% (v/v) y el ácido nítrico (Beatriz et al., 2021). Para que se dé de mejor manera la reacción de oxidación de Fenton se añade sulfato de hierro, el cual actúa como catalizador (Franco & Pino, 2019).

### **2.3.5 Reacción de Fenton**

La reacción de Fenton es un proceso químico que involucra la creación de radicales libres a partir de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) cuando se combina con iones de hierro ( $Fe^{2+}$  o  $Fe^{3+}$ ), el hierro (Fe) actúa como un catalizador que facilita la descomposición del peróxido de hidrógeno, generando radicales hidroxilo ( $\cdot OH$ ). (E. M. Pérez et al., 2022). Estos radicales son altamente reactivos y pueden oxidar diversos compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos. Los radicales hidroxilo resultantes desempeñan un papel clave en numerosas reacciones de oxidación en entornos biológicos y ambientales. La reacción de Fenton encuentra aplicaciones valiosas en la práctica, especialmente en el tratamiento de aguas contaminadas para la eliminación de compuestos orgánicos nocivos (Salas, 2010). Según los estudios de (Liu et al., 2022) y (Zhang et al., 2023), la reacción de Fenton ha demostrado ser particularmente efectiva en muestras con elevadas concentraciones de materia orgánica. Estos estudios respaldan la conclusión de que la reacción de Fenton es la opción más adecuada y eficaz para abordar la descontaminación en situaciones donde la presencia de materia orgánica es significativa.

### **2.3.6 Microfiltración**

Se enfoca en la segregación de sustancias, las cuales pueden presentarse en diversos estados, ya sea líquidos o gases, mediante el empleo de una membrana de nitrocelulosa de  $0,45 \mu m$ , que separa dos etapas del procedimiento: la alimentación y la salida. Durante este proceso, las micropartículas plásticas se retendrán en la parte superior de la membrana de nitrocelulosa.

### **2.3.7 Métodos de evaluación de microplásticos**

#### **2.3.7.1 Microscopía óptica**

La microscopía óptica emplea la luz visible como fuente de iluminación y se utiliza para la observación y análisis de las morfologías de células y tejidos. No obstante, su resolución se limita a unos 200 nanómetros, aproximadamente la mitad de la longitud de onda de la luz

visible (Ryan et al., 2017). Este tipo de microscopía se aplica para examinar la microestructura tanto de muestras biológicas como inorgánicas, aprovechando la interacción de un haz de luz. En términos generales, este método puede alcanzar aumentos de hasta 1000, permitiendo una exploración detallada y reveladora de las características de las muestras.

### **2.3.7.2 Microscopia de fluorescencia**

El proceso de respuesta a un estímulo fluoróforo en una región específica de un objeto o especie biológica da lugar a la fluorescencia. El estímulo lo proporciona un fotón, que puede proceder de una fuente de luz como un láser o una lámpara incandescente, entre otras. Este fotón hace que la energía de los electrones en el estado del elemento en el que están interactuando se eleve a un estado excitado, que dura entre uno y diez nanosegundos, antes de liberar la energía de ese estado excitado en forma de otro fotón. Dado que el objetivo de la microscopía es separar la luz de excitación de la fluorescencia emitida, el fotón emitido tiene una energía menor que el fotón original, lo cual es importante porque la longitud de onda más corta hace posible la separación con el uso de una sonda dieléctrica (Barbosa Berrio, 2018)

### **2.3.7.3 Microscopia electrónica de barrido**

Un microscopio electrónico de barrido (SEM) utiliza haces de electrones para capturar imágenes tridimensionales muy detalladas de muestras microscópicas con una resolución superior. Ofrece una gran profundidad de campo y la posibilidad de analizar la composición química mediante espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDS) (Mohammed & Abdullah, 2018). La microscopía electrónica de barrido (SEM) proporciona rápidamente información detallada sobre la morfología, envejecimiento y origen de las muestras, ofreciendo alta resolución en la superficie y datos cualitativos (Gniadek & Dąbrowska, 2019). En comparación con la microscopía óptica, el SEM ofrece imágenes de alta resolución y aumento. Por lo tanto, SEM es crucial para estudiar los microplásticos, ya que proporciona

información sobre sus características físicas y químicas a escala ampliada (Masry et al., 2021a).

## **2.3.8 Caracterización de microplásticos**

### **2.3.8.1 Espectroscopía**

La espectroscopía es el estudio de los espectros resultantes de la interacción entre la energía radiante y la materia. Esta técnica permite identificar y medir sustancias en muestras, tanto orgánicas como inorgánicas, posibilitando análisis cualitativos y cuantitativos.

## **2.3.9 Métodos de identificación de microplásticos**

### **2.3.9.1 Espectroscopía infrarroja por transformadas de Fourier (FTIR)**

Posee una gran biblioteca para comparar polímeros y plásticos, alimentos, productos farmacéuticos, entre otros. Esta técnica se basa en la creación de espectros de reflexión de las bandas de ciertos grupos funcionales presentes en las sustancias a analizar. Por ende, se utiliza para identificar el tipo de microplásticos.

### **2.3.9.2 Espectroscopia Raman**

Se trata de un método fotónico que posibilita la identificación de la estructura química de cualquier tipo de compuesto, ya sea orgánico o inorgánico. La espectroscopia Raman permite la identificación de plásticos basándose en los picos característicos de su región dactilar específica (Masry et al., 2021b). Su gran resolución también facilita el identificación de microplásticos tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$  (Ortega, 2020).

### **2.3.9.3 Pirólisis-GC / MS**

La técnica de cromatografía de gas de pirólisis (GC) junto con espectrometría de masas (MS) permite analizar la composición química de partículas microplásticas a través de la degradación térmica (Fries et al., 2013). La pirólisis de polímeros genera pirogramas que facilitan la identificación del tipo de polímero. Este método se emplea después de la

extracción y clasificación visual de microplásticos en sedimentos. La fuente del polímero se determina comparando los productos de combustión con pirogramas de referencia de polímeros vírgenes (Balarezo & Barbecho, 2021). La inclusión de desorción térmica previa permite el análisis de aditivos plásticos orgánicos durante las pruebas de pirólisis-GC/MS (Fries et al., 2013). Aunque proporciona asignaciones precisas de microplásticos a tipos de polímeros, tiene limitaciones, como la colocación manual de partículas y la capacidad para analizar solo una partícula por ejecución, haciéndolo menos adecuado para grandes cantidades de muestra en campañas de muestreo o monitoreo rutinario.

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 Nivel de investigación**

El enfoque de esta investigación es de carácter descriptivo, con el objetivo de describir y caracterizar una situación específica bajo condiciones exactas. En este caso, se busca interpretar la presencia de microplásticos en la entrada y la salida de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba. Se recopilarán datos sobre las variables relevantes para su posterior análisis, con el propósito de establecer una base sólida para la comprensión inicial de este fenómeno, que podría tener graves implicaciones en el futuro. El enfoque de estudio será observacional, ya que el investigador se restringirá a la medición de las variables, en este caso, los microplásticos, sin intervenir en su manipulación. Dado que se trata de un estudio analítico que involucra una variable, pero distintos grupos de estudio, puede dar lugar a una comparación de las concentraciones de variables entre los diferentes grupos de investigación. La investigación será un estudio transversal el cual solo se hará una medición sin influencia del tiempo.

#### **3.2 Diseño de investigación**

En la investigación descriptiva, las variables no son influenciadas intencionalmente, con lo cual son variables independientes. En este contexto, la naturaleza de la variable y su comportamiento no recaen en la responsabilidad del investigador. Por lo tanto, el diseño se divide en dos enfoques: documental y de campo.

El enfoque documental implica buscar, analizar e interpretar fuentes para obtener comprensión sobre los fenómenos en estudio. Estas fuentes pueden ser documentos o datos preexistentes. En contraste, el enfoque de campo se refiere a la obtención de datos directamente de muestras extraídas del lugar de investigación. En este caso, los datos no son

manipulados ni modificados, ya que cualquier intervención podría afectar la obtención de datos precisos y verificables, por lo tanto, corresponde a un estudio transversal en el cual se recopilan los datos en un solo momento, lo que es de conveniencia para determinar la prevalencia de ciertas condiciones y presencia de microplásticos en las muestras.

### **3.3 Población y muestra**

La población hace referencia a las piscinas que conforman la entrada y salida en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba. De acuerdo con la normativa técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 en su Primera revisión, titulada "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo", se llevará a cabo la toma de muestras. En total, se recolectarán cinco muestras de cada una de las piscinas de entrada y de salida, lo que resulta en un conjunto de muestras, las cuales serán 10 sometidas a análisis para evaluar la concentración y característica de los microplásticos.

El proceso de muestreo se fundamenta en la técnica delineada en la normativa mencionada en el apartado 4.6 denominado "Muestras compuestas", la cual implica la generación de muestras compuestas. En este procedimiento, dos o más muestras individuales se amalgaman en proporciones preestablecidas. Estas proporciones de mezcla se determinan a partir del flujo y el caudal de ingreso a la planta de tratamiento de Ucubamba. Las muestras se obtienen de forma automática y continua. Subsiguientemente, estas muestras individuales se unifican para constituir las muestras compuestas.

En lo que respecta a los tipos de recipientes en el apartado 5.1.2.2 hace referencias a la norma siguiendo las directrices de los llamados "recipientes especiales", con base en las especificaciones. Esto se hace con el fin de prevenir la sensibilidad a la luz en las muestras. Para evitar la degradación de los elementos analizados, se recurre a la utilización de



recipientes opacos fabricados de vidrio. De esta manera, se resguarda la integridad del objetivo durante el proceso de análisis

### **3.4 Variables**

Al ser una investigación descriptiva se identifica una gran cantidad de variables como la cantidad de microplásticos, tipos de microplásticos, forma del microplásticos, tamaño del microplásticos, pero existen variables intervinientes a las cuales no se tomarán en cuenta como son el flujo del caudal del ingreso a la planta y la temporalidad en las que se encuentra el momento de la toma de muestra, debido a que se va de las manos.

Por lo tanto, las variables que se van a tomar en cuenta son las siguientes:

#### **3.4.1 Variables independientes**

Cantidad de microplásticos, tipos de microplásticos, forma del microplásticos, tamaño del microplásticos

#### **3.4.2 Operacionalización de variables**

La Tabla 1 que se muestra a continuación presenta las variables de la investigación en una matriz de operacionalización, donde se detallan las variables a considerar.

**Tabla 1.***Matriz operacionalización de Variables*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
<b>Características</b>	Cantidad	# de microplasticos/ mL
	Forma	Fibra/ Fragmento
	Tamaño	Circularidad/Área
<b>Tipo de plástico</b>	PET	%
	PTFE	%
	POLIAMIDA	%
	NYLON	%
	Otros	%

*Nota.* Fuente: Autor, 2024

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

Para el próximo trabajo de investigación, se utilizarán instrumentos y técnicas específicas para la obtención de datos. En primer lugar, se empleará la investigación de tipo documental, ya que se recopiló información de diversas bases de datos, tales como repositorios universitarios, Scielo, Scopus, Google Scholar, Latindex, eLibro y ProQuest. Además, se utilizarán gestores bibliográficos como Zotero y Mendeley para asegurar una citación adecuada y un uso correcto de la bibliografía mencionada.

Por otro lado, para el diseño de investigación de campo, se implementará la observación directa como método principal para la recolección de datos. En este proceso, se utilizará la microscopía de fluorescencia y la Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para

facilitar el levantamiento de información detallada y precisa mediante instrumentos no estructurados como son fotografías y diarios de campo.

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

Se utilizan técnicas como el programa Microsoft Excel para crear tablas, gráficos y análisis estadísticos descriptivos. Además, se realiza un Análisis de Varianza (ANOVA) con la asistencia del programa estadístico Rstudio con el objetivo de establecer si hay eliminación eficiente de microplásticos presentes en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua residuales.

Si los datos recolectados no presentaran una distribución normal, se hará el uso de pruebas no paramétricas para comparar el rango medio de las muestras relacionada y poder determinar la estadística de las distintas concentraciones de microplásticos.

### 3.7 Materiales, reactivos y equipos

Los materiales, reactivos y equipos utilizados para la investigación se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.**

*Materiales, reactivos y equipos para análisis de microplásticos.*

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Balón de aforo de 200 mL	Peróxido de Hidrógeno al	Placa agitadora
Balón de aforo de 500 mL	30%	Equipo de filtración al vacío
Probetas de 25 mL	Agua destilada	Microscopio investido de
Matraces Erlenmeyer de 500 mL	Sulfato de Hierro	fluorescencia
	Ácido sulfúrico	FTIR
Tamiz de 150 µm	Cloruro de Sodio	
Pinzas metálicas	Rojo de Nilo	
Portaobjetos		
Filtros de nitrocelulosa		
Botellas de vidrio ámbar con tapa de vidrio		
Papel aluminio		
Embudos de decantación		
Termómetro		
Barras para agitación		
Matraz Kitasato 1000 mL		

*Nota.* Fuente: Autor 2024

### **3.8 Metodología para levantamiento de información**

#### **3.8.1 Toma de muestra**

Para esta sección se tomará en cuenta todos los parámetros para la obtención de las muestras bajo las condiciones óptimas para poder obtener datos de calidad.

##### **3.8.1.1 Puntos de muestreo**

En la tabla 3 se representa los puntos de muestreo de la planta de tratamiento de aguas residuales de las cuales se obtuvieron las muestras, para su posterior análisis.

**Tabla 3***Puntos de muestreo y lugar de muestreo.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Muestras</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Lugar</b>	<b>Volumen por replica (mL)</b>	<b>Total, de muestras/piscina</b>
<b>Entrada a la piscina 1 (Cruda)</b>	<b>C</b>	<b>5</b>	<b>C1.1</b>	Ucubamba	200	5
			<b>C1.2</b>		200	
			<b>C1.3</b>		200	
			<b>C1.4</b>		200	
			<b>C1.5</b>		200	
<b>Entrada a la piscina 7 (Maduración 2)</b>	<b>M2</b>	<b>5</b>	<b>M2.1</b>	Ucubamba	200	5
			<b>M2.2</b>		200	
			<b>M2.3</b>		200	
			<b>M2.4</b>		200	
			<b>M2.5</b>		200	
<b>TOTAL</b>			10		2000	10

*Nota.* Fuente: Autor 2024**3.8.1.2 Recolección de muestras**

La toma de muestras en este proceso sigue rigurosamente las directrices establecidas por la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 en su Primera revisión, "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo". El procedimiento adoptado se basa específicamente en la técnica detallada en la sección 4.6, conocida como "Muestras compuestas". Esta técnica es esencial para obtener una representación precisa de la calidad

del agua, ya que permite fusionar múltiples muestras individuales en proporciones predefinidas, considerando cuidadosamente variables como el flujo y la tasa de ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales.

La toma de muestras se lleva a cabo de manera eficiente mediante el uso de equipos especializados denominados "Isco 4700 Refrigerated Sampler". Estos dispositivos permiten la toma automática de muestras a intervalos regulares de 15 minutos. Cada muestra individual tiene un volumen de 180 mL, y en total se obtienen 24 muestras individuales que se recopilan en botellas específicas. En cada hora, se llena una botella con un volumen total de 720 mL.

La planificación de la toma de muestras compuestas es sistemática. Se realiza cada lunes, y el proceso comienza el domingo a las 7 a. m. con la recopilación de muestras individuales.

Después de haber recolectado datos de caudal durante las 24 horas, se realizan cálculos precisos para combinar las muestras y obtener una muestra compuesta final con un volumen total de 4000 mL. La cantidad de líquido recogido para componer la muestra de cada botella se ajusta de acuerdo con el caudal de la toma de muestras. Este enfoque proporciona una visión integral de la calidad del agua a lo largo del tiempo, permitiendo una evaluación más precisa y representativa de las condiciones en la planta de tratamiento de aguas residuales.

### **3.8.1.3 Etiquetado**

El rotulado de la muestra sigue el procedimiento establecido por la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 en su Primera revisión, titulada "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo". Conforme a esta normativa, la muestra debe constar con localización (lagos y ríos, piscina), detalles del punto de muestreo, fecha de la recolección, método de recolección, hora de la recolección, nombre del recolector, naturaleza del pretratamiento, conservante o estabilizador adicionado.

#### **3.8.1.4 Traslado y almacenamiento de la muestra**

La muestra fue trasladada de manera inmediata al laboratorio de saneamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para su procesamiento. No se llevó a cabo el almacenamiento de la muestra, ya que fue procesada de inmediato.

### **3.8.2 Metodología para la extracción de los microplásticos de la matriz**

#### **3.8.2.1 Preparación de la muestra**

Se tomó una cantidad de 200 mL de la muestra y se diluyó, se dispuso en un vaso de precipitación debidamente etiquetado. Este proceso se repitió en cinco ocasiones, resultando en la preparación de un total de 10 muestras.

#### **3.8.2.2 Proceso de digestión ácida y tamizaje**

Se agrega 20 mL de peróxido de hidrogeno al 30% en cada muestra, se cubre con papel aluminio y se deja reposar por 72h sin exposición a la luz, transcurridas las 72h se tamiza las muestras a través de un tamiz de 150  $\mu\text{m}$ .

#### **3.8.2.3 Reacción de Fenton para abundante materia orgánica**

Para llevar a cabo la reacción de Fenton, se inicia preparando una solución de sulfato de hierro (0.05 M) en un volumen de 500 mL, a la cual se le incorporan 3 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Posteriormente, para desencadenar la reacción, se añaden 20 mL de la solución de sulfato de hierro (0.05 M) y se procede a calentar con agitación hasta alcanzar una temperatura de 75 °C durante 30 minutos. Al finalizar este período, se introduce una solución de cloruro de sodio al 5 M y se agita hasta lograr una homogeneidad en la mezcla.

#### **3.8.2.4 Sedimentación**

Se introduce la muestra en un embudo de decantación y se deja reposar por 72h, sin exposición a la luz.



### **3.8.2.5 Microfiltración**

Transcurrido el tiempo de sedimentación se descarta el sedimento y se conserva el sobrenadante, el cual es depositado en un vaso de precipitación. Se procede a un filtrado al vacío del sobrenadante a través de un filtro de “Mixed cellulose ester” (MCE) con las siguientes características, diámetro de partícula de 0.45 micrómetros y un diámetro del filtro de 47 mm.

### **3.8.2.6 Deshidratación**

Para concluir, se coloca el filtro para su extracción durante 24 horas a temperatura ambiente, en un entorno libre de luz y tomando todas las precauciones necesarias para evitar la exposición a ambientes que contengan plásticos o microplásticos.

### **3.8.2.7 Tinción**

Después de que el filtro ha sido completamente deshidratado, se lleva en una caja Petri el filtro para evitar contaminación y se rocía con la tinción de Rojo de Nilo y se permite secar durante una hora antes de ser examinado mediante microscopio de fluorescencia.

## **3.8.3 Análisis de las muestras**

### **3.8.3.1 Caracterización de los microplásticos**

Se usó un microscopio invertido de fluorescencia junto con el software NIS Elements AR. Este software cuenta con un programa que tiene la capacidad de medir de la cantidad, tamaño y forma de los microplásticos.

Se realizó un conteo en cada filtro en forma de zigzag para abarcar toda el área del filtro. Cada filtro fue sometido a un análisis utilizando un objetivo de 10x y se examinaron mediante fluorescencia con una longitud de onda de excitación de 358-359 nanómetros (nm) y una longitud de onda de emisión de 461-463 nm.

El conteo de los microplásticos se llevó a cabo mediante la función de conteo automatizado proporcionada por el mismo software del equipo.

### **3.8.3.2 Identificación de los microplásticos**

Después de haber caracterizado y marcado los microplásticos en los filtros mediante el microscopio de fluorescencia, se identificó en los puntos marcados el tipo de microplásticos presente utilizando el equipo FTIR. Este proceso consistió en analizar los espectros producidos por los polímeros plásticos identificados en cada muestra y comparar la coincidencia con la biblioteca “HR de polímeros y plastificantes” la cual está integrada en el software OMNIC, pudiendo así reconocer el tipo de microplásticos presente en cada punto seleccionado.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS Y RESULTADOS**

#### **4.1 Método implementado para el pretratamiento de la muestra**

Para determinar el método más óptimo se procedió a la comparación de dos tratamientos, el tratamiento A el cual no constaba con una reacción extra para la eliminación de materia orgánica abundante y el tratamiento B el cual tenía un paso extra para la eliminación de abundante materia orgánica. Estos tratamientos se realizaron para poder tener una efectiva visualización en el microscopio. Obteniendo como resultado favorable al tratamiento B el cual dio mejores resultados a la visualización efectiva.

**Tabla 4**

*Efectividad de tratamientos para visualización.*

Tipo de tratamiento	Numero de muestras	Visualización efectiva	
		Si	No
Tratamiento A	1.1		X
	1.2		X
	1.3		X
	1.4		X
	1.5		X
Tratamiento B	2.1	X	
	2.2	X	
	2.3	X	
	2.4	X	
	2.5	X	

*Nota.* fuente: Autor 2024

Según se observa en la Tabla 4, no se llevó a cabo ningún análisis estadístico ya que los resultados son fácilmente interpretables. Se evidencia una visualización efectiva del 100% para el tratamiento B.

## **4.2 Características físicas de los microplásticos del estudio**

### **4.2.1 Análisis de la concentración de microplásticos**

Para la determinación de la cantidad de microplásticos presentes en cada muestra se analizaron los datos que se obtuvieron del software automatizado del microscopio de fluorescencia, los datos se analizaron en la tabla 5.

**Tabla 5**

*Número de microplásticos y concentración encontrados en las muestras de agua residual de la planta de tratamiento de Ucubamba.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Muestras</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Cantidad de Mp's</b>	<b>Concentración de Mp's /200mL</b>
<b>Entrada a la piscina 1 (C)</b>	<b>C</b>	<b>5</b>	<b>C1.1</b>	2116	10,58
			<b>C1.2</b>	824	4,12
			<b>C1.3</b>	775	3,875
			<b>C1.4</b>	890	4,45
			<b>C1.5</b>	899	4,495
<b>Promedio</b>			1100,8 Mp's por cada 200 mL de muestra		
<b>Entrada a la piscina 7 (M2)</b>	<b>M2</b>	<b>5</b>	<b>M2.1</b>	642	3,21
			<b>M2.2</b>	1265	6,325
			<b>M2.3</b>	2355	11,775
			<b>M2.4</b>	3546	17,73
			<b>M2.5</b>	811	4,055
<b>Promedio</b>			1723,8 Mp's por cada 200 mL de muestra		

*Nota.* Fuente: Autor 2024

En la tabla 5 se puede evidenciar que existe una gran cantidad de microplásticos en las aguas residuales de la planta de tratamiento Ucubamba debido a que es el repositorio de todo el alcantarillado de la ciudad Cuenca y sus zonas rurales. Se observa un promedio 1100,8 por cada 200 mL de muestra en la entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales y en la entrada de la última piscina de la planta de tratamiento de aguas residuales se observa un

promedio de 1723,8 por cada 200 mL de muestra de los cuales nos muestra que existe una mayor cantidad de microplásticos en la piscina de salida hacia el Río Cuenca.

Según (Fuentes, 2021), en la Planta de Tratamiento de Agua Residual Media Luna (PTAR-ML) en Perú, se encontraron  $67.5 \pm 11.7$  microplásticos por litro en los afluentes. Al convertir nuestros datos, esto equivale a 220.16 microplásticos por litro, lo cual representa un aumento del 328% en la cantidad de microplásticos en comparación con la planta de tratamiento analizada. Por otro lado, también se menciona que en los efluentes se identificaron  $17.4 \pm 1$  microplásticos por litro. Si comparamos estos datos con los obtenidos, se puede afirmar que en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba están presentes 99,069 microplásticos por litro. Cabe mencionar que tanto la planta de tratamiento Media Luna y la de Ucubamba son plantas de tratamiento biológico en las cuales constan de piscinas de aireación y facultativas, por otro lado, la metodológica utilizada en la planta de tratamiento Media Luna es distinto, debido a que se hace uso de una sedimentación primaria de la muestra, en el procedimiento utilizado en este estudio se analizó todo el contenido de la muestra no solo el sobrenadante. En comparación, se observa una mayor presencia de microplásticos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba que en la planta mencionada anteriormente.

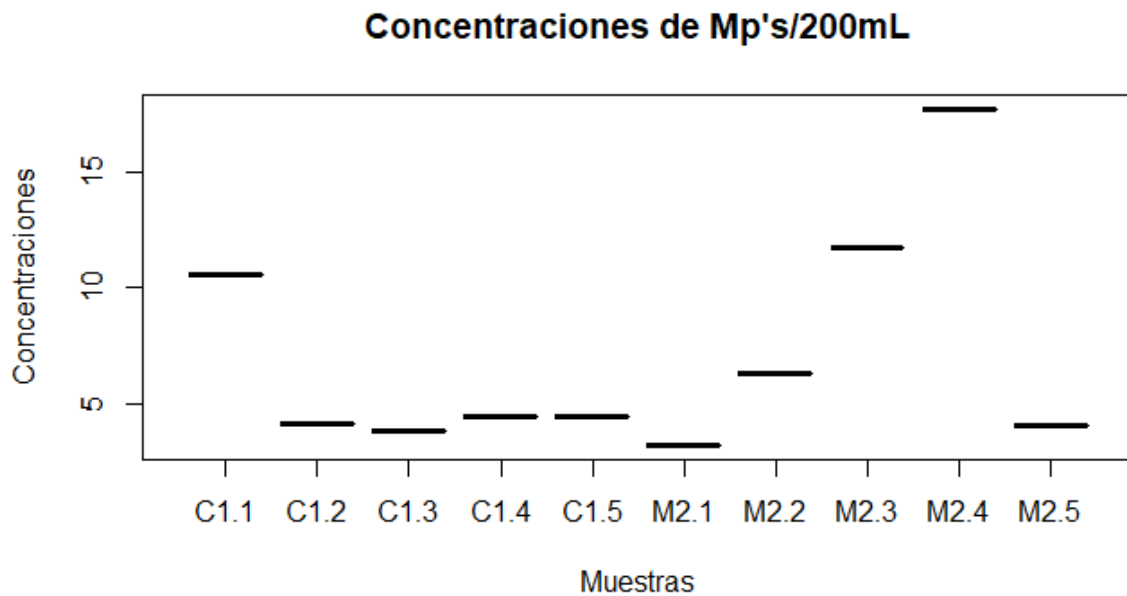
Además, en estudios como el de (Edo et al., 2020) se identificaron alrededor de  $171 \pm 43$  microplásticos en el afluente y  $10.7 \pm 5.2$  microplásticos en los efluentes por litro en Madrid. En estudios realizados por (Olmos et al., 2021), se menciona que la investigación de la presencia de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales varía considerablemente, lo cual se puede corroborar con los datos tan variables mencionados anteriormente.

En los estudios mencionado anteriormente no se menciona la época del año en la cual se recolecto las muestras, en este estudio las muestras fueron recolectadas en septiembre, lo que se considera como mes de sequía, con lo que conlleva una mayor concentración de todos los

parámetros y por los datos obtenido se puede decir que existe una mayor concentración de microplásticos en las planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba,

**Figura 1.**

*Concentraciones de Mp's/200mL.*



*Nota:* La figura se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

En la figura 1 se puede interpretar las concentraciones obtenidas de las muestras. Para las muestras C1.1, C1.2, C1.3, C1.4 y C1.5 tienen una mediana aproximadamente en el mismo nivel, indicando que estas concentraciones son comparables entre sí. Por otro lado, en la muestra M2.3 muestra la concentración más alta, ya que la mediana está en un nivel superior al de las otras muestras, se pueden concluir que no se observan valores atípicos fuera de los bigotes en este gráfico, lo que indica que no hay datos extremadamente atípicos en las concentraciones.

Para el análisis de varianza primero se necesita determinar la normalidad de los datos, utilizando la prueba de Shapiro Wilks, para evaluar la distribución de los datos es necesario plantear las hipótesis las cuales se aceptan o se rechazan.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Los datos tienen distribución normal
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no tienen distribución normal

**Tabla 6.**

*Test de normalidad.*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso Piscinas C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	0.77433	0.007061
<b>Nivel de significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

De acuerdo con los resultados el valor de p es de 0.007061 lo cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la alternativa la cual establece que los datos no tienen distribución normal.

Debido a esto se realiza pruebas no paramétricas como es la de Kruskal Wallis para poder determinar la varianza, se genera nuevas hipótesis con un grado de significancia del 0.05.



Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las concentraciones de los microplásticos son iguales en las piscinas C y M2
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Las concentraciones de los microplásticos no son iguales en las piscinas C y M2

**Tabla 7.**

*Prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.*

<b>Kruskal-Wallis test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Chi-squared</b>	<b>p-value</b>
<b>Ingreso Piscinas C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	9	0.4373
<b>Nivel de significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

Los resultados del valor p son de 0.4373, lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05. Debido a este resultado, se acepta la hipótesis nula, la cual sostiene que no hay diferencia significativa en las concentraciones entre las piscinas C y M2. Aunque dos conjuntos de datos pueden mostrar diferencias matemáticas, es importante considerar la variabilidad inherente y las incertidumbres estadísticas al interpretar los resultados. La significancia estadística proporciona una guía sobre la confianza en la generalización de los resultados a la población más amplia.

#### **4.2.2 Análisis de la forma de los microplásticos**

Para el análisis de la forma de los microplásticos, se emplearon los datos proporcionados por el software del microscopio de fluorescencia, centrándonos en la evaluación de la circularidad de cada microplásticos. Es fundamental señalar que el parámetro de circularidad utilizado para la clasificación de las partículas no se ha encontrado en los bancos de datos disponibles. En consecuencia, no ha sido posible realizar comparaciones con especímenes normalizados u otros datos previamente establecidos. Dicho de otro modo, la falta de este parámetro en las bases de datos impide la contextualización y la comparación con las normas vigentes, debido a esto se estableció un rango específico para la circularidad, considerando como partículas aquellas con valores comprendidos entre 0.4 y 1, siendo 1 considerado como círculo. En los casos en los que la circularidad no se ubicó dentro de este intervalo, se clasificó al microplásticos como fibra en la categoría de 0.1 a 0.39.

**Tabla 8.**

*Número de fibras y fragmentos de microplásticos encontrados en las muestras de agua residual de la planta de tratamiento de Ucubamba.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Muestras</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Fibras</b>	<b>Partículas</b>
<b>Entrada a la piscina 1 (Cruda)</b>	<b>C</b>	<b>5</b>	<b>C1.1</b>	185	1931
			<b>C1.2</b>	147	777
			<b>C1.3</b>	35	740
			<b>C1.4</b>	39	851
			<b>C1.5</b>	70	829
<b>Total</b>				376	5128
<b>Entrada a la piscina 7 (Maduración)</b>	<b>M</b>	<b>5</b>	<b>M2.1</b>	55	587
			<b>M2.2</b>	61	1205
			<b>M2.3</b>	60	2195
			<b>M2.4</b>	87	3259
			<b>M2.5</b>	66	745
<b>Total</b>				329	7991

*Nota.* Fuente: Autor 2024

En la tabla 8 se analizó la forma de los microplásticos de la planta para poder establecer que características tenían los microplásticos.

Para poder identificar si los datos obtenidos cumplen con normalidad se realizó la prueba de Shapiro Wilks, se analizó en primera instancia los datos del parámetro fibras, para poder realizar esta prueba se plantearon las siguientes hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La distribución de la variable "Fibras" sigue una distribución normal.
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): La distribución de la variable "Fibras" no sigue una distribución normal.

**Tabla 9.**

*Test de normalidad*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Fibras en el ingreso</b>		
<b>Piscina C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	0.80517	0.01675
<b>Nivel de significancia</b>		0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

De acuerdo con los resultados el valor de p es de 0.01675 lo cual es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la alternativa la cual establece que los datos no tienen distribución normal.

Por otro lado, de realizo los mismos cálculos para saber si los parámetros “partículas” cumplían la normalidad con las siguientes hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La distribución de la variable "Partícula" sigue una distribución normal.
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): La distribución de la variable "Partícula" no sigue una distribución normal.

**Tabla 10.**

*Test de normalidad*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Partículas en el ingreso</b>		
<b>Piscina C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	0.78281	0.008957
<b>Nivel de significancia</b>		0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El valor de p es de 0.008957 lo cual es menos a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, lo que quiere decir que la variable "partícula" no tiene una distribución normal.

Debido a que los datos analizados no cumplen con la normalidad se hace uso de pruebas no paramétricas, la prueba normalmente utilizada es la de Kruskal Wallis, pero no se hizo uso de esta debido a que se necesita tres o más grupos para comparar las medianas, se hizo uso de la prueba no paramétrica Mann-Whitney U, más conocida como Wilcoxon-Mann-Whitney, la cual analiza si hay diferencia significativa entre las medianas de las muestras.

Al realizar esta prueba se obtuvieron los siguientes resultados, las hipótesis son:

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las mediana de las Fibras son iguales
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): Las mediana de las Fibras no son iguales

**Tabla 11.**

*Prueba de U de Mann-Whitney*

<b>Prueba de U de Mann-Whitney test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Grupos</b>	<b>Medianas</b>
<b>Fibras piscina C</b>	A	70
<b>Fibras piscina M2</b>	B	61
<b>Contraste</b>	Fibras piscina C – Fibras piscina M2	
<b>p-value</b>	0.8413	
<b>W</b>	14	
<b>Nivel de significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

Los resultados del valor p son de 0.8413 lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual sostiene que las medianas de las fibras en las piscinas C yM2 son iguales.

Para las Partículas de realizo lo mismo, se planteó las siguientes hipótesis:

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las mediana de las Partículas son iguales
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): Las mediana de las Partículas no son iguales

**Tabla 12.**

*Prueba de U de Mann-Whitney.*

<b>Prueba de U de Mann-Whitney test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Grupos</b>	<b>Medianas</b>
<b>Partículas piscina C</b>	A	829
<b>Partículas piscina M2</b>	B	1205
<b>Contraste</b>	Partículas piscina C – Partículas piscina M2	
<b>p-value</b>		0.6905
<b>W</b>		10
<b>Nivel de significancia</b>		0.05

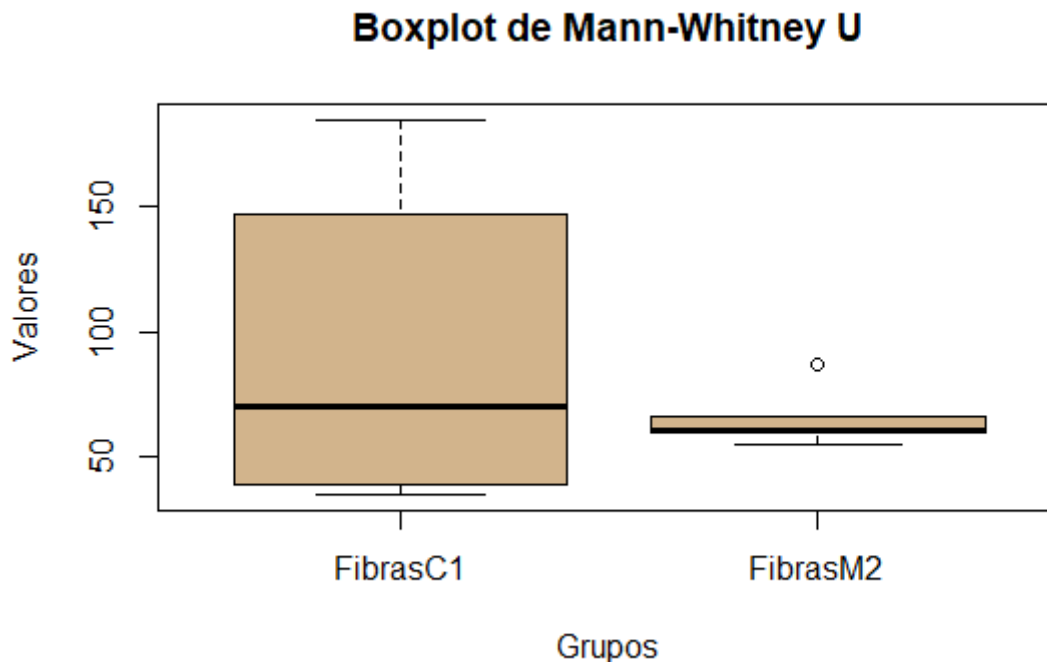
*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El resultados del valor p es de 0.6905 lo cual es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula, la cual sostiene que las medianas de las particulas en las piscinas C y M2 son iguales.

A continuación, se empleó un boxplot para visualizar de manera efectiva el patrón de distribución de la cantidad de fibras de microplásticos en los sitios de muestreo, como se ilustra en la figura siguiente.

**Figura 2.**

*Distribución de la cantidad de fibras.*



*Nota.* La figura se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El boxplot muestra la distribución de los datos de dos grupos, "FibrasC1" y "FibrasM2". La línea dentro de cada caja representa la mediana de cada grupo. En este caso, la mediana de "FibrasC1" parece estar en un valor más alto que la mediana de "FibrasM2". La caja representa el rango intercuartílico (IQR), que es la distancia entre el primer cuartil (Q1) y el tercer cuartil (Q3). En ambos grupos, "FibrasC1" y "FibrasM2", la caja tiene longitudes similares. Los bigotes muestran la variabilidad fuera de la caja, excluyendo los valores atípicos, en este caso, no parece haber valores atípicos y por último los puntos, si hay puntos fuera de las cajas, podrían indicar valores atípicos. En este boxplot, no parece haber puntos que indiquen valores atípicos. Por lo tanto, dado que la mediana de "FibrasC1" parece estar en un valor más alto que la mediana de "FibrasM2" y no hay evidencia visual clara de solapamiento en las cajas, esto sugiere que podría haber diferencias en la distribución de los

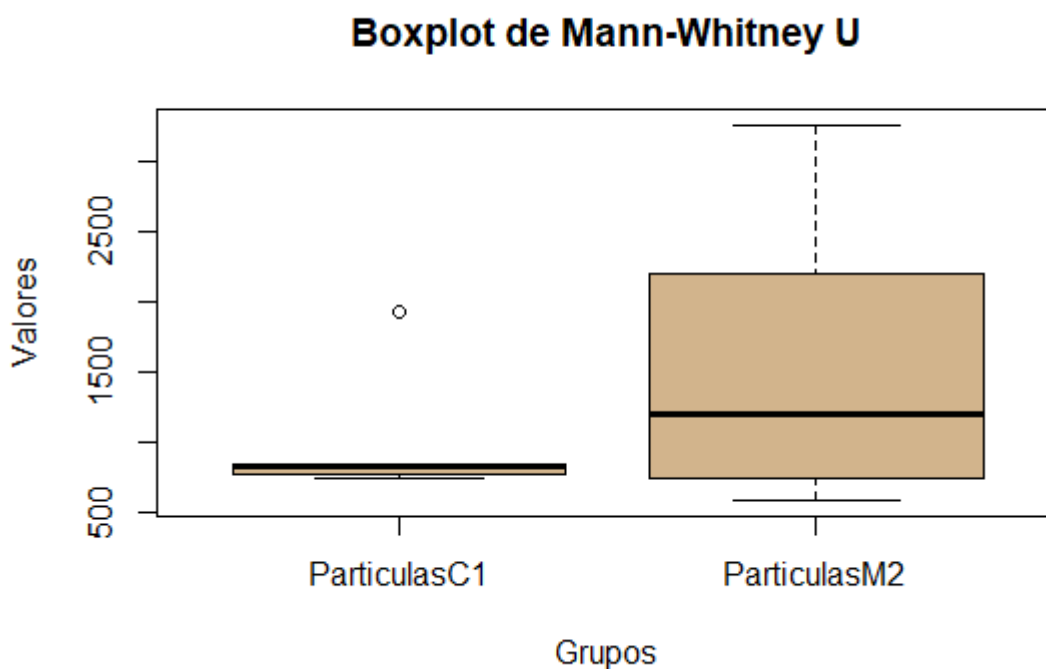


datos entre los dos grupos, pero es lo contrario debido a que ya se comprobó estadísticamente por la prueba de Mann-Whitney U.

Por otro lado, tenemos la figura 3 un boxplot para visualizar de manera efectiva el patrón de distribución de la cantidad de partículas de microplásticos en los sitios de muestreo.

**Figura 2.**

*Distribución de la cantidad de partículas.*



*Nota.* La figura se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El boxplot generado ofrece una representación visual de dos conjuntos de datos, "ParticulasC1" y "ParticulasM2", cada uno compuesto por cinco valores numéricos. Al observar el boxplot, podemos notar varias tendencias. En primer lugar, la mediana de "ParticulasC1" parece ubicarse alrededor de 800, mientras que para "ParticulasM2" se sitúa cerca de 1200. Esta diferencia sugiere que, en promedio, los valores de "ParticulasM2" son mayores que los de "ParticulasC1".

Además, al examinar la dispersión de los datos, observamos que la caja de "ParticulasC1" es relativamente más pequeña en comparación con "ParticulasM2". Esto indica una menor variabilidad en los datos de "ParticulasC1", mientras que "ParticulasM2" parece exhibir una mayor variabilidad, como se evidencia en la amplitud de la caja.

Un aspecto relevante a tener en cuenta es la presencia de un valor atípico en "ParticulasM2", que se sitúa por encima del rango normal de los datos. Esto podría indicar una observación inusual o un posible error de medición en este conjunto de datos, lo cual merecería una investigación adicional para comprender su origen y su posible impacto en el análisis.

Por lo tanto, el análisis del boxplot sugiere que los valores de "ParticulasM2" tienden a ser más altos y variables en comparación con "ParticulasC1".

#### **4.2.3 Análisis del tamaño de los microplásticos**

Para la determinación del tamaño de los microplásticos se analizó el área de cada uno teniendo un promedio por muestra analizadas, Es importante señalar que el parámetro de circularidad utilizado para la clasificación de las partículas no ha sido encontrado en las bases de datos disponibles. Por lo tanto, no ha sido posible realizar comparaciones con muestras estandarizadas u otros datos previamente establecidos. En otras palabras, la ausencia de este parámetro en las bases de datos impide la contextualización y comparación con estándares existentes.

**Tabla 13.**

*Promedio del área por filtro de cada muestra.*

<b>Punto de muestreo</b>	<b>Código</b>	<b>Muestras</b>	<b>Código de muestra</b>	<b>Tamaño de Fibras en micrómetros (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	<b>Tamaño de Partículas en micrómetros (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>
<b>Entrada a la piscina 1 (Cruda)</b>	<b>C</b>	<b>5</b>	<b>C1.1</b>	40.899	25.535
			<b>C1.2</b>	26.588	31.573
			<b>C1.3</b>	32.724	32.443
			<b>C1.4</b>	10.323	32.475
			<b>C1.5</b>	203.076	16.944
<b>Promedio</b>				62.722	27.794
<b>Entrada a la piscina 7 (Maduración 2)</b>	<b>M2</b>	<b>5</b>	<b>M2.1</b>	13.019	39.490
			<b>M2.2</b>	19.947	28.664
			<b>M2.3</b>	20.818	27.946
			<b>M2.4</b>	78.331	32.532
			<b>M2.5</b>	22.947	32.263
<b>Promedio</b>				31.012	32.179

*Nota.* Fuente: Autor 2024

Para poder saber si los datos del área cumplen la normalidad se realizó la prueba de Shapiro Wilks para la cual se plantearon las siguientes hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La distribución de las "Fibras" sigue una distribución normal.
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): La distribución de las "Fibras" no sigue una distribución normal.

**Tabla 14.**

*Test de normalidad*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Área de fibras en Piscina</b>		
<b>C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	0.62604	0.0001132
<b>Nivel de significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El valor de p es menor al nivel de significancia de 0.05 por lo que se acepta la hipótesis alternativa la cual establece que los datos del área de las fibras tanto de la piscina Cruda como la de la M2 no tienen una distribución normal.

Se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U en la cual se comparó las medianas tanto de las fibras de entrada y las fibras de salida. Para realizar esta prueba se plantearon hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las medianas de las Fibras son iguales
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): Las medianas de las Fibras no son iguales

**Tabla 15.**

*Prueba de U de Mann-Whitney.*

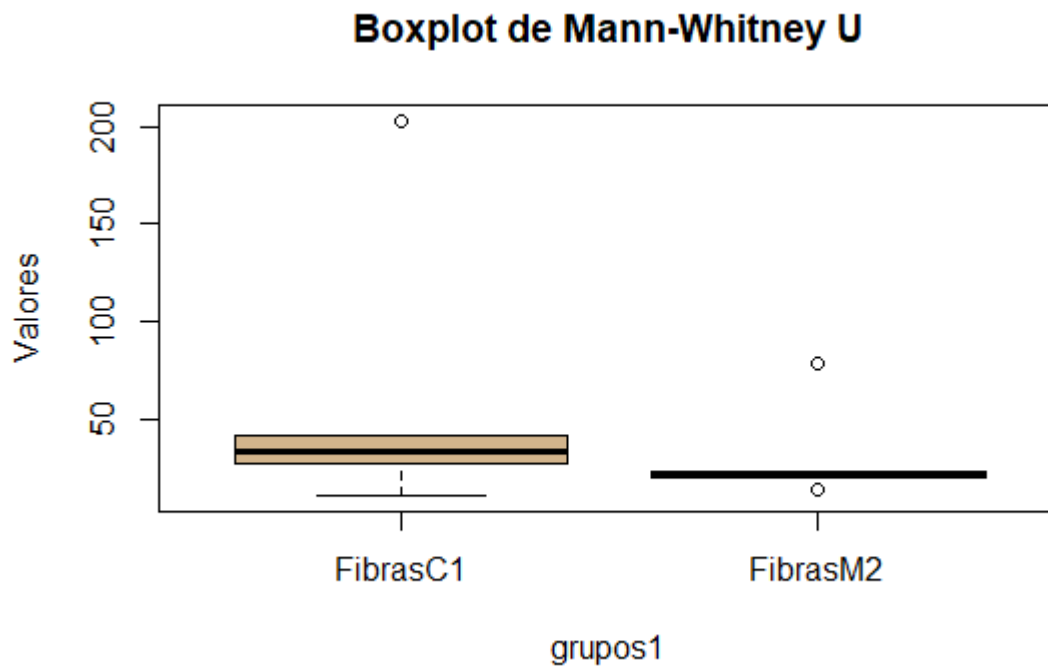
<b>Prueba de U de Mann-Whitney test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Grupos</b>	<b>Medianas</b>
<b>Fibras piscina C</b>	A	32.724
<b>Fibras piscina M2</b>	B	20.818
<b>Contraste</b>	Fibras piscina C – Fibras piscina M2	
<b>p-value</b>		0.4206
<b>W</b>		17
<b>Nivel de significancia</b>		0.05

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

Después de realizar la prueba Mann-Whitney U y comparar el valor de p que es mayor a 0.05, se puede decir que las medianas de las Fibras son iguales. En la siguiente figura se puede apreciar visualmente.

**Figura 3.**

*Distribución del área de fibras por piscina.*



*Nota. La figura se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024*

El boxplot muestra la distribución de dos conjuntos de datos: "FibrasC1" y "FibrasM2". Se observa que la mediana de "FibrasC1" es aproximadamente 32, mientras que para "FibrasM2" es cerca de 20. Esto sugiere que, en promedio, los valores de "FibrasC1" son mayores que los de "FibrasM2". Además, la caja de "FibrasC1" parece ser más grande, lo que indica una mayor variabilidad en los datos en comparación con "FibrasM2", cuya caja es más estrecha. No se observan valores atípicos en ninguno de los dos grupos de datos. El análisis del boxplot sugiere que los valores de "FibrasC1" tienden a ser mayores y más variables en comparación con "FibrasM2". Sin embargo, para una evaluación más completa de estas diferencias, es necesario considerar los resultados de la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Por otro lado, para analizar estadísticamente a la variable "Partícula" se realizó de igual manera la prueba de Shapiro Wilks con las siguientes hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): La distribución de las "Partículas" sigue una distribución normal.
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): La distribución de las " Partículas " no sigue una distribución normal.

**Tabla 16.**

*Test de normalidad*

<b>Shapiro Wilks normality test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
<b>Área de partículas en Piscina C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	0.8922	0.179
<b>Nivel de significancia</b>	0.05	

*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El valor de p es mayor a 0.05 lo que significa que la distribución de las partículas es normal lo que nos permite analizar mediante pruebas paramétricas como la de T de Student para comparar las partículas de la piscina C y las partículas de la piscina M2. La prueba t de Student es adecuada para comparar las medias de dos grupos independientes cuando los datos siguen una distribución normal. Siendo así se plantean las hipótesis.

Hipótesis planteadas:

- Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las medias de las partículas son iguales
- Hipótesis Nula ( $H_1$ ): Las medias de las partículas no son iguales

**Tabla. 17.**

*T - Student test.*

<b>T Student test</b>		
<b>Puntos de muestreo</b>	<b>df</b>	<b>p-value</b>
<b>Área de partículas en Piscina C/M2 de la planta de tratamiento de agua residual</b>	7.0554	0.2668
<b>Nivel de significancia</b>		0.05

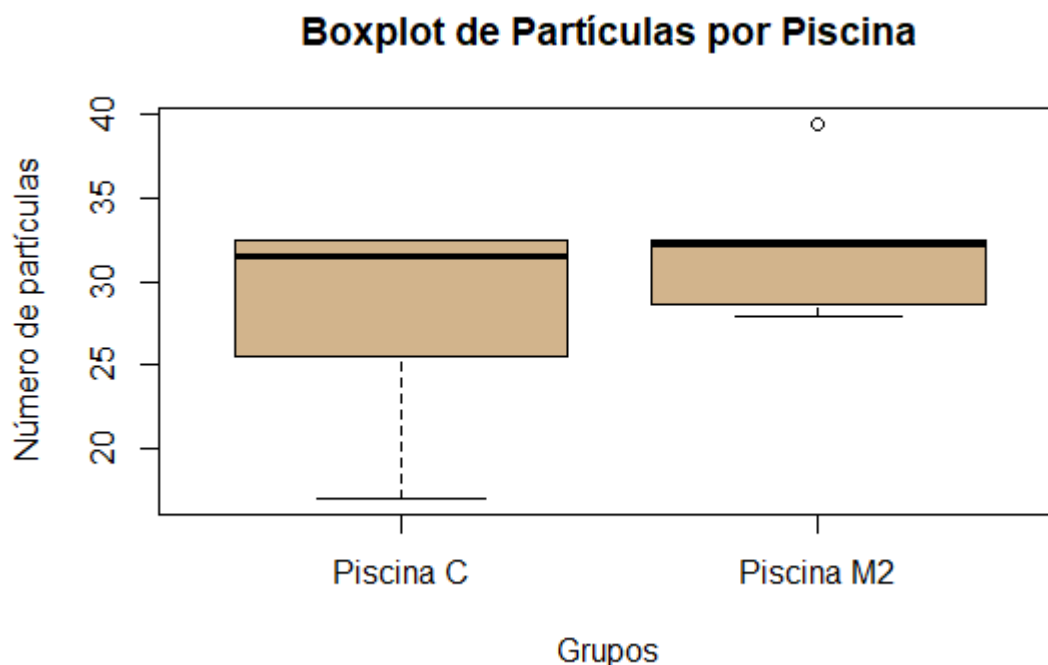
*Nota.* La prueba se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

Se acepta la hipótesis nula la cual establece que las medias son iguales para el área de las partículas de la piscina cruda “C” y la de maduración “M2”. A continuación, se observa una figura en la cual está representado un diagrama de caja y bigotes.



**Figura 4.**

*Distribución del área de las partículas por piscina*



*Nota.* La figura se realizó mediante el programa estadístico R-Studio. Fuente: Autor 2024

El boxplot representa la distribución del área de las partículas en dos piscinas diferentes, "Piscina C" y "Piscina M2". Se observa que la mediana del número de partículas en "Piscina C" parece ser menor que en "Piscina M2". Además, la caja de "Piscina C" es más pequeña, indicando una menor variabilidad en el número de partículas en comparación con "Piscina M2", cuya caja es más amplia. No se observan valores atípicos en ninguno de los grupos de datos. En resumen, el boxplot sugiere que el número de partículas en "Piscina M2" tiende a ser mayor y más variable en comparación con "Piscina C".

#### **4.3 Tipo del microplásticos por Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).**

En este estudio, se llevó a cabo un análisis de la presencia de diversos tipos de polímeros en el punto de entrada de la piscina C, que sirve como acceso principal a la planta de tratamiento

de aguas residuales de Ucubamba. Los resultados se detallan en la tabla 14, donde se identifican tres tipos principales de polímeros: polipropileno (PP), poli (tereftalato de etileno) (PET) y polivinilpirrolidona (PVP). Al comparar con investigaciones previas, como la realizada por (Fuentes, 2021), se observa que el contenido de polipropileno (12-13%) concuerda con los hallazgos de este estudio.

Según (Vollertsen & Hansen, 2017), quienes analizaron plantas en Dinamarca, la poliamida-Nylon fue el polímero predominante, aunque el polipropileno (PP) también estaba presente en proporciones significativas, lo cual se asemeja a nuestros resultados. En otro estudio sobre la planta de tratamiento San Jerónimo en Cusco (Tapia & Sequeiros, 2023), se menciona la presencia del polímero PET en un 36%, cifra que se asemeja a la obtenida en este estudio y a datos de otras investigaciones, como el de (Ziajahromi et al., 2017), que reporta un 35% de polímeros PET. Estos microplásticos, según la literatura, podrían originarse principalmente en el lavado de prendas sintéticas y el uso de productos de cuidado personal.

Lamentablemente, respecto al polímero PVP identificado en nuestro estudio, no se ha encontrado información en investigaciones anteriores. Se postula que este polímero podría tener su origen en actividades industriales cuyos desechos son vertidos al sistema de alcantarillado de la Ciudad de Cuenca. Estos desechos llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales, donde se detecta la presencia del polímero con un valor porcentual significativo.

**Tabla 18.**

*Tipo de microplasticos identificadas.*

<b>Punto</b>	<b>Tipos de polímeros identificados</b>		
	<b>PP</b>	<b>PET</b>	<b>PVP</b>
<b>Total, de Mp's que entran a la planta de tratamiento de agua residual de Ucubamba</b>	14.28%	42.85%	42.85%

*Nota.* Fuente: Autor 2024

#### **4.4 Análisis estadístico**

Para analizar los datos se aplicaron técnicas de estadísticas tanto inferenciales como descriptivas, para determinar la variación de las concentraciones y el valor de significancia en los dos puntos, las muestras de entrada a la piscina C y las muestras de entrada a la piscina M2. En la siguiente tabla se muestran los datos:

**Tabla 19.***Estadística descriptiva.*

	<b>Entrada a la piscina 1</b>	<b>Entrada a la piscina 7</b>
	<b>(C)</b>	<b>(M2)</b>
<b>Media</b>	5.03	8.23
<b>Error típico</b>	0.989	2.55
<b>Mediana</b>	4.45	6.325
<b>Desviación estándar</b>	2.21	5.70
<b>Variación de la muestra</b>	4.89	32.48
<b>Rango</b>	6.705	14.52
<b>Mínimo</b>	3.875	3.21
<b>Máximo</b>	10.58	17.73
<b>Suma</b>	27.52	41.06

*Nota.* Fuente: Autor 2024

En la Tabla 15 se evidencia la disparidad en las concentraciones de microplásticos entre las dos piscinas, tanto en la entrada (C) como en la salida (M2) de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se destaca que la concentración máxima de microplásticos se encuentra en la piscina de salida M2, sugiriendo un aumento en la concentración al pasar por el proceso de tratamiento.

En cuanto al error típico de la piscina M2, se observa que es considerablemente alto en comparación con la piscina de entrada C. Este elevado error implica una mayor variabilidad en las estimaciones de la media para la piscina M2, lo cual podría ser atribuible a la presencia de valores atípicos. La presencia de estos valores atípicos puede afectar significativamente la precisión de las estimaciones.

En relación con la desviación estándar, se aprecia que las concentraciones de microplásticos en la piscina M2 exhiben una dispersión mayor alrededor de su media en comparación con la piscina de entrada C. Esta mayor dispersión indica que hay una variabilidad más significativa en los datos de la piscina M2, lo cual puede afectar la confiabilidad de la media como medida representativa de la concentración típica. Una mayor desviación estándar sugiere una mayor incertidumbre en la estimación de la media poblacional, destacando la importancia de considerar la variabilidad en los resultados.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

El análisis de las muestras tomadas tanto a la entrada como a la salida del proceso ha permitido establecer la existencia de microplásticos en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba.

El método empleado para el pretratamiento de las muestras, la reacción de Fenton es el óptimo para la visualización de los microplásticos

La concentración encontrada en las muestras de entrada es de 1100,8 Mp por 200 mL, mientras que la concentración en las muestras de salida es de 1723,8 Mp por 200 mL.

En la entrada de la planta de tratamiento de Ucubamba hay más fibras que en la salida, mientras que ocurre lo contrario con el número de partículas: hay más en la salida. Esto se debe a que el proceso biológico de la planta de tratamiento afecta a las fibras entrantes, degradándolas y generando así una mayor cantidad de partículas en la salida.

Mediante espectroscopia FTIR, se determinó que el 42,85% de los microplásticos identificados en la planta de tratamiento correspondían a polivinilpirrolidona (PVP). Este polímero es ampliamente empleado en varias industrias, incluyendo la farmacéutica, cosmética y alimentaria. La importante presencia de PVP pone de manifiesto su amplio uso en procesos industriales. De igual manera el 42,85% de los microplásticos pertenecen al polietileno tereftalato (PET). Este polímero presenta una gran versatilidad y facilidad de uso; se emplea en envases alimentarios, botellas de agua y en la fabricación de recipientes para la industria farmacéutica y de medicamentos. La preferencia de los consumidores por el PET se

atribuye a sus propiedades de transparencia y resistencia mecánica, lo que lo convierte en un material altamente apreciado en productos de consumo

La cantidad de microplásticos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba son similares a la cantidad que sale al Río Cuenca.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba no modifica la concentración de microplásticos presentes en las aguas residuales

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda tener en cuenta si las muestras son complejas para poder realizar reacciones como la de Fenton para eliminar toda la materia orgánica, para tener una visualización óptima.
- Se sugiere llevar a cabo un análisis de la concentración de microplásticos en todas las piscinas de la planta de tratamiento de aguas residuales con el objetivo de obtener un conocimiento más exhaustivo sobre la concentración en cada piscina analizada.
- En relación con el uso del contador automatizado del microscopio de fluorescencia, se recomienda analizar la imagen final después de haber realizado las mediciones con las tres diferentes fluorescencias. Este enfoque permitirá obtener un conteo más preciso de la muestra.
- Para mejorar la observación de una mayor cantidad de microplásticos, sería beneficioso explorar diversas tinciones específicas para los distintos tipos de microplásticos presentes en la muestra.
- En el caso de que la lectura a través del FTIR se vea obstaculizada por biopelículas, se aconseja emplear solventes que faciliten la eliminación de dicha película, garantizando así una identificación de buena calidad.

- Se recomienda investigar nuevas técnicas de retención de micropartículas de plástico para prevenir su liberación en los ecosistemas acuáticos, contribuyendo de esta manera a la preservación ambiental.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Quilis, S. (2020). *Metodologías de extracción de microplásticos en tractos gastrointestinales de Scyliorhinus canicula (Linnaeus, 1758). Revisión bibliográfica.*
- Arbués Pérez, A., & Morales, E. B. (2022). *Evaluación de posibles estrategias basadas en la tinción fluorescente combinada con técnicas de separación para la detección de nanoplasticos Trabajo Fin de Grado.*
- Balarezo, E., & Barbecho, E. (2021). *Evaluación de los métodos de recolección, identificación y cuantificación de microplásticos en ecosistemas hídricos.*  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35591>
- Barbosa Berrio, N. (2018). Microscopía de fluorescencia de campo de luz por iluminación estructurada. *Instname: Universidad de Los Andes.*  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/35062>
- Batioja, L., & Dennisse, S. (2019). *FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA MACHALA 2022.*
- Billmeyer, F. W., Areal Guerra, R., & Translation of: Billmeyer, F. W. (2020). *Ciencia de los polímeros.*
- Blackburn, K., & Green, D. (2021). The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio 2021 51:3, 51(3), 518–530.*  
<https://doi.org/10.1007/S13280-021-01589-9>
- Blettler, M. C. M., Ulla, M. A., Rabuffetti, A. P., & Garello, N. (2017). Plastic pollution in freshwater ecosystems: macro-, meso-, and microplastic debris in a floodplain lake. *Environmental Monitoring and Assessment, 189(11).* <https://doi.org/10.1007/S10661-017-6305-8>

- Bollaín, C., Bollaín Pastor, C., & Agulló, D. V. (2020). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93, e201908064. [www.msc.es/resp](http://www.msc.es/resp)
- Briones, J. M. (2022). *Microplásticos en EDAR. Evaluación en la línea de aguas y de fangos*.
- Buteler, M., En, D., & Ambientales, C. (2020). *¿Qué es la contaminación por plástico y por qué nos afecta a todos?* <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/109678>
- Cabrera, M., Valencia, B. G., Lucas-Solis, O., Calero, J. L., Maisincho, L., Conicelli, B., Moulatlet, G. M., & Capparelli, M. V. (2020). *A new method for microplastic sampling and isolation in mountain glaciers: A case study of one antisana glacier, Ecuadorian Andes*. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100051>
- Campoy, P., Beiras, R., & Ricardo Beiras, C. (2019). *Ficha Técnica Título Revisión: Efectos ecológicos de macro-, meso-y microplásticos*.
- Capparelli, M. V., Molinero, J., Moulatlet, G. M., Barrado, M., Prado-Alcívar, S., Cabrera, M., Gimiliani, G., Ñacato, C., Pinos-Velez, V., & Cipriani-Avila, I. (2021). Microplastics in rivers and coastal waters of the province of Esmeraldas, Ecuador. *Marine Pollution Bulletin*, 173(Pt B). <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113067>
- Cardona, D., Lavernia, C. J., & Alcerro, J. C. (2010). Artículo de historia Polietileno Primera parte. *Acta Ortopédica Mexicana*, 24(2), 123–128. [www.medigraphic.org.mx](http://www.medigraphic.org.mx)
- Carolina, C., Lina Marcela, C.-D., La Cruz-Rodríguez Hever, D., & Norman Andrés, Á.-J. (2017). *Propiedades termo-mecánicas del Polipropileno: Efectos durante el reprocesamiento* *Thermo-mechanical properties of Polypropylene: Effects during reprocessing*.

- Carrillo, W., Negrete, J., Loor, X., & Riera, E. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas The quality of domestic waste water A qualidade das águas residuais domésticas*. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Castañeta, G., & Gutiérrez, A. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Scielo.Org.Bo*. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602020000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602020000300005&script=sci_arttext)
- Celaya, C. (2020). *DETECTION AND CHARACTERIZATION OF MICRO/NANO PLASTICS IN PERSONAL CARE PRODUCTS TRABAJO FIN DE GRADO*.
- Cornish Alvarez, M. Laura. (1997). *El ABC de los plásticos*. 138.
- Cuenca, M., & Mayancela, M. (2023a). *DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y METALES PESADOS PRESENTES EN LA MICROCUENCA DEL RÍO GUALACEÑO DEL CANTÓN LIMÓN, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO*.
- Cuenca, M., & Mayancela, M. (2023b). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA*.
- Dauvergne, P. (2018). The power of environmental norms: marine plastic pollution and the politics of microbeads. *Environmental Politics*, 27(4), 579–597. <https://doi.org/10.1080/09644016.2018.1449090>
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405–1416. <https://doi.org/10.1111/GCB.14020>
- De-La-Torre, G. E., Lisseth, ;, Mendoza-Castilla, M., Laura, R. P., San, U., De Loyola, I., Lima, P., & Torre, G. E. D. La. (2019). Microplastic contamination in market bivalve

*Argopecten purpuratus* from Lima, Peru. *Manglar*, 16(2), 85–89.

<https://doi.org/10.17268/MANGLAR>

Edo, C., González-Pleiter, M., Leganés, F., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2020). Fate of microplastics in wastewater treatment plants and their environmental dispersion with effluent and sludge. *Environmental Pollution*, 259, 113837.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.113837>

Flores, J., & Orozco, K. (2022). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA "EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN.*

Franco, A. A., & Pino, D. (2019). *PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ: IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN.*

Fries, E., Dekiff, J. H., Willmeyer, J., Nuelle, M. T., Ebert, M., & Remy, D. (2013).

Identification of polymer types and additives in marine microplastic particles using pyrolysis-GC/MS and scanning electron microscopy. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1949–1956. <https://doi.org/10.1039/C3EM00214D>

Fuentes, D. (2021). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS (MPs) EN EL AGUA RESIDUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIA LUNA, PROVINCIA DE ILO-2020 TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL PRESENTADO POR.*

Gallardo, C., Vásquez, N., & Thiel, M. (2021). *Cuarto Muestreo Nacional de Basura muestra que no hubo muchos cambios en la condición de las playas de Chile en la última década.*

- Gamboa, A. C., Pinto, C., Gutiérrez, G., & Ramírez, I. (2022). *Ciencia e Ingeniería BASURA PLÁSTICA Y MICROPLÁSTICOS: CONTAMINANTES EMERGENTES PRESENTES EN SEDIMENTOS DE UNA PLAYA URBANA DEL ORIENTE VENEZOLANO MARINE LITTER AND MICROPLASTICS: EMERGING CONTAMINANTS PRESENTS IN SEDIMENTS OF AN URBAN BEACH IN EASTERN VENEZUELA*. 9, 6706296.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6706296>
- Garcés, O. (2022). *Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispatá, Caribe colombiano*. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.1>
- García, S. C., Leiva, A. M. B., Evaristo, A. M. G., Gómez, A. L. P., Chan, J. R. V., Lemus, I. S., & Mian, J. P. H. (2021). Contaminación y microplásticos en ecosistemas acuáticos. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 10.  
<https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3311>
- García-Chamero, A., Alonso Hernández, C. M., & Chamero Lago, D. (2020). First evidence of microplastics in Cienfuegos bay, Cuba. *Ecosistemas*, 29(3).  
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2085>
- Gasperi, J., Wright, S. L., Dris, R., Collard, F., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., Kelly, F. J., & Tassin, B. (2018). Microplastics in air: Are we breathing it in? *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 1, 1–5.  
<https://doi.org/10.1016/J.COESH.2017.10.002>
- Gniadek, M., & Dąbrowska, A. (2019). The marine nano- and microplastics characterisation by SEM-EDX: The potential of the method in comparison with various physical and chemical approaches. *Marine Pollution Bulletin*, 148, 210–216.  
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.07.067>

- Hidalgo-Ruz, V., & Thiel, M. (2013). Distribution and abundance of small plastic debris on beaches in the SE Pacific (Chile): A study supported by a citizen science project. *Marine Environmental Research*, 87–88, 12–18.  
<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.015>
- Hossain, M. S., Sobhan, F., Uddin, M. N., Sharifuzzaman, S. M., Chowdhury, S. R., Sarker, S., & Chowdhury, M. S. N. (2019). Microplastics in fishes from the Northern Bay of Bengal. *Science of The Total Environment*, 690, 821–830.  
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.065>
- Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(16), 19544.  
<https://doi.org/10.1007/S11356-021-13184-2>
- Jaén, M., Esteve, P., & Banos-González, I. (2019). Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 16(1), 1501.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i1.1501](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1501)
- Jones, J. S., Guézou, A., Medor, S., Nickson, C., Savage, G., Alarcón-Ruales, D., Galloway, T. S., Muñoz-Pérez, J. P., Nelms, S. E., Porter, A., Thiel, M., & Lewis, C. (2022). Microplastic distribution and composition on two Galápagos island beaches, Ecuador: Verifying the use of citizen science derived data in long-term monitoring. *Environmental Pollution*, 311, 120011. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.120011>
- Klein, D. (2013). *Química Orgánica*.
- Li, B., Liang, W., Liu, Q. X., Fu, S., Ma, C., Chen, Q., Su, L., Craig, N. J., & Shi, H. (2021). Fish Ingest Microplastics Unintentionally. *Environmental Science & Technology*, 55(15), 10471–10479. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C01753>

- LINO, A. (2019). *MICROPLÁSTICO EN EL TRACTO DIGESTIVO DE Scomber japonicus, Opisthonema libertate Y Auxis thazard, COMERCIALIZADOS EN EL PUERTO PESQUERO DE SANTA ROSA, PROVINCIA DE SANTA ELENA-ECUADOR.*
- Lino, L. (2022). *UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL.*
- Liu, Y., Wang, B., Pileggi, V., & Chang, S. (2022). Methods to recover and characterize microplastics in wastewater treatment plants. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 5, 100183. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2022.100183>
- López, C., Soto, L. M., Acosta, V., Santana-Piñeros, A. M., Cruz-Quintana, Y., Gomes-Barbosa, L., Stamou, G., Karpowicz, M., Michaloudi, E., Domínguez-Granda, L., & Steinitz-Kannan, M. (2023). A first step to assess suspended microplastics in a freshwater wetland from the coastal region of Ecuador. *Frontiers in Environmental Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/FENVS.2023.1028970>
- Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., & Ren, H. (2016). Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. *Environmental Science and Technology*, 50(7), 4054–4060. [https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B00183/SUPPL\\_FILE/ES6B00183\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.6B00183/SUPPL_FILE/ES6B00183_SI_001.PDF)
- Marini, S., Blesio, G., & Godino, M. E. (2019). *PROGRAMA DE TECNOLOGÍA DE RESIDUOS MINEROS - DEMOSTRACIÓN DE PARED REACTIVA DE BACTERIAS REDUCTORAS DE SULFATO | Inventario de Ciencias | EPA de EE. UU.* [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=63332](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryId=63332)

- Masry, M., Rossignol, S., Gardette, J. L., Therias, S., Bussière, P. O., & Wong-Wah-Chung, P. (2021a). Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review. *Marine Pollution Bulletin*, *171*, 112701.  
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112701>
- Masry, M., Rossignol, S., Gardette, J. L., Therias, S., Bussière, P. O., & Wong-Wah-Chung, P. (2021b). Characteristics, fate, and impact of marine plastic debris exposed to sunlight: A review. *Marine Pollution Bulletin*, *171*, 112701.  
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112701>
- Mbachu, O., Jenkins, G., Pratt, C., & Kaparaju, P. (2020). A New Contaminant Superhighway? A Review of Sources, Measurement Techniques and Fate of Atmospheric Microplastics. *Water, Air, and Soil Pollution*, *231*(2), 1–27.  
<https://doi.org/10.1007/S11270-020-4459-4/METRICS>
- Miller, M. E., Kroon, F. J., & Motti, C. A. (2017). Recovering microplastics from marine samples: A review of current practices. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 123, Issues 1–2, pp. 6–18). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.058>
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). *SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM): A REVIEW*.
- Montagner, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. (2021). MICROPLÁSTICOS: OCORRÊNCIA AMBIENTAL E DESAFIOS ANALÍTICOS. *Química Nova*, *44*(10), 1328–1352. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170791>
- Murray-Tortarolo, G., Serrano-Medrano, M., & Miranda-Ackerman, M. A. (2021). *Una inundación global de plásticos A globAl flooding of plAstics*.  
<https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2021.22.4.10>



Nutsch, W. (1962). *Tecnología de la madera y del mueble* .

[https://www.google.com.ec/books/edition/Tecnolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_madera\\_y\\_del\\_mueble/ii1i7ZCDDuYC?hl=es&gbpv=1&dq=inauthor:%22Wolfgang+Nutsch%22&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Tecnolog%C3%ADa_de_la_madera_y_del_mueble/ii1i7ZCDDuYC?hl=es&gbpv=1&dq=inauthor:%22Wolfgang+Nutsch%22&printsec=frontcover)

Ocles, E. (2017). *Las industrias del sector poliestireno en el marco del Código Orgánico de la Producción*. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/6032>

Olmos Espinar, S., Javier, F., Bernal, B., López, J., & García, C. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA*.

Olmos, S., Javier, F., Bernal, B., López, J., & García, C. (2021). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA*.

Ortega, P. (2020). *Detección de microplásticos en el agua de mar con espectroscopía Raman*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/21071>

Pérez, E. M., Luísa, M., García, M., Ángeles, M., Aracil, B., & Candela, R. V. (2022). *Proceso foto-Fenton como una alternativa en la degradación de microplásticos de poliamida presentes en aguas residuales textiles*.

Pérez, J., Tutorizado, P., María, A., Pérez, R., & Martín, S. R. (2020). *Biodegradación de tereftalato de polietileno: microorganismos, enzimas y perspectivas futuras*  
*Biodegradation of polyethylene terephthalate: microorganisms, enzymes and future prospects* <https://www.genengnews.com/news/molecular-scissors-for-plastic-waste/>  
*Trabajo de Fin de Grado*. <https://www.genengnews.com/news/molecular-scissors-for-plastic->

Pironti, C., Notarstefano, V., Ricciardi, M., Motta, O., Giorgini, E., & Montano, L. (2022). *First Evidence of Microplastics in Human Urine, a Preliminary Study of Intake in the*

Human Body. *Toxics* 2023, Vol. 11, Page 40, 11(1), 40.

<https://doi.org/10.3390/TOXICS11010040>

*Planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba – ETAPA EP.* (2023).

<https://www.etapa.net.ec/agua-potable-y-saneamiento/operacion-y-mantenimiento-agua-potable-y-saneamiento/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-de-ucubamba/>

Ponce, D. G., Velazco, K. P., Vargas, N. A., Gabriel, B., & Galindo, G. (2023). Presencia de microplásticos en pescados aptos para consumo humano, agua y playas de la bahía de Santa Lucia, Acapulco, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(1), 239–250. <https://doi.org/10.56712/LATAM.V4I1.241>

Prata, J. C. (2018). Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environmental Pollution*, 234, 115–126. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2017.11.043>

Priyadarshini, R., Amobonye, A., Bhagwat, P., Raveendran, S., Singh, S., & Pillai, S. (2021). *Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview*. 12, 768297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768297>

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/RPB.V24I1.12724>

Quiñones. (2019, July 31). *Los microplásticos en el pescado y los mariscos, ¿deberíamos preocuparnos?* | *Noticias ONU*. ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/07/1460041>

RA Sarria-Villa. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Jci.Uniautonoma.Edu.Co*, 8(1), 21–27. <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>

- Ricardo Acuña Molina. (2017). *LOS MICROORGANISMOS BIODERIVADOS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD Y SUS EFECTOS EN EL MATERIAL*.
- Rohr, J. R., Civitello, D. J., Halliday, F. W., Hudson, P. J., Lafferty, K. D., Wood, C. L., & Mordecai, E. A. (2020). Towards common ground in the biodiversity–disease debate. *Nature Ecology & Evolution*. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1060-6>
- Ryan, J., Gerhold, A. R., Boudreau, V., Smith, L., & Maddox, P. S. (2017). Introduction to modern methods in light microscopy. *Methods in Molecular Biology*, 1563, 1–15. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6810-7\\_1/COVER](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6810-7_1/COVER)
- Salas, G. (2010). TRATAMIENTO POR OXIDACIÓN AVANZADA (REACCIÓN FENTON) DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 13(1), 30–38. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4551>
- Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. In *Journal de Ciencia e Ingeniería* (Vol. 8, Issue 1).
- Seymour, R. B., & Carraher Jr., C. E. (1995). *Introducción a la química de los polímeros* (3a. ed.). 744.
- Sridharan, S., Kumar, M., Singh, L., Bolan, N. S., & Saha, M. (2021). Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 418, 126245. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.126245>
- Sun, J., Dai, X., Wang, Q., van Loosdrecht, M. C. M., & Ni, B. J. (2019). Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, 152, 21–37. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2018.12.050>

- Sun, W., Jin, C., Bai, Y., Ma, R., Deng, Y., Gao, Y., Pan, G., Yang, Z., & Yan, L. (2022). Blood uptake and urine excretion of nano- and micro-plastics after a single exposure. *Science of The Total Environment*, 848, 157639. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.157639>
- Syberg, K., Nielsen, M. B., Westergaard Clausen, L. P., van Calster, G., van Wezel, A., Rochman, C., Koelmans, A. A., Cronin, R., Pahl, S., & Hansen, S. F. (2021). Regulation of plastic from a circular economy perspective. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 29, 100462. <https://doi.org/10.1016/J.COGSC.2021.100462>
- Tapia, E., & Sequeiros, I. (2023). *Evaluación de la descarga del afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales – San Jerónimo para identificar la presencia de microplásticos, Cusco 2023*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6030>
- Van Raamsdonk, L. W. D., Van Der Zande, M., Koelmans, A. A., Hoogenboom, R. L. A. P., Peters, R. J. B., Groot, M. J., Peijnenburg, A. A. C. M., & Weesepeel, Y. J. A. (2020). *Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain*. <https://doi.org/10.3390/foods9010072>
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Biological system analysis for domestic wastewater treatment in Colombia. *Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315–322.
- Velzeboer, I., Kwadijk, C. J. A. F., & Koelmans, A. A. (2014). *Strong Sorption of PCBs to Nanoplastics, Microplastics, Carbon Nanotubes, and Fullerenes*. <https://doi.org/10.1021/ES405721V>

- Villamar Lucas, J. E. (2022). *Análisis de la presencia de microplástico en diferentes organismos marinos del Ecuador 2018- 2021*.  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8865>
- Vollertsen, J., & Hansen, A. A. (2017). Microplastic in Danish wastewater: Sources, occurrences and fate. In *The Danish Environmental Protection Agency* (Issue 1906). The Danish Environmental Protection Agency.  
<https://vbn.aau.dk/en/publications/microplastic-in-danish-wastewater-sources-occurrences-and-fate>
- Wahl, A., Le Juge, C., Davranche, M., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S., & Gigault, J. (2021). Nanoplastic occurrence in a soil amended with plastic debris. *Chemosphere*, 262, 127784. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.127784>
- Waldschläger, K., Brückner, M. Z. M., Carney Almroth, B., Hackney, C. R., Adyel, T. M., Alimi, O. S., Belontz, S. L., Cowger, W., Doyle, D., Gray, A., Kane, I., Kooi, M., Kramer, M., Lechthaler, S., Michie, L., Nordam, T., Pohl, F., Russell, C., Thit, A., ... Wu, N. (2022). Learning from natural sediments to tackle microplastics challenges: A multidisciplinary perspective. *Earth-Science Reviews*, 228, 104021.  
<https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2022.104021>
- Welden, N. A., & Lusher, A. (2020). Microplastics: from origin to impacts. *Plastic Waste and Recycling*, 223–249. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817880-5.00009-8>
- William D . Callister, J. (2012). Ciencia e Ingeniería de los Materiales W I L L I k M D . C A L L I S T E R , J r. *The University of Utah.*, 7, 325–327.
- Wu, D., Feng, Y., Wang, R., Jiang, J., Guan, Q., Yang, X., Wei, H., Xia, Y., & Luo, Y. (2023). Pigment microparticles and microplastics found in human thrombi based on Raman

spectral evidence. *Journal of Advanced Research*, 49, 141–150.

<https://doi.org/10.1016/J.JARE.2022.09.004>

Wu, J., Jiang, R., Lin, W., & Ouyang, G. (2019). Effect of salinity and humic acid on the aggregation and toxicity of polystyrene nanoplastics with different functional groups and charges. *Environmental Pollution*, 245, 836–843.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2018.11.055>

Yang, H., He, Y., Yan, Y., Junaid, M., & Wang, J. (2021). Characteristics, toxic effects, and analytical methods of microplastics in the atmosphere. In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano11102747>

Zhang, Z., Liu, W., Gao, Q., Huang, F., Kang, Y., Pan, Y., Luo, G., Zhou, X., Fan, L., Wang, A., & Gao, S. H. (2023). Microplastics extraction from wastewater treatment plants: Two-step digestion pre-treatment and application. *Water Research*, 230, 119569.

<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2023.119569>

Ziajahromi, S., Neale, P. A., Rintoul, L., & Leusch, F. D. L. (2017). Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*, 112, 93–99.

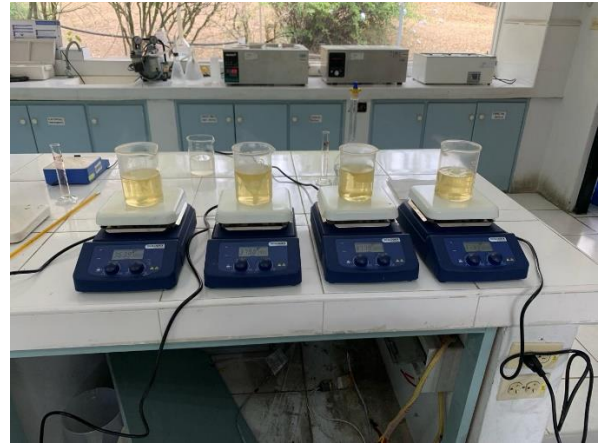
<https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.01.042>

## ANEXOS

### Anexo A. Procedimiento para evaluación de muestras



*Digestión con peróxido de hidrogeno al  
30%*



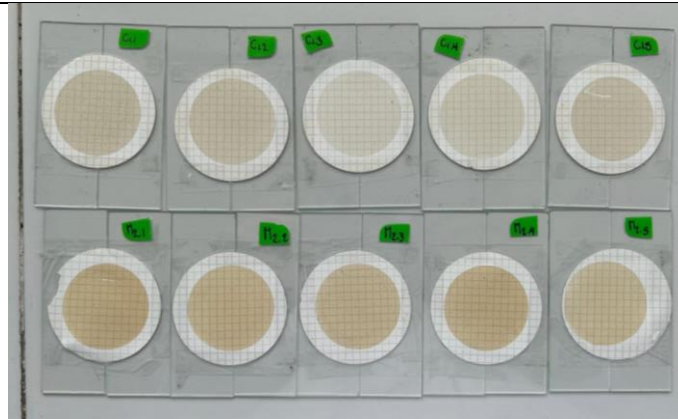
*Reacción de Fenton*



*Sedimentación materia orgánica*



*Microfiltración al vacío*



*Filtros para análisis*

Fuente: Autor,2024

**Anexo B.** Microplasticos observados en el microscopio invertido de fluorescencia

Fibras	Fragmentos
<p>A fluorescence micrograph showing a single, long, thin fiber that is brightly fluorescent (appearing cyan/green) against a dark blue background. The fiber has a slightly irregular, wavy shape.</p>	<p>A fluorescence micrograph showing a bright, glowing, irregularly shaped fragment. The fragment is highly fluorescent (appearing bright green/white) against a dark blue background. A scale bar is visible in the bottom right corner.</p>
<p>A fluorescence micrograph showing a single, long, thin fiber that is brightly fluorescent (appearing cyan/green) against a dark blue background. The fiber is relatively straight. A scale bar is visible in the bottom left corner.</p>	<p>A fluorescence micrograph showing a small, irregularly shaped fragment that is brightly fluorescent (appearing blue/purple) against a dark blue background. A scale bar is visible in the bottom right corner.</p>

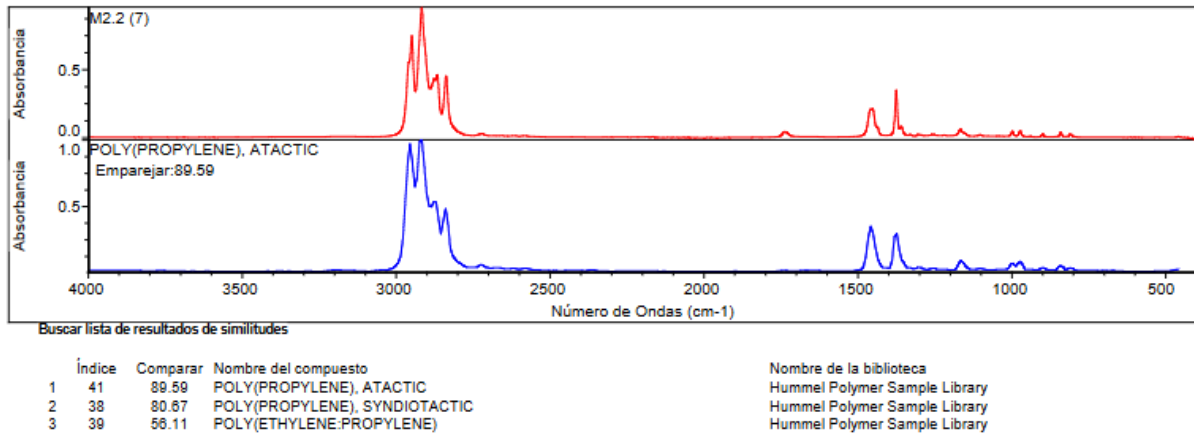
Fuente: Autor,2024



**Anexo C.** Espectros Infrarrojos de partículas de microplásticos en la planta de tratamiento de agua residual de Ucubamba

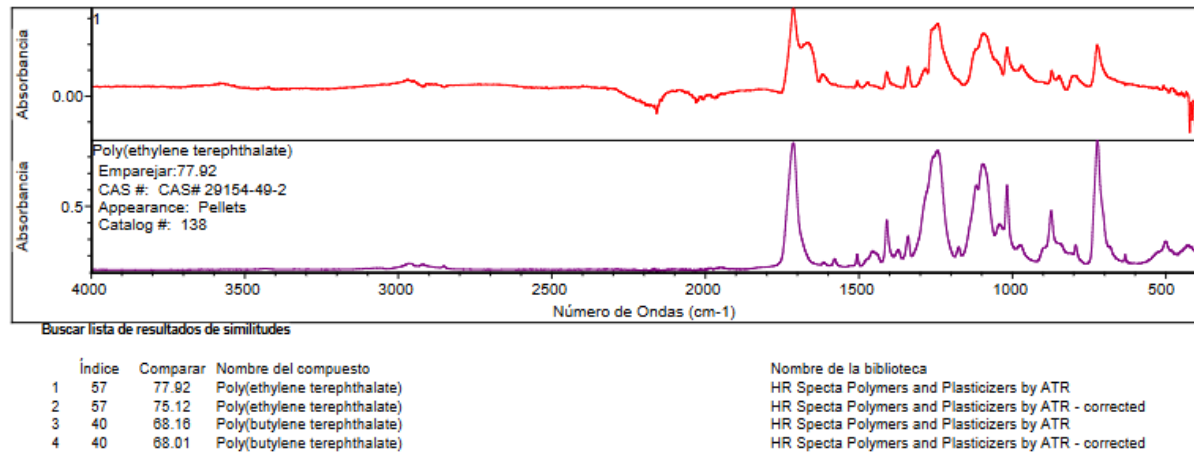
**Figura 11.**

*Espectro FTIR*



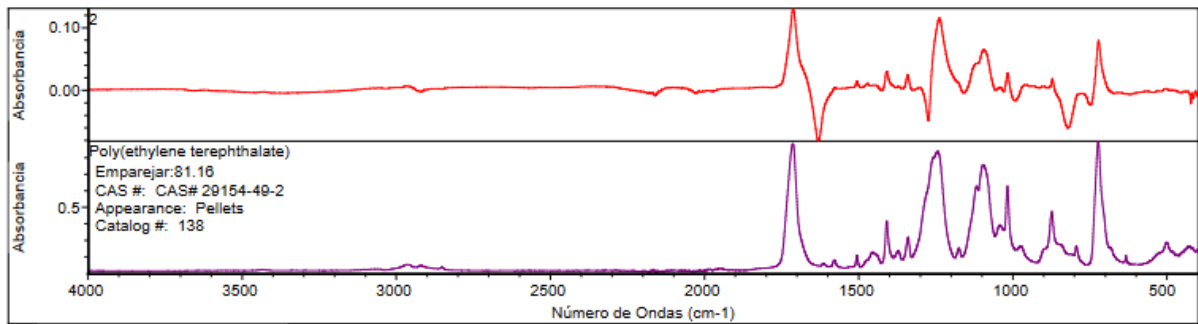
**Figura 12.**

*Espectro FTIR*



**Figura 13.**

*Espectro FTIR*

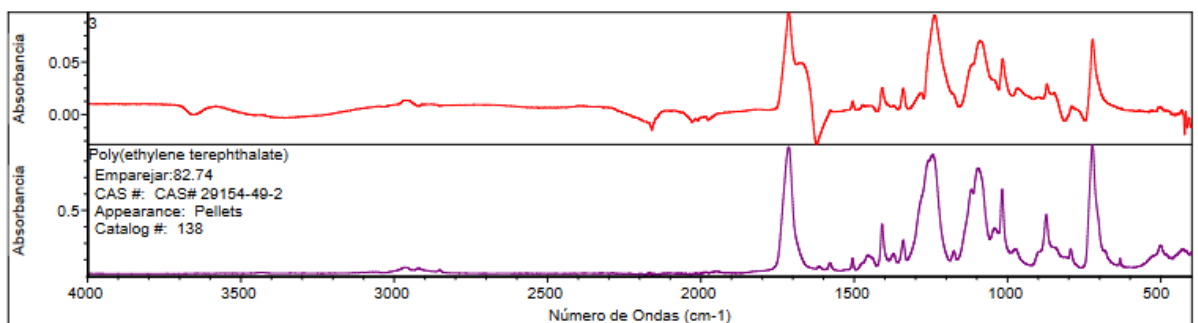


Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	81.16 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	57	71.20 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
3	40	70.09 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
4	40	65.22 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected

**Figura 14.**

*Espectro FTIR*

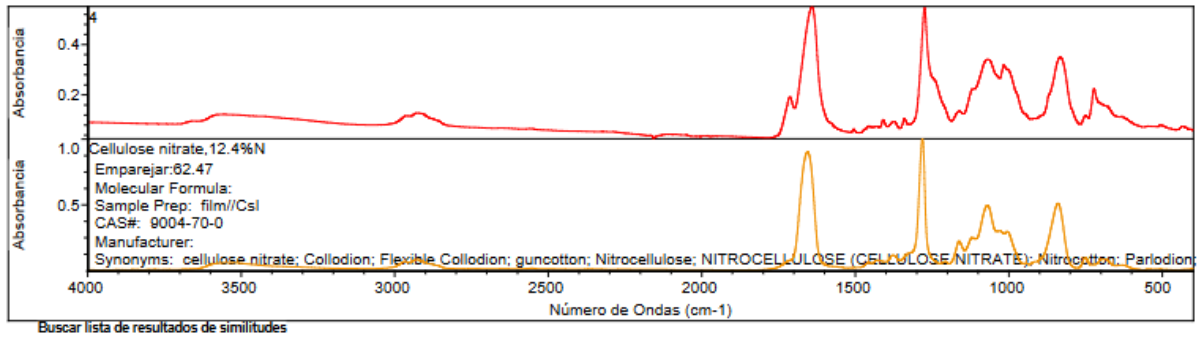


Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	57	82.74 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
2	57	72.35 Poly(ethylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected
3	40	70.22 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR
4	40	63.64 Poly(butylene terephthalate)	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR - corrected

**Figura 15.**

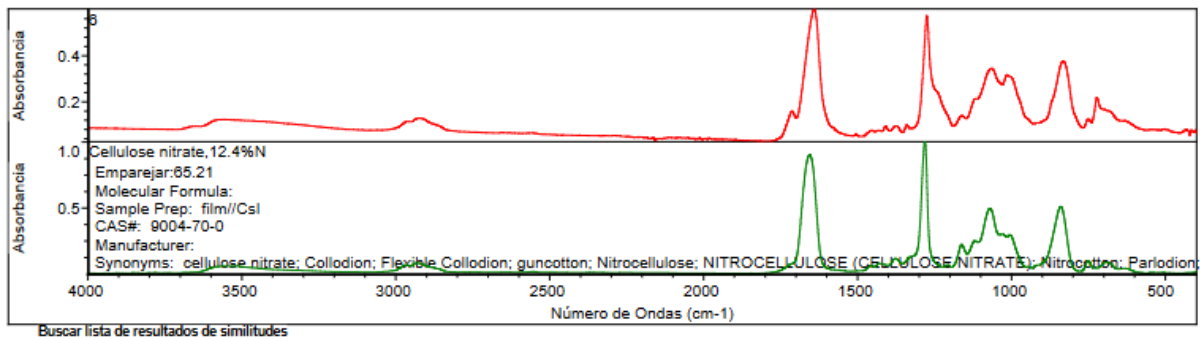
*Espectro FTIR*



Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	757	62.47 Cellulose nitrate, 12.4%N	HR Hummel Polymer and Additives
2	779	55.67 Explosive gelatine	HR Hummel Polymer and Additives
3	79	45.19 Polyvinylpyrrolidone	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR

**Figura 16.**

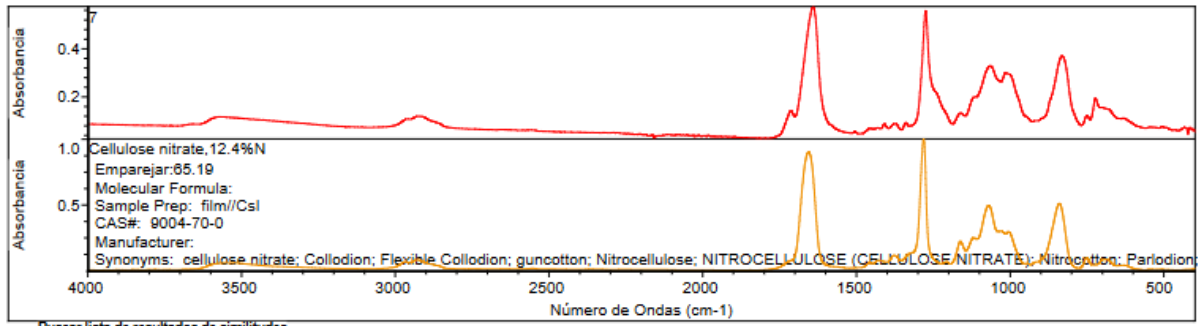
*Espectro FTIR*



Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	757	65.21 Cellulose nitrate, 12.4%N	HR Hummel Polymer and Additives
2	779	58.93 Explosive gelatine	HR Hummel Polymer and Additives
3	1846	47.42 Diethyleneglycol dinitrate	HR Hummel Polymer and Additives
4	79	46.49 Polyvinylpyrrolidone	HR Specta Polymers and Plasticizers by ATR

**Figura 17.**

*Espectro FTIR*



Buscar lista de resultados de similitudes

Índice	Comparar	Nombre del compuesto	Nombre de la biblioteca
1	757	65.19 Cellulose nitrate, 12.4%N	HR Hummel Polymer and Additives
2	779	58.69 Explosive gelatine	HR Hummel Polymer and Additives
3	1846	47.28 Diethyleneglycol dinitrate	HR Hummel Polymer and Additives
4	79	47.08 Polyvinylpyrrolidone	HR Spectra Polymers and Plasticizers by ATR