



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL**



**"CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
DISTRITO DE LAMPA - 2024"**

Bach. Cinthia Pamela Maihua Huanca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: M. Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
DISTRITO DE LAMPA - 2024”**

Bach. Cinthia Pamela Maihua Huanca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: M. Sc. Hugo Apaza Aquino

Juliaca, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Maihua, C. P. (2025). *Caracterización de microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.*

(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Cinthia Pamela Maihua Huanca

Título: Caracterización de microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.

Publicación: Juliaca, 2025

Descripción: Cantidad de páginas (118 páginas)

Nota: Tesis - Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000080-01/M17

Nota: Incluye bibliografía

Asesor: M. Sc. Hugo Apaza Aquino

PALABRAS CLAVE: microplásticos, efluente tratado, aguas residuales, composición polimérica, microespectroscopía Raman.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
FORESTAL

**“CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL
DISTRITO DE LAMPA - 2024”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentada por:

Bach. Cinthia Pamela Maihua Huanca

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Alejandro Félix Taquire Arroyo

PRESIDENTE DE JURADO

M. Sc. Godofredo Huanca Chambi

JURADO (Secretario)

M. Sc. Jael Calla Calla

JURADO (Vocal)



2° MIEMBRO



3° MIEMBRO



M. Sc. Hugo Apaza Aquino
ASESOR DE TESIS

Cinthia Pamela Maihua Huanca

“CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL D...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:639032564

Fecha de entrega

14 oct 2026, 4:00 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

14 oct 2026, 4:04 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

2da CORRECCIÓN FINAL.pdf

Tamaño del archivo

9.2 MB

121 páginas

17.749 palabras

108.148 caracteres



Firmado digitalmente por AQUINO
LARICO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.10.2026 16:11:53 -05:00

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Firmado digitalmente por AQUINO
LARIKO Elmer Rodrigo FAU
20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.10.2026 16:12:27 -05:00

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado, en primer lugar, a Dios, fuente de fortaleza, paciencia y salud, por acompañarme en cada etapa de mi vida y brindarme la sabiduría necesaria para alcanzar los objetivos que me propongo.

A mi querido padre, Edgar Maihua Medrano, y a mi querida madre, Violeta Benilda Huanca Arteaga, quienes, con su ejemplo de esfuerzo, superación y entrega, me han enseñado el verdadero valor del sacrificio y la perseverancia.

A mis hermanas, Katia y Mariela, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y su compañía constante en los momentos más importantes de mi vida académica y personal. Cada uno de sus gestos de cariño y motivación me ha impulsado a continuar con firmeza este camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi guía en cada etapa de mi vida, por brindarme fortaleza y sabiduría, y por iluminar mi camino durante mi formación profesional.

A mis padres y hermanas, por su apoyo incondicional, que me permitió avanzar con firmeza hacia el cumplimiento de mis metas. Su cariño, sus consejos y su constante motivación fueron fundamentales para culminar satisfactoriamente esta investigación.

A mi asesor, M. Sc. Hugo Apaza Aquino, por compartir sus conocimientos, orientación y valiosos consejos, los cuales contribuyeron significativamente al desarrollo de esta investigación.

Al personal de los laboratorios de las sedes Capilla y Ayabacas de la Universidad Nacional de Juliaca, por su constante apoyo y disposición durante el desarrollo del trabajo experimental.

A los docentes de la Universidad Nacional de Juliaca, por sus conocimientos, orientación y enseñanzas, fundamentales para mi formación profesional.

Finalmente, a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron con su apoyo y colaboración a la culminación de esta investigación, expreso mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ACRÓNIMOS.....	ix
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.....	12

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	14
1.2.1. Problema general	14
1.2.2. Problemas específicos.....	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general.....	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Justificación	15
1.4.1. Justificación ambiental	15
1.4.2. Justificación social.....	15
1.4.3. Justificación económica.....	15

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1.	Antecedentes de la investigación	17
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	17
2.1.2.	Antecedentes nacionales	20
2.1.3.	Antecedentes locales.....	21
2.2.	Marco teórico	22
2.2.1.	Microplásticos.....	22
2.2.2.	Origen y fuentes de microplásticos.....	22
2.2.3.	Características físicas de los microplásticos	24
2.2.4.	Composición polimérica de los microplásticos	28
2.2.5.	Microplásticos en aguas residuales.....	30
2.2.6.	Microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales.....	31
2.2.7.	Microplásticos en el afluente de PTAR	31
2.2.8.	Microplásticos en el efluente de PTAR	32
2.2.9.	Efluentes de PTAR como vía de ingreso de microplásticos a cuerpos receptores	32
2.2.10.	Espectroscopía Raman para la identificación de microplásticos	33

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	Ámbito de estudio	36
3.2.	Tipo y diseño de investigación.....	37
3.3.	Población y muestra	38
3.3.1.	Población	38
3.3.2.	Muestra	38
3.4.	Materiales y equipos	38
3.4.1.	Materiales	38
3.4.2.	Reactivos.....	39
3.4.3.	Equipos	39

3.5. Procedimiento metodológico	39
3.5.1.Recolección y preparación de muestras.....	39
3.5.2.Identificación de las características físicas de los microplásticos	44
3.5.3.Identificación de la composición polimérica de los microplásticos	45
3.5.4.Cuantificación de la concentración de microplásticos.....	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características físicas de los microplásticos	49
4.1.1.Formas de los microplásticos.....	49
4.1.2.Color de los microplásticos	52
4.1.3.Tamaño de los microplásticos	55
4.2. Composición polimérica de los microplásticos	58
4.3. Concentración de microplásticos	63

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones.....	68

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
---	-----------

ANEXOS	78
---------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Puntos de muestreo para la recolección de la muestra</i>	36
Tabla 2 <i>Microplásticos según su forma</i>	49
Tabla 3 <i>Microplásticos según su color</i>	52
Tabla 4 <i>Microplásticos según su tamaño</i>	55
Tabla 5 <i>Concentración promedio de microplásticos</i>	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Principales vías de transporte de microplásticos desde áreas urbanas</i>	24
Figura 2 <i>Principales formas de microplásticos</i>	25
Figura 3 <i>Diversidad de colores de los microplásticos</i>	27
Figura 4 <i>Vista satelital de la PTAR Lampa</i>	35
Figura 5 <i>Mapa de ubicación del área de estudio y puntos de muestreo</i>	37
Figura 6 <i>Diagrama de flujo de recolección de muestras</i>	41
Figura 7 <i>Diagrama de flujo de la preparación de muestras</i>	43
Figura 8 <i>Diagrama de flujo para la identificación de las características físicas</i>	45
Figura 9 <i>Diagrama de flujo de la identificación de la composición polimérica</i>	46
Figura 10 <i>Diagrama de flujo para la cuantificación de la concentración de microplásticos</i>	48
Figura 11 <i>Distribución porcentual según su forma</i>	50
Figura 12 <i>Distribución porcentual según su color</i>	53
Figura 13 <i>Distribución porcentual según el tamaño</i>	56
Figura 14 <i>Comparación espectral μRaman con referencias de polietileno</i>	59
Figura 15 <i>Comparación espectral μRaman con referencia de polimetilpenteno</i>	60
Figura 16 <i>Comparación espectral μRaman con referencia de nylon</i>	61
Figura 17 <i>Comparación espectral μRaman con referencia de naturaleza estirénica</i>	62
Figura 18 <i>Concentración promedio de microplásticos según punto de muestreo</i>	64

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO I. Solicitud de ingreso a la PTAR Lampa para la toma de muestras	78
ANEXO II. Informe del análisis químico mediante espectroscopia Raman	79
ANEXO III. Panel fotográfico	89
ANEXO IV. Registro de características de lo microplásticos	98

ACRÓNIMOS

ATR-FTIR:	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada
CAS:	Lodos activados convencionales
FTIR:	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
HDPE:	Polietileno de alta densidad
LDIR:	Espectroscopía infrarroja directa por láser
LDPE:	Polietileno de baja densidad
MBR:	Biorreactor de membrana
MPs:	Microplásticos
MPs/L:	Microplásticos por litro
NOAA:	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos
PA:	Poliamida
PAA:	Ácido poliacrílico
PBMA:	Polimetacrilato de butilo
PE:	Polietileno
PES:	Poliéster
PET:	Tereftalato de polietileno
PMP:	Polimetilpenteno
PP:	Polipropileno
PS:	Poliestireno
PTAR:	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
PU:	Poliuretano
PVC:	Policloruro de vinilo
PVB:	Polivinil butiral
μFTIR:	Microespectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
μRaman:	Microespectroscopía Raman

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. El estudio fue descriptivo y de diseño no experimental. Se establecieron tres puntos de muestreo: PM-1, correspondiente al efluente tratado; PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga; y PM-3, a 300 m; estos dos últimos en el río Lampa. Para el muestreo se consideraron como referencia el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las PTAR Domésticas o Municipales (R.M. N.º 273-2013-VIVIENDA) y el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (R.J. N.º 010-2016-ANA). Se realizaron siete días de muestreo en cada punto, obteniéndose un total de 21 muestras y procesándose 20 L de agua por punto y día de muestreo. Las muestras fueron sometidas a filtración, digestión con H_2O_2 al 30% y separación por densidad con NaCl; las características físicas se identificaron mediante estereoscopía y la composición polimérica mediante microespectroscopía Raman (μ Raman). Los resultados mostraron predominio de fibras (53.05–63.31%), color blanco (29.98–41.33%) y partículas menores de 0.5 mm (74.76–80.22%). El análisis μ Raman mostró bandas asociadas al polietileno y polimetilpenteno, mientras que la comparación espectral indicó al polietileno, poliestireno y nylon como potenciales candidatos poliméricos. Las concentraciones promedio fueron de 14.88 MPs/L en PM-1, 11.97 MPs/L en PM-2 y 5.74 MPs/L en PM-3. Se concluyó que los microplásticos estuvieron presentes en el efluente tratado y en los puntos evaluados del río Lampa, con predominio de fibras, color blanco y tamaños menores de 0.5 mm. Asimismo, la caracterización polimérica estuvo asociada al polietileno y polimetilpenteno mediante μ Raman, mientras que el polietileno, poliestireno y nylon constituyeron potenciales candidatos poliméricos según la comparación espectral.

Palabras clave: microplásticos, efluente tratado, aguas residuales, composición polimérica, microespectroscopía Raman.

ABSTRACT

The present study aimed to characterize microplastics in the effluent from the wastewater treatment plant in the district of Lampa. The study was descriptive and followed a non-experimental design. Three sampling points were established: PM-1, corresponding to the treated effluent; PM-2, located 150 m from the discharge point; and PM-3, located 300 m from the discharge point; the latter two were located in the Lampa River. For sampling, the Monitoring Protocol for the Quality of Effluents from Domestic or Municipal Wastewater Treatment Plants (R.M. N°. 273-2013-VIVIENDA) and the National Protocol for Monitoring the Quality of Surface Water Resources (R.J. N°. 010-2016-ANA) were used as references. Sampling was conducted over seven days at each sampling point, resulting in a total of 21 samples, with 20 L of water processed per sampling point per sampling day.. The samples underwent filtration, digestion with 30% H₂O₂, and density separation using NaCl. Physical characteristics were identified by stereomicroscopy, while polymer composition was analyzed using Raman microspectroscopy (μ Raman). The results showed a predominance of fibers (53.05–63.31%), white color (29.98–41.33%), and particles smaller than 0.5 mm (74.76–80.22%). μ Raman analysis showed bands associated with polyethylene and polymethylpentene, while spectral comparison indicated polyethylene, polystyrene, and nylon as potential polymer candidates. Mean concentrations were 14.88 MPs/L at PM-1, 11.97 MPs/L at PM-2, and 5.74 MPs/L at PM-3. It was concluded that microplastics were present in the treated effluent and at the evaluated points of the Lampa River, with a predominance of fibers, white color, and sizes smaller than 0.5 mm. Furthermore, polymer characterization was associated with polyethylene and polymethylpentene through μ Raman analysis, while polyethylene, polystyrene, and nylon were identified as potential polymer candidates based on spectral comparison.

Keywords: microplastics, treated effluent, wastewater, polymer composition, Raman microspectroscopy.

INTRODUCCIÓN

Los microplásticos son partículas plásticas de tamaño inferior a 5 mm que pueden originarse directamente en dimensiones reducidas o mediante la fragmentación de materiales plásticos de mayor tamaño (Kurniawan et al., 2021; Mesquita et al., 2023). Entre las vías que favorecen su incorporación a los sistemas acuáticos se encuentran las aguas residuales, debido al ingreso de partículas procedentes de actividades domésticas, comerciales e industriales, incluidas las fibras liberadas durante el lavado de prendas sintéticas (Le et al., 2022; Sheriff et al., 2023). Una fracción de estas partículas puede permanecer en los efluentes tratados y posteriormente alcanzar los cuerpos receptores (Hu et al., 2024; Sun et al., 2019).

En el Perú, la presencia de microplásticos ha sido reportada tanto en aguas residuales como en ambientes acuáticos. Fuentes (2022) evaluó estas partículas en la PTAR Media Luna, en Ilo; Tapia y Sequeiros (2023) estudiaron el efluente de la PTAR San Jerónimo y el río Huatanay, en Cusco; y Jave y Ordinola (2024) analizaron microplásticos en las PTAR Cortijo y Covicorti, en Trujillo. En la región Puno, Chambi y Yanes (2023) registraron microplásticos en playas del lago Titicaca, mientras que Espetia (2024) determinó su presencia en aguas superficiales de los Uros. Estos estudios evidencian su presencia en distintas matrices ambientales; sin embargo, la información disponible sobre microplásticos en el efluente tratado de la PTAR de Lampa y en el tramo próximo a su descarga en el río Lampa es limitada.

La presente investigación tuvo como objetivo caracterizar los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa. Para ello, se identificaron sus características físicas según forma, color y tamaño, se identificó su composición polimérica y se cuantificó su concentración. El estudio fue descriptivo y de diseño no experimental, considerando tres puntos de muestreo: PM-1, correspondiente al efluente tratado de la PTAR; PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga; y PM-3, ubicado a 300 m, estos dos últimos en el río Lampa. Se realizaron siete días de muestreo en cada punto, procesándose 20 L de agua por punto y día de muestreo. Las características físicas fueron evaluadas mediante estereomicroscopía y la composición polimérica mediante microespectroscopía Raman.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

Los microplásticos se encuentran en diferentes componentes del ambiente y su presencia en los sistemas acuáticos se relaciona con diversas actividades antropogénicas y con la generación y disposición inadecuada de materiales plásticos (Kittipongvises et al., 2022; Wright & Kelly, 2017). Entre sus vías de ingreso se encuentran las aguas residuales, que reciben partículas procedentes de actividades domésticas, comerciales e industriales y posteriormente las transportan hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales (Sheriff et al., 2023).

Diversas investigaciones han reportado la presencia de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales y en sus efluentes tratados, debido a que una fracción de estas partículas puede permanecer en el agua y posteriormente ser descargada hacia los cuerpos receptores (Murphy et al., 2016; Ziajahromi et al., 2017). En el Perú, estudios realizados en plantas de tratamiento de aguas residuales también han identificado microplásticos en los efluentes, evidenciando la presencia de estas partículas en este tipo de sistemas (Fuentes, 2022; Jave & Ordinola, 2024; Tapia & Sequeiros, 2023).

En el distrito de Lampa, las aguas residuales domésticas son conducidas a una planta de tratamiento antes de su descarga al río Lampa. De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, esta infraestructura fue implementada para contribuir al tratamiento de las aguas residuales y reducir la contaminación asociada a su descarga. Sin embargo, se dispone de información limitada sobre los microplásticos presentes en el efluente tratado de esta planta y en los puntos próximos a su descarga en el río Lampa.

La limitada información disponible constituye un vacío de conocimiento a nivel local respecto a las características físicas, composición polimérica y concentración de los microplásticos presentes en el sistema evaluado. Ante esta situación, la investigación se orientó a obtener información específica sobre los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles son las características y concentraciones de los microplásticos presentes en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características físicas de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa - 2024?
- ¿Cuál es la composición polimérica de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa - 2024?
- ¿Cuál es la concentración de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las características y concentraciones de los microplásticos presentes en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las características físicas de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.
- Identificar la composición polimérica de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.
- Cuantificar la concentración de los microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación ambiental

Los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden constituir una vía de ingreso de microplásticos hacia los cuerpos receptores, debido a que una fracción de estas partículas puede permanecer en las aguas residuales tratadas (Carnevale Miino et al., 2024). Su descarga puede contribuir a la presencia y distribución de microplásticos en los ecosistemas acuáticos receptores (Deng et al., 2025).

En el distrito de Lampa, la ausencia de información específica sobre los microplásticos presentes en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales evidencia la necesidad de generar conocimiento sobre estas partículas en el ámbito local. La investigación se justifica ambientalmente porque aporta información sobre sus características físicas, composición polimérica y concentración, que puede servir como referencia para futuras investigaciones y acciones de gestión ambiental relacionadas con la protección del cuerpo receptor.

1.4.2. Justificación social

La presencia de microplásticos en los ambientes acuáticos adquiere relevancia social debido a que estas partículas pueden constituir una vía de exposición para las personas mediante el consumo de agua y alimentos contaminados (Hwang et al., 2019; Wright & Kelly, 2017). La disponibilidad de información sobre estas partículas contribuye a ampliar el conocimiento de una problemática ambiental que puede involucrar a las poblaciones vinculadas con los recursos hídricos.

En el distrito de Lampa, la investigación aporta información que puede ser utilizada como referencia por la población, las autoridades locales y futuras investigaciones. Asimismo, los resultados pueden contribuir al desarrollo de actividades de sensibilización y educación ambiental relacionadas con la contaminación por plásticos y el cuidado de los recursos hídricos.

1.4.3. Justificación económica

La investigación se justifica económicamente porque genera información específica sobre los microplásticos presentes en el efluente de la PTAR de Lampa, la cual puede servir como referencia para futuras evaluaciones relacionadas con esta

problemática. Contar con información obtenida directamente en el área de estudio permite disponer de una base técnica previa para posteriores análisis que requieran considerar las condiciones particulares del sistema evaluado.

Asimismo, la información generada puede contribuir a orientar futuras evaluaciones de alternativas de control o tratamiento, cuya implementación puede involucrar costos de inversión, operación, mantenimiento y consumo energético según la tecnología empleada (Ahmed et al., 2024). De esta manera, los resultados de la investigación constituyen un antecedente que puede ser considerado antes de destinar recursos a estudios o intervenciones específicas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Miserli y Konstantinou (2025) analizaron las características y la concentración de microplásticos presentes en el efluente y los lodos de una planta municipal de tratamiento de aguas residuales ubicada en Ioannina, Grecia. En las muestras de efluente se aplicó oxidación húmeda con peróxido de hidrógeno al 30% y solución de hierro (II), mientras que los lodos fueron sometidos a digestión enzimática complementada con oxidación. La identificación y cuantificación se efectuó mediante microespectroscopía Raman. En el efluente secundario se registró una concentración promedio de 5.8 ± 0.6 MPs/L y los fragmentos representaron la forma predominante, con 66.7%, seguidos por fibras, esferas y películas. Respecto a la composición polimérica, la poliamida (PA), el ácido poliacrílico (PAA) y el copolímero de poliacrilamida y ácido poliacrílico (PAM-co-PAA) alcanzaron una frecuencia de detección del 100%; adicionalmente, se reconocieron PVC, PBMA, PE, PS, PP, PVA y PVB. El estudio evidenció la utilidad de la técnica micro-Raman para caracterizar las partículas que permanecen tanto en el agua tratada como en los lodos.

Deng et al. (2025) evaluaron cómo las aguas residuales tratadas influyeron en la distribución de microplásticos en el agua superficial y los sedimentos de cuencas receptoras de una planta petroquímica y otra municipal. Las partículas fueron identificadas mediante espectroscopía infrarroja directa por láser (LDIR). En la planta petroquímica, el efluente presentó una concentración de 1280 MPs/L, mientras que aguas abajo se registraron 795 MPs/L en agua y 2142 MPs/kg en sedimentos, valores superiores a las observadas aguas arriba, de 639 MPs/L y 926 MPs/kg, respectivamente. En la planta municipal, la zona próxima al punto de descarga registró 723 MPs/L, mientras que aguas abajo se encontraron 517 MPs/L y 1 057 MPs/kg, frente a 417 MPs/L y 700 MPs/kg aguas arriba. Asimismo, el efluente municipal incrementó la proporción relativa de partículas estrechas o fibras en el cuerpo receptor. Los autores concluyeron que las descargas de aguas

residuales tratadas influyen en la distribución de microplásticos en las cuencas receptoras.

Al-Amri et al. (2024) evaluaron la carga y la remoción de microplásticos en tres PTAR de Omán con lodos activados convencionales (CAS), reactores discontinuos secuenciales (SBR) y biorreactores de membrana (MBR). Se recolectaron muestras de afluente, efluente y lodos, las cuales fueron sometidas a filtración, oxidación mediante reactivo de Fenton y separación por densidad con cloruro de sodio; la composición polimérica fue confirmada mediante ATR-FTIR. Las concentraciones promedio en los efluentes finales fueron de 0.99, 1.38 y 0.93 MPs/L, con eficiencias globales de remoción de 82.5%, 77.4% y 79.2%, respectivamente. En los efluentes predominaron las partículas de menor tamaño y las fibras, mientras que entre los principales polímeros se identificaron PP, LDPE, PU, PET y PVC. Los autores concluyeron que, pese a la remoción alcanzada por los diferentes sistemas de tratamiento, los efluentes tratados y los lodos continúan constituyendo vías de liberación de microplásticos al ambiente.

Arslan et al. (2024) determinaron la presencia y las características de microplásticos en el efluente de una PTAR doméstica con tratamiento biológico avanzado y analizaron su variación estacional durante un año. Las muestras fueron sometidas a procedimientos de pretratamiento para facilitar la identificación visual de las partículas y posteriormente se empleó FTIR para determinar su composición polimérica. Los resultados mostraron un predominio de fibras, con concentraciones que oscilaron entre 32.0 y 95.5 partículas/L. También se identificaron películas, pellets, partículas amorfas, espumas y partículas de forma no definida. Mediante FTIR se determinaron cinco estructuras poliméricas principales: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster (PES), poliuretano (PUR) y tereftalato de polietileno (PET). Los autores evidenciaron que los microplásticos permanecen en el efluente tratado y que sus características presentan variaciones a lo largo del periodo de monitoreo

Lee et al. (2023) analizaron microplásticos en cuatro PTAR municipales de Corea del Sur que empleaban tecnologías A2O, SBR, medios filtrantes y MBR. La identificación se realizó mediante FT-IR y la cuantificación de determinados polímeros mediante TED-GC-MS. Las concentraciones oscilaron entre 520 y 1 820

MPs/L en los afluentes y entre 0.56 y 2.34 MPs/L en los efluentes, alcanzándose eficiencias de remoción superiores al 99%. Los fragmentos constituyeron la forma predominante, representando 72.1% en el afluente y 69.9% en el efluente, mientras que más del 80% de las partículas presentaron tamaños entre 20 y 300 μm . Para el análisis mediante TED-GC-MS se consideraron PE, PP, PS y PET; además, mediante FT-IR se observó una presencia predominante de PTFE. Los autores concluyeron que, pese a las elevadas eficiencias de remoción, permanecen microplásticos de pequeño tamaño en los efluentes finales de las plantas evaluadas.

Yang et al. (2022) evaluaron la abundancia y las características de los microplásticos presentes en aguas residuales de origen industrial, urbano y rural de la provincia de Shaanxi, China, considerando muestras de afluentes y efluentes de plantas de tratamiento. El análisis comprendió la abundancia, color, tamaño y composición de las partículas. Se observaron diferencias relacionadas con la procedencia de las aguas residuales; en particular, las de origen rural presentaron una proporción superior de partículas menores de 0.5 mm y formas esféricas respecto de las aguas industriales y urbanas. Asimismo, se examinó la relación entre las características encontradas, las actividades humanas y las condiciones operativas de las plantas. Los hallazgos señalaron que la procedencia de las aguas residuales y las actividades desarrolladas en cada ámbito se relacionan con las características y abundancia de los microplásticos presentes en los sistemas de tratamiento.

Edo et al. (2020) tuvieron como propósito evaluar la presencia y el destino de los microplásticos en diferentes etapas de una planta de tratamiento de aguas residuales, considerando los efluentes y lodos generados durante el tratamiento. Las partículas fueron caracterizadas según su forma y tamaño, mientras que su composición polimérica fue determinada mediante espectroscopía FTIR. Los resultados mostraron una concentración de 10.7 ± 5.2 MPs/L en el efluente final y una eficiencia de remoción de microplásticos del 93.7%. Las partículas de menor tamaño, comprendidas entre 25 y 104 μm , fueron las más abundantes, y se identificaron principalmente polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP), poliéster y acrílico. Los autores concluyeron que, pese a la elevada eficiencia de remoción de la PTAR, los microplásticos permanecen en el efluente tratado y

pueden constituir una vía de ingreso de estas partículas hacia los ecosistemas receptores.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jave y Ordinola (2024) evaluaron la presencia de microplásticos antes y después del tratamiento de las aguas residuales en las PTAR Cortijo y Covicorti, ubicadas en Trujillo. Bajo un enfoque cuantitativo, procesaron las muestras mediante filtración y utilizaron espectroscopía FTIR para su caracterización. Se reconocieron fragmentos, fibras y películas, con dimensiones comprendidas entre 1 y 5 mm y diferentes coloraciones. El análisis polimérico permitió identificar polietileno de baja densidad (LDPE), poliestireno (PS), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y policarbonato (PC). La investigación confirmó que las partículas estuvieron presentes tanto en las muestras tomadas antes del tratamiento como en aquellas obtenidas posteriormente.

Tapia y Sequeiros (2023) analizaron la descarga del efluente de la PTAR San Jerónimo, en Cusco, con la finalidad de reconocer la presencia y las características de los microplásticos. El trabajo correspondió a un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo y diseño no experimental, e incluyó tres puntos de muestreo con siete réplicas. Los fragmentos representaron la forma más frecuente, con 37%, mientras que las partículas translúcidas alcanzaron el 54.36%. Respecto a la composición, se reconocieron principalmente polietileno (PE), polipropileno (PP), poliamida/nylon (PA), polietileno de baja densidad (LDPE) y cloruro de polivinilo (PVC). De esta manera, se comprobó la presencia de partículas con distintas características morfológicas y composiciones poliméricas en el efluente evaluado.

Fuentes (2022) investigó la presencia y las características de microplásticos en las aguas residuales de la PTAR Media Luna, localizada en Ilo. Para procesar las muestras empleó una metodología basada en NOAA, mientras que la composición de las partículas fue determinada mediante microespectroscopía FTIR (μ FTIR). La concentración promedio disminuyó de 67.5 ± 11.7 MPs/L en el afluente a 17.4 ± 1 MPs/L en el efluente. Morfológicamente predominaron los microfragmentos, con 52%, seguidos de las microfibras, con 41%. Los polímeros registrados con mayor frecuencia correspondieron a polietileno (PE), poliamida-nylon (PA) y polipropileno (PP). Los resultados permitieron verificar tanto la presencia de

microplásticos en el agua tratada como la reducción de su concentración a través del sistema.

2.1.3. Antecedentes locales

Mamani (2025) evaluó la contaminación por microplásticos en el agua de la bahía interior del lago Titicaca, Puno, considerando la concentración, distribución espacial y características. El estudio fue descriptivo y utilizó el protocolo NOAA (2015) para procesar las muestras. En tres puntos de la bahía se recolectaron 10 L de agua superficial, y las partículas recuperadas fueron examinadas mediante estereomicroscopía y microespectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (μ FTIR). Las concentraciones variaron entre 0.1 y 2.0 partículas/L. En el sector portuario destacaron fibras de poliéster (PES) y poliamida (PA), mientras que en la zona norte se reconocieron fragmentos de polietileno (PE) y polipropileno (PP). Los resultados mostraron diferencias espaciales en la presencia y características de los microplásticos dentro de la bahía evaluada.

Espetia (2024) estudió la presencia de microplásticos en las aguas de las islas flotantes de los Uros y su bioacumulación en trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en Puno. Las muestras de agua fueron obtenidas mediante un muestreo integrado por arrastre y las partículas se caracterizaron considerando forma, color y composición polimérica mediante espectroscopía Raman. Se registró una abundancia promedio de 5.76 ± 1.92 partículas/m³. Las fibras alcanzaron el 76.7% y los fragmentos el 14%, mientras que las coloraciones más frecuentes fueron celestes (34.9%) y azul (26.4%). El análisis de composición permitió reconocer polietileno, polibutadieno, poliestireno y nylon. Estos resultados documentaron la presencia de diferentes tipos de microplásticos en las aguas evaluadas de las islas flotantes de los Uros.

Chambi y Yanes (2023) examinaron la presencia de microplásticos en las playas de Chifrón, Chatuma y Juli del lago Titicaca, mediante el análisis de arena, sedimentos y aguas superficiales. El procedimiento de muestreo fue diferenciado de acuerdo con la matriz estudiada; para las muestras de agua superficial se filtraron 20 L utilizando una malla de 200 μ m, mientras que en la arena se aplicó tamizado. En total se registraron 158 microplásticos con dimensiones entre 1 y 5 mm. El negro fue el color más frecuente (25%), seguido del blanco (18%), amarillo (13%), azul

(12%) y transparente (9%); entre las formas observadas se encontraron fragmentos, fibras, hojuelas, esferas y películas. La caracterización polimérica mostró predominio de polietileno (39%), seguido de polipropileno (23%), poliestireno (15%), polietileno de alta densidad (15%) y tereftalato de polietileno (8%). Los resultados confirmaron la presencia de partículas con diversas características físicas y composiciones poliméricas en las matrices ambientales estudiadas del lago Titicaca.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Microplásticos

Los microplásticos son partículas de materiales plásticos con un tamaño inferior a 5 mm, presentes en diferentes compartimentos ambientales. Estas partículas presentan una amplia diversidad de propiedades físicas y químicas, determinadas principalmente por las características del material polimérico del que proceden y por las transformaciones que experimentan en el ambiente (Kurniawan et al., 2021; Mesquita et al., 2023).

Los microplásticos pueden diferenciarse por características como forma, tamaño, color y composición polimérica, las cuales constituyen criterios importantes para su identificación y caracterización. Asimismo, factores como el tamaño, la forma, la densidad y el tipo de polímero pueden influir en su transporte, distribución, sedimentación y permanencia en los diferentes medios ambientales (Hu et al., 2024; Sun et al., 2019).

Debido a su pequeño tamaño y a la diversidad de sus propiedades, los microplásticos pueden ser transportados y distribuidos en diferentes sistemas ambientales, incluidos los ecosistemas acuáticos y las aguas residuales. Su presencia en estos medios ha generado creciente interés científico debido a su persistencia y a las dificultades asociadas con su identificación, cuantificación y eliminación (Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

2.2.2. Origen y fuentes de microplásticos

Según su origen, los microplásticos se clasifican en primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son producidos directamente en tamaños reducidos para determinados usos y aplicaciones, mientras que los secundarios se generan a partir

de la fragmentación y degradación de materiales plásticos de mayor tamaño como consecuencia de diferentes procesos físicos, químicos y ambientales (Kurniawan et al., 2021; Mesquita et al., 2023).

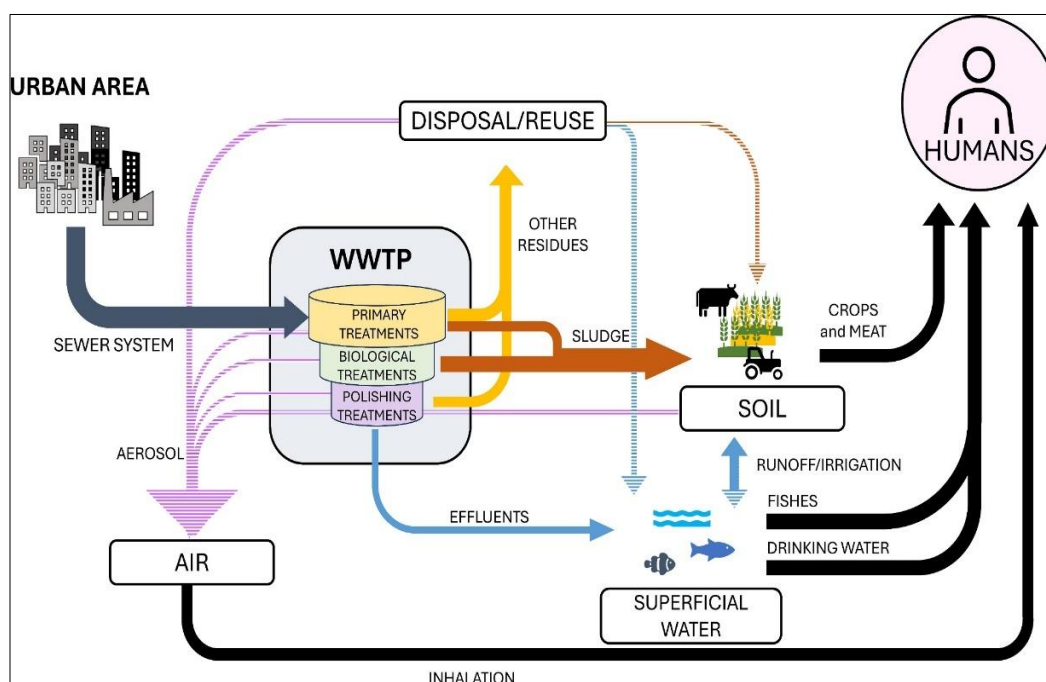
Las fuentes de microplásticos están relacionadas con diversas actividades domésticas, comerciales, industriales y urbanas. Entre las fuentes domésticas destaca el lavado de prendas textiles, debido al desprendimiento de microfibras que pueden ser transportadas mediante las aguas residuales hacia los sistemas de alcantarillado (Le et al., 2022). Asimismo, determinados productos de cuidado personal y el deterioro de productos plásticos de uso cotidiano pueden contribuir a la incorporación de estas partículas en las aguas residuales (Ayankunle et al., 2025; Sheriff et al., 2023).

Las actividades relacionadas con la fabricación y transformación de materiales plásticos y textiles, así como el desgaste de neumáticos y la fragmentación de residuos plásticos en las áreas urbanas, constituyen otras fuentes de microplásticos. Estas partículas pueden ser transportadas mediante las aguas residuales, la escorrentía y los sistemas de drenaje, favoreciendo su ingreso a los sistemas acuáticos y a las plantas de tratamiento de aguas residuales (Hu et al., 2024).

Una vez incorporados a las aguas residuales, los microplásticos pueden ingresar a las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde una fracción puede ser retenida y transferida hacia los lodos, mientras que otra puede permanecer en el agua tratada y ser liberada mediante los efluentes. Las principales vías de transporte de los microplásticos desde las áreas urbanas y su relación con las PTAR se presentan en la Figura 1 (Carnevale Miino et al., 2024).

Figura 1

Principales vías de transporte de microplásticos desde áreas urbanas



Fuente: Carnevale Miino et al. (2024).

2.2.3. Características físicas de los microplásticos

a. Forma

La forma constituye una de las principales características utilizadas para la identificación y clasificación física de los microplásticos. Estas partículas pueden presentarse principalmente como fibras, fragmentos, películas, espumas, gránulos o pellets, dependiendo de las características del material del que proceden y de los procesos de transformación o fragmentación que han experimentado (Hu et al., 2022; Miserli & Konstantinou, 2025; Sheriff et al., 2023).

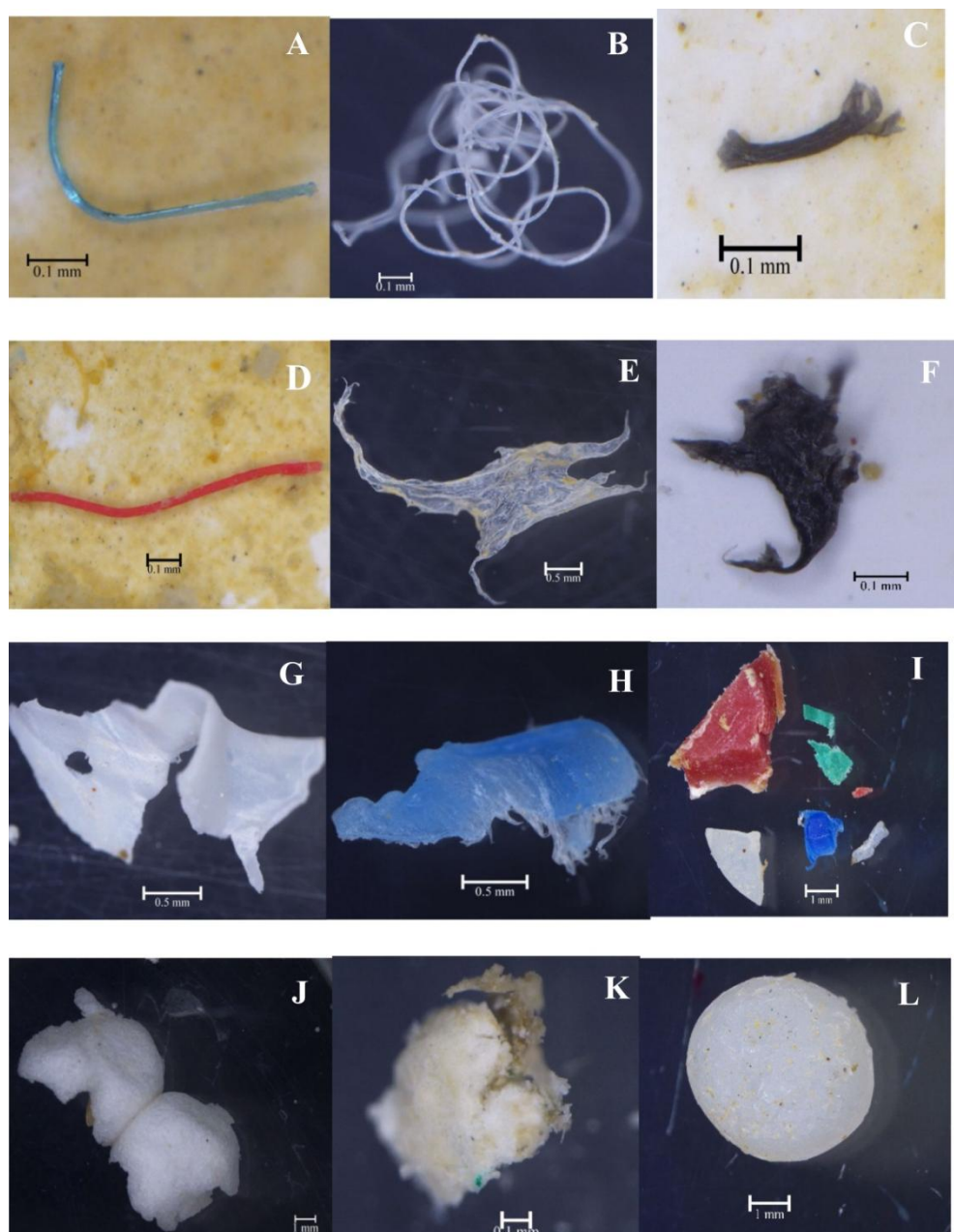
Las fibras presentan una estructura alargada y delgada; los fragmentos corresponden generalmente a partículas sólidas de forma irregular; mientras que las películas se caracterizan por ser partículas delgadas y flexibles (Sheriff et al., 2023). Otras formas incluyen espumas y partículas de geometría aproximadamente esférica o granular (Koyuncuoğlu & Erden, 2023).

La morfología de los microplásticos también puede influir en su transporte, sedimentación y retención, debido a que las diferencias entre fibras, fragmentos y

otras formas modifican su interacción con los sólidos suspendidos y con los procesos de tratamiento (Koyuncuoğlu & Erden, 2023). Las principales formas empleadas para su caracterización se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Principales formas de microplásticos



Nota. La figura presenta fibras, películas, fragmentos, espumas y pellets encontrados en muestras de agua. Fuente: Priyanka y Govindarajulu (2023).

b. Color

El color constituye una característica visual utilizada para la identificación y clasificación de los microplásticos, los cuales pueden presentar diversas tonalidades, como blanco, negro, marrón, amarillo, azul, rojo, rosado, verde, gris y transparente (Kittipongvises et al., 2022; Koyuncuoğlu & Erden, 2023; Maleka et al., 2024). En las aguas residuales se ha observado una amplia diversidad cromática de estas partículas, relacionada con la variedad de materiales plásticos que ingresan a los sistemas de tratamiento (Kittipongvises et al., 2022).

La coloración de los microplásticos puede estar relacionada con las características del producto plástico de origen y los pigmentos empleados en su fabricación. Asimismo, la apariencia de las partículas puede modificarse como consecuencia de procesos de envejecimiento y degradación ambiental, como la fotooxidación, que producen cambios en las propiedades superficiales de los materiales plásticos (Alimi et al., 2022; Du et al., 2022; Zhao et al., 2022).

El color constituye un criterio complementario a la forma y el tamaño durante la caracterización visual de los microplásticos; sin embargo, esta característica no permite determinar por sí sola la composición química del material, por lo que la identificación del tipo de polímero requiere el empleo de técnicas analíticas específicas (Maleka et al., 2024). La diversidad de colores que pueden presentar los microplásticos se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Diversidad de colores de los microplásticos



Fuente: Adaptado de Kittipongvises et al. (2022).

c. Tamaño

El tamaño constituye una de las principales características utilizadas para la identificación y caracterización de los microplásticos. De manera general, estas partículas presentan dimensiones inferiores a 5 mm; sin embargo, los intervalos empleados para su clasificación pueden variar entre investigaciones de acuerdo con los procedimientos de muestreo, separación e identificación utilizados (Maleka et al., 2024; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

Los microplásticos pueden presentar una amplia variedad de tamaños como consecuencia de su origen y de los procesos de fragmentación y degradación de materiales plásticos de mayores dimensiones. Esta característica influye en el comportamiento de las partículas en el medio acuático y puede condicionar procesos como su transporte, sedimentación y retención durante el tratamiento de aguas residuales (Hu et al., 2024; Sun et al., 2019).

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, el tamaño de los microplásticos constituye un factor que puede influir en su distribución y remoción durante las diferentes etapas del tratamiento, conjuntamente con otras propiedades como la

forma, densidad y composición polimérica (Hu et al., 2024; Kittipongvises et al., 2022; Sun et al., 2019).

2.2.4. Composición polimérica de los microplásticos

Los microplásticos pueden estar conformados por diversos polímeros sintéticos, cuyas propiedades físicas y químicas están vinculadas con su estructura molecular, fabricación y uso. En aguas residuales se han registrado materiales como polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), poliamida (PA), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), poliuretano (PU) y poliéster (PES), entre otros polímeros presentes en distintas proporciones (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

a. Polietileno (PE)

El polietileno es un termoplástico caracterizado por su versatilidad y baja densidad, propiedades que favorecen su utilización en bolsas, envases, botellas y numerosos productos de consumo. Según sus características estructurales, puede presentarse como polietileno de alta densidad (HDPE) o de baja densidad (LDPE). Debido a su amplio uso, el PE figura entre los materiales poliméricos detectados con frecuencia en aguas residuales domésticas e industriales (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024).

b. Polipropileno (PP)

El polipropileno es un termoplástico de baja densidad empleado en embalaje, textiles, tuberías y diversos artículos de consumo. Su amplio empleo doméstico e industrial favorece su incorporación a diferentes corrientes residuales. El PP, junto con el PE, se encuentra entre los polímeros de uso frecuente registrados en aguas residuales y distintas etapas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024).

c. Tereftalato de polietileno (PET)

El PET es un poliéster termoplástico empleado principalmente en fibras sintéticas y otros productos plásticos. Su utilización en materiales textiles favorece la generación de fibras durante el uso y lavado de prendas, las cuales pueden incorporarse posteriormente a las aguas residuales domésticas. El PET presenta una

densidad superior a la de polímeros como PE y PP, característica que interviene en su comportamiento dentro de medios acuosos (Z. Hu et al., 2024; Le et al., 2022).

d. Poliestireno (PS)

El poliestireno es un polímero empleado en materiales espumados, envases, recipientes y diferentes productos plásticos. La degradación y fragmentación de estos materiales puede generar partículas de PS que alcanzan los sistemas acuáticos y las aguas residuales. Sus características físicas pueden variar según la presentación del producto de origen, especialmente entre materiales compactos y espumados (Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

e. Policloruro de vinilo (PVC)

El policloruro de vinilo es un polímero empleado en tuberías, revestimientos, materiales de construcción y diferentes productos de aplicación doméstica e industrial. El deterioro y la fragmentación de estos materiales pueden generar partículas que posteriormente alcanzan las aguas residuales y otros sistemas acuáticos (Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023). El PVC presenta una densidad mayor que la de polímeros como PE y PP, característica que puede favorecer la sedimentación de sus partículas durante determinadas etapas del tratamiento (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024).

f. Poliamida (PA)

Las poliamidas constituyen una familia de polímeros utilizada en materiales textiles, prendas, alfombras y diferentes fibras sintéticas, dentro de la cual se encuentran diferentes tipos de nailon. El desgaste de estos materiales y el desprendimiento de fibras durante su utilización y lavado pueden contribuir al ingreso de partículas de PA a las aguas residuales (Z. Hu et al., 2024; Le et al., 2022; Sheriff et al., 2023).

Las actividades relacionadas con el lavado de textiles representan una vía de liberación de microfibras hacia las aguas residuales, cuya cantidad puede estar condicionada por el tipo y la antigüedad del tejido, las propiedades del detergente, la temperatura y la abrasión generada durante el proceso de lavado (Le et al., 2022).

g. Poliuretano (PU)

El poliuretano comprende una familia de materiales poliméricos utilizada en diferentes productos de aplicación doméstica, industrial y especializada. Su deterioro y fragmentación pueden generar partículas que posteriormente se incorporan a las aguas residuales. El PU forma parte de la diversidad de polímeros identificados en estudios de microplásticos realizados en sistemas de tratamiento de aguas residuales (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024; Kittipongvises et al., 2022).

h. Poliéster (PES)

El poliéster es un material polimérico ampliamente relacionado con la fabricación de fibras y productos textiles sintéticos. Las fibras pueden desprenderse durante la fabricación, utilización y lavado de los textiles y posteriormente ser transportadas mediante las aguas residuales. El poliéster constituye uno de los principales materiales empleados en la producción mundial de tejidos sintéticos (Le et al., 2022; Sheriff et al., 2023).

La liberación de microfibras durante el lavado está condicionada por las características del tejido y las condiciones del proceso, entre ellas el tipo y antigüedad de la tela, las características del detergente, la temperatura y la abrasión. Estas partículas pueden incorporarse a las aguas residuales domésticas y posteriormente ingresar a los sistemas de tratamiento (Hu et al., 2024; Le et al., 2022).

2.2.5. Microplásticos en aguas residuales

Las aguas residuales actúan como un medio de transporte para partículas de microplásticos generadas por distintas actividades humanas. Los aportes domésticos, comerciales e industriales pueden incorporar estas partículas a las redes de alcantarillado, dando lugar a una matriz heterogénea en términos de formas, dimensiones, colores y tipos de polímeros (Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

En el ámbito doméstico, una fuente importante corresponde al desprendimiento de fibras sintéticas durante el lavado de textiles. Estas fibras pasan al agua utilizada durante el proceso y pueden continuar hacia el sistema de saneamiento. Su cantidad y características dependen tanto del material textil como de las condiciones bajo las

cuales se realiza el lavado. A este aporte se suman partículas procedentes de productos de cuidado personal y del deterioro de diversos materiales plásticos de uso cotidiano (Z. Hu et al., 2024; Le et al., 2022; Sheriff et al., 2023).

Las actividades industriales también contribuyen mediante partículas producidas durante la fabricación, transformación o utilización de materiales plásticos y textiles. La coexistencia de múltiples fuentes explica la diversidad física y polimérica que puede observarse en las partículas transportadas por las aguas residuales (Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

2.2.6. Microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen sistemas que reciben aguas residuales de diferente procedencia y, conjuntamente con ellas, microplásticos transportados mediante las redes de saneamiento. Estas partículas pueden encontrarse en diferentes puntos de la línea de tratamiento y presentar variaciones en su concentración, forma, tamaño, color y composición polimérica (Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

La presencia de microplásticos dentro de las PTAR está relacionada con las características del agua residual que ingresa al sistema y con las propiedades de las propias partículas. Las fibras, fragmentos, películas, espumas y otras formas pueden presentar comportamientos diferentes según su tamaño, geometría, densidad y composición polimérica. Asimismo, las características del sistema de tratamiento y las condiciones hidráulicas intervienen en la distribución de las partículas dentro de la planta (Egea-Corbacho et al., 2023; Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

Durante su tránsito por una PTAR, los microplásticos pueden encontrarse en la fase líquida o asociados con los sólidos presentes en las aguas residuales. Su distribución puede modificarse como consecuencia de procesos físicos, de su interacción con partículas suspendidas y de cambios superficiales ocurridos dentro de la matriz residual (Z. Hu et al., 2024; Parashar & Hait, 2023; Sun et al., 2019).

2.2.7. Microplásticos en el afluente de PTAR

El afluente constituye la corriente de agua residual que ingresa al sistema de tratamiento y transporta los diferentes componentes incorporados durante su generación y conducción. Entre estos componentes pueden encontrarse microplásticos provenientes de actividades domésticas, comerciales e industriales,

además de otros aportes vinculados con las redes de alcantarillado (Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

2.2.8. Microplásticos en el efluente de PTAR

El efluente corresponde al agua residual que ha atravesado las diferentes unidades que conforman el sistema de tratamiento antes de su descarga. Una fracción de los microplásticos que ingresa a la PTAR puede permanecer en esta corriente y ser caracterizada de acuerdo con su forma, color, tamaño, composición polimérica y concentración (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023). Los microplásticos presentes en los efluentes pueden incluir fibras, fragmentos, películas y otras formas, con diferentes tamaños y tipos de polímeros. La permanencia de estas partículas en el agua tratada evidencia que una fracción de los microplásticos que ingresa a las PTAR puede continuar en la fase líquida después del tratamiento (Egea-Corbacho et al., 2023; Z. Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023).

La concentración expresa la cantidad de microplásticos presente en un volumen determinado de agua y puede reportarse como microplásticos por litro (MPs/L). Su determinación puede estar condicionada por el volumen de muestra, el intervalo de tamaño considerado, el procedimiento de preparación y la técnica de identificación empleada, aspectos que deben considerarse al comparar concentraciones entre investigaciones (Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

2.2.9. Efluentes de PTAR como vía de ingreso de microplásticos a cuerpos receptores

Los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales constituyen una vía mediante la cual los microplásticos que permanecen en el agua tratada pueden ingresar a los cuerpos receptores. Cuando el efluente es descargado hacia un río, lago u otro sistema acuático, las partículas son transportadas conjuntamente con el flujo de agua y pasan a formar parte de la matriz ambiental receptora (Egea-Corbacho et al., 2023; Hu et al., 2024; Sun et al., 2019).

Una vez incorporados al ambiente acuático, los microplásticos pueden experimentar procesos de transporte, dispersión, sedimentación y redistribución. Su distribución espacial puede estar influenciada por el tamaño, forma y densidad de las partículas, así como por la distancia respecto al punto de descarga, la velocidad

del flujo y las condiciones hidrodinámicas del cuerpo receptor (Hu et al., 2024; Mendrik et al., 2025).

2.2.10. Espectroscopía Raman para la identificación de microplásticos

La espectroscopía Raman es una técnica vibracional fundamentada en la dispersión inelástica de la radiación. Cuando la luz incidente interactúa con un material, una fracción experimenta modificaciones de energía relacionadas con las vibraciones moleculares. Como resultado se obtiene un espectro cuyas características guardan relación con la estructura química de la muestra analizada (Araujo et al., 2018).

El espectro Raman contiene bandas características asociadas con la estructura molecular del material, cuya posición e intensidad pueden ser comparadas con espectros de referencia. Esta propiedad permite diferenciar materiales que pueden presentar características visuales semejantes y constituye una herramienta para la identificación química de partículas sospechosas de ser microplásticos (Araujo et al., 2018; Parashar & Hait, 2023).

En el estudio de microplásticos, la espectroscopía Raman permite analizar partículas individuales y obtener información sobre su composición polimérica. Su resolución espacial posibilita el análisis de partículas dentro de intervalos micrométricos y permite complementar las observaciones realizadas mediante técnicas microscópicas (Parashar & Hait, 2023).

Entre las limitaciones de esta técnica se encuentra la interferencia producida por fluorescencia, que puede dificultar la interpretación de los espectros, particularmente en muestras que contienen determinados componentes orgánicos. También deben considerarse el tiempo requerido para el análisis y las condiciones instrumentales empleadas durante la adquisición del espectro (Parashar & Hait, 2023).

La espectroscopía Raman complementa la caracterización física realizada mediante observación microscópica. Mientras la observación permite clasificar las partículas según forma, color y tamaño, la información espectral permite determinar su naturaleza química y establecer su composición polimérica (Araujo et al., 2018; Parashar & Hait, 2023).

2.2.11. Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Lampa está ubicada en la provincia de Lampa, departamento de Puno, y forma parte de la infraestructura de saneamiento destinada al tratamiento de las aguas residuales generadas en la ciudad. La planta entró en funcionamiento en abril de 2018 como parte del proyecto de mejoramiento y ampliación del sistema integral de agua potable y alcantarillado de Lampa (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 2013).

La infraestructura de la PTAR comprende unidades de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento biológico, sedimentación secundaria, desinfección y tratamiento de lodos. El pretratamiento está conformado por una cámara de rejillas, un desarenador y un medidor Parshall. La cámara de rejillas está destinada a la retención de sólidos gruesos, el desarenador permite la separación de sólidos sedimentables de mayor densidad y a la conducción del agua hacia las unidades posteriores del sistema (Mendo, 2025).

El sistema comprende además una cámara recolectora o Caisson asociada al sistema de bombeo de aguas residuales, vinculada con la conducción del agua residual hacia las unidades posteriores de tratamiento (Mendo, 2025).

El tratamiento continúa mediante tanques Imhoff, unidades en las que se desarrollan procesos de sedimentación de sólidos y digestión de los lodos acumulados. A continuación, el agua residual es conducida hacia filtros percoladores, los cuales corresponden a unidades de tratamiento biológico que emplean biomasa adherida a un medio de soporte. Estas unidades forman parte de la configuración de la PTAR del distrito de Lampa (Pacori, 2024).

La línea de tratamiento continúa con los sedimentadores secundarios y el sistema de desinfección mediante cloración, el cual comprende una cámara de contacto antes de la salida del efluente. Asimismo, los lodos generados durante el tratamiento son conducidos hacia lechos de secado, destinados a reducir su contenido de humedad (Mendo, 2025; Pacori, 2024).

La ubicación y distribución general de la infraestructura de la PTAR del distrito de Lampa se presenta en la Figura 4.

Figura 4

Vista satelital de la PTAR Lampa



Fuente: Google Earth (Google, 2025).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

La investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Lampa y en el río Lampa como cuerpo receptor, ubicados en la provincia de Lampa, departamento de Puno. El área de estudio se encuentra a una altitud aproximada de 3892 m s. n. m. (Pacori, 2024).

El ámbito de estudio comprendió el efluente tratado de la PTAR de Lampa y dos puntos ubicados en el río Lampa, establecidos a diferentes distancias respecto al punto de descarga. El PM-1 correspondió al efluente de la PTAR, mientras que los puntos PM-2 y PM-3 se ubicaron a 150 m y 300 m del punto de descarga, respectivamente, en el cuerpo receptor. Esta distribución permitió caracterizar los microplásticos presentes en el efluente tratado y en los puntos establecidos en el río Lampa.

La ubicación del área de estudio y de los puntos de muestreo se presenta en la Figura 5, mientras que sus coordenadas UTM se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Puntos de muestreo para la recolección de la muestra

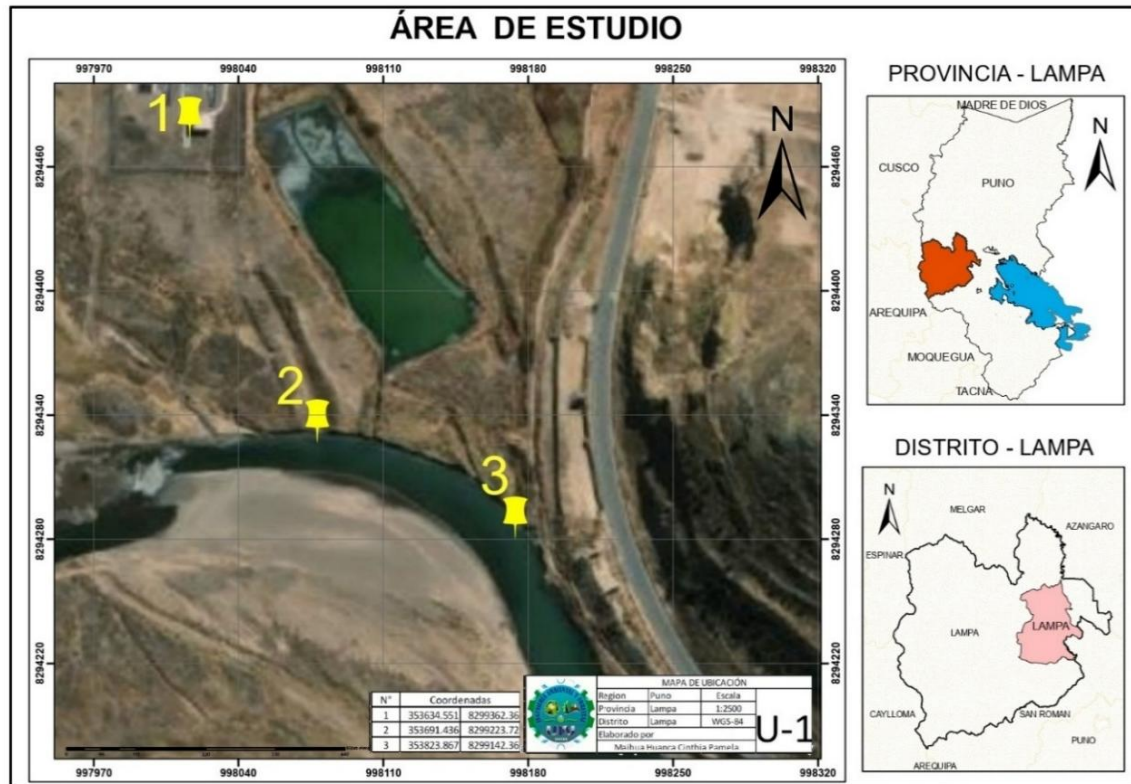
Punto de muestreo	Descripción	Este (m)	Norte (m)
PM-1	Efluente tratado de la PTAR Lampa	353634.55	8299362.4
PM-2	Río Lampa, a 150 m del punto de descarga	353691.44	8299223.7
PM-3	Río Lampa, a 300 m del punto de descarga	353823.87	8299142.4

Nota. Coordenadas expresadas en el sistema WGS 84, proyección UTM, zona 19S.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 5

Mapa de ubicación del área de estudio y puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.2. Tipo y diseño de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se cuantificaron y analizaron numéricamente las características y la concentración de los microplásticos presentes en las muestras evaluadas. El estudio correspondió a un diseño no experimental, puesto que no se realizó la manipulación deliberada de las variables, sino que estas fueron observadas y analizadas en las condiciones en las que se presentaron.

Asimismo, la investigación tuvo un alcance descriptivo, debido a que estuvo orientada a caracterizar los microplásticos según su forma, color y tamaño, identificar su composición polimérica y cuantificar su concentración en los puntos de muestreo establecidos.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por las aguas residuales tratadas provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del distrito de Lampa y las aguas superficiales del río Lampa, considerado como cuerpo receptor del vertimiento.

La delimitación de la población y la ubicación de los puntos de muestreo se realizaron considerando los criterios establecidos en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, aprobado mediante Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento 2013), y en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado mediante Resolución Jefatural N.º 010-2016-ANA (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016), empleados como referencia para la ubicación de los puntos correspondientes al efluente y al cuerpo receptor.

3.3.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por 21 muestras de agua, recolectadas en tres puntos de muestreo establecidos en el área de estudio: PM-1, correspondiente al efluente tratado de la PTAR de Lampa; PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga; y PM-3, ubicado a 300 m del punto de descarga, estos dos últimos localizados en el río Lampa como cuerpo receptor.

En cada punto se realizaron siete días de muestreo consecutivos, obteniéndose un total de 21 muestras. En cada día de muestreo se recolectó y filtró sucesivamente el agua hasta completar un volumen total de 20 L por punto, y el material retenido en las mallas constituyó la muestra destinada al posterior procesamiento e identificación de los microplásticos.

3.4. Materiales y equipos

3.4.1. Materiales

Para la ejecución de la investigación se utilizaron frascos de vidrio de 500 mL y 1000 mL; probetas de 50 mL y 100 mL; vasos de precipitados de 100 mL, 250 mL

y 600 mL; embudo de vidrio; embudo de decantación; placas de Petri; cápsula de vidrio; pinzas; soporte universal; espátula metálica; tamices de acero inoxidable; piseta; cajas térmicas; papel toalla; papel aluminio; filtro de membrana de 0.45 µm; balde de 20 L; guantes quirúrgicos; barbijos; rótulos para cadena de custodia; cinta de embalaje y pizarra pequeña, empleados durante la recolección, procesamiento y análisis de las muestras.

3.4.2. Reactivos

Los reactivos empleados para el procesamiento de las muestras fueron peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%, utilizado para la digestión de la materia orgánica presente en las muestras; cloruro de sodio (NaCl), empleado en el proceso de separación por densidad de los microplásticos; y agua destilada, utilizada durante el procesamiento y lavado del material empleado en el análisis.

3.4.3. Equipos

Para el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes equipos: GPS Garmin Montana 650, utilizado para la georreferenciación de los puntos de muestreo; balanza analítica Mettler Toledo, utilizada para determinar la masa de cloruro de sodio (NaCl) requerida en la preparación de la solución destinada a la separación por densidad; microscopio estereoscópico Leica EZ4E, empleado para la observación, identificación de las características físicas y conteo de los microplásticos; bomba de vacío, utilizada durante la filtración de las muestras; y agitador magnético, empleado para la homogeneización de la solución de cloruro de sodio (NaCl) preparada con agua destilada.

Para la identificación de la composición polimérica de las partículas se empleó un equipo de espectroscopía µRaman Renishaw inVia Reflex, perteneciente a la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

3.5. Procedimiento metodológico

3.5.1. Recolección y preparación de muestras

La recolección de las muestras se realizó en tres puntos previamente establecidos: PM-1, correspondiente al efluente tratado de la PTAR Lampa; PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga; y PM-3, ubicado a 300 m del punto de descarga, estos dos últimos localizados en el río Lampa. Se realizaron siete días de muestreo y, en cada

día, se recolectó agua sucesivamente hasta completar un volumen total de 20 L por punto de muestreo.

El volumen recolectado se filtró por gravedad mediante tres mallas de acero inoxidable dispuestas sucesivamente, con aberturas de 2 mm, 850 μm y 75 μm . El empleo de mallas con diferentes tamaños de abertura permite retener y concentrar partículas presentes en muestras de aguas residuales para su posterior procesamiento y caracterización (Miserli & Konstantinou, 2025; Sun et al., 2019). La etapa de muestreo y preparación de muestras constituye un componente relevante en el análisis de microplásticos presentes en efluentes de plantas de tratamiento, debido a que los procedimientos empleados pueden influir en la recuperación posterior de las partículas (Al-Azzawi, Knoop, et al., 2022). El material retenido en las mallas se recuperó mediante enjuague con agua destilada y se transfirió a recipientes de vidrio de 1000 mL, los cuales fueron almacenados y transportados al laboratorio para su procesamiento (Long et al., 2019). En la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento de recolección de las muestras.

Figura 6

Diagrama de flujo de recolección de muestras



Fuente: Elaboración propia, 2025.

En los laboratorios generales de la Universidad Nacional de Juliaca, sede Capilla, las muestras fueron sometidas a digestión con 50 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 % durante 6 h, con la finalidad de reducir la materia orgánica presente y facilitar la posterior identificación de los microplásticos. La digestión oxidativa mediante H_2O_2 es empleada en el procesamiento de muestras de aguas residuales para disminuir la interferencia ocasionada por la materia orgánica durante el análisis de microplásticos (Miserli & Konstantinou, 2025; Ormaniec, 2024; Zhang et al., 2023). Los procedimientos de pretratamiento de muestras permiten reducir componentes de la matriz que pueden dificultar la recuperación y posterior identificación de los microplásticos (Mathew et al., 2024).

Finalizado el proceso de digestión, se realizó la filtración al vacío utilizando filtros de 0.45 μm. Posteriormente, se efectuó la separación por densidad mediante una solución de cloruro de sodio (NaCl). La separación por densidad mediante soluciones

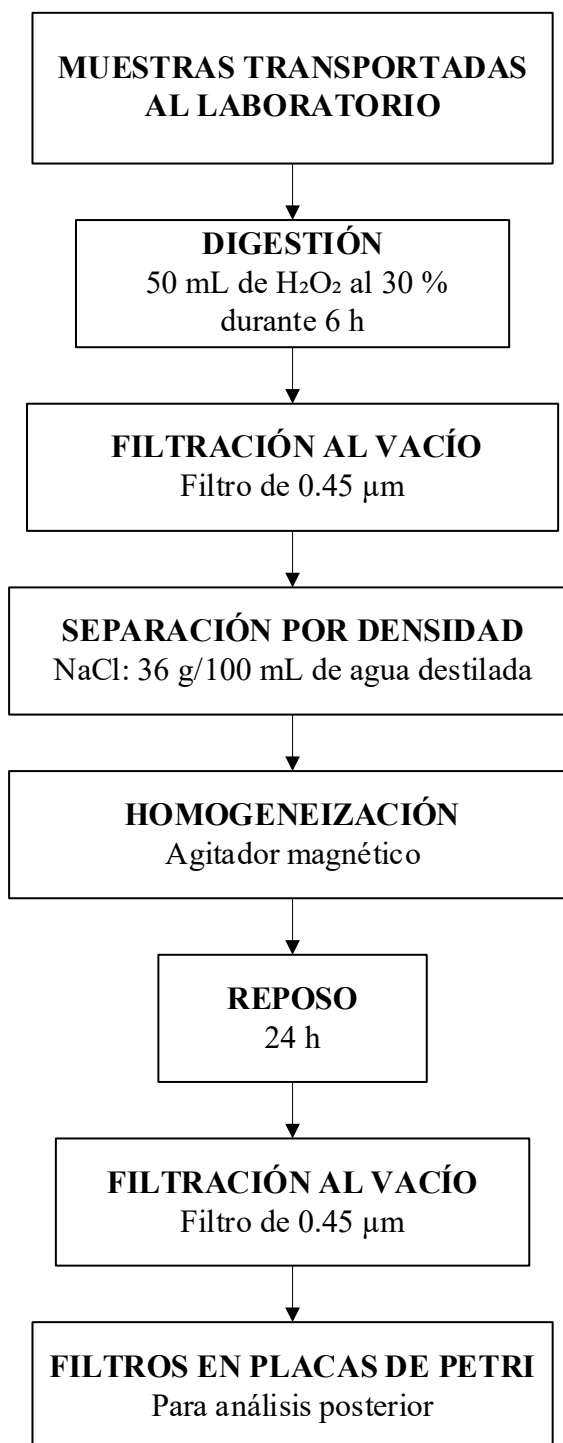
salinas constituye un procedimiento utilizado para favorecer la separación de las partículas plásticas respecto de otros materiales presentes en la muestra (Ormaniec, 2024; Sun et al., 2019).

La solución utilizada para la separación por densidad se preparó con 36 g de NaCl por cada 100 mL de agua destilada y fue homogeneizada mediante un agitador magnético. Posteriormente, las muestras permanecieron en reposo durante 24 h para favorecer la separación de las partículas. Finalizado este periodo, se recuperó la fracción correspondiente mediante filtración al vacío utilizando filtros de 0.45 μm .

Los filtros obtenidos fueron colocados en placas de Petri y conservados para su posterior observación, identificación y cuantificación de los microplásticos. En la Figura 7 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento de preparación de las muestras.

Figura 7

Diagrama de flujo de la preparación de muestras



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.2. Identificación de las características físicas de los microplásticos

Los filtros obtenidos durante la preparación de las muestras fueron observados mediante un microscopio estereoscópico Leica EZ4E. La estereomicroscopía permite realizar la evaluación morfológica de las partículas y registrar características físicas observables de los microplásticos (Ormaniec, 2024; Sun et al., 2019).

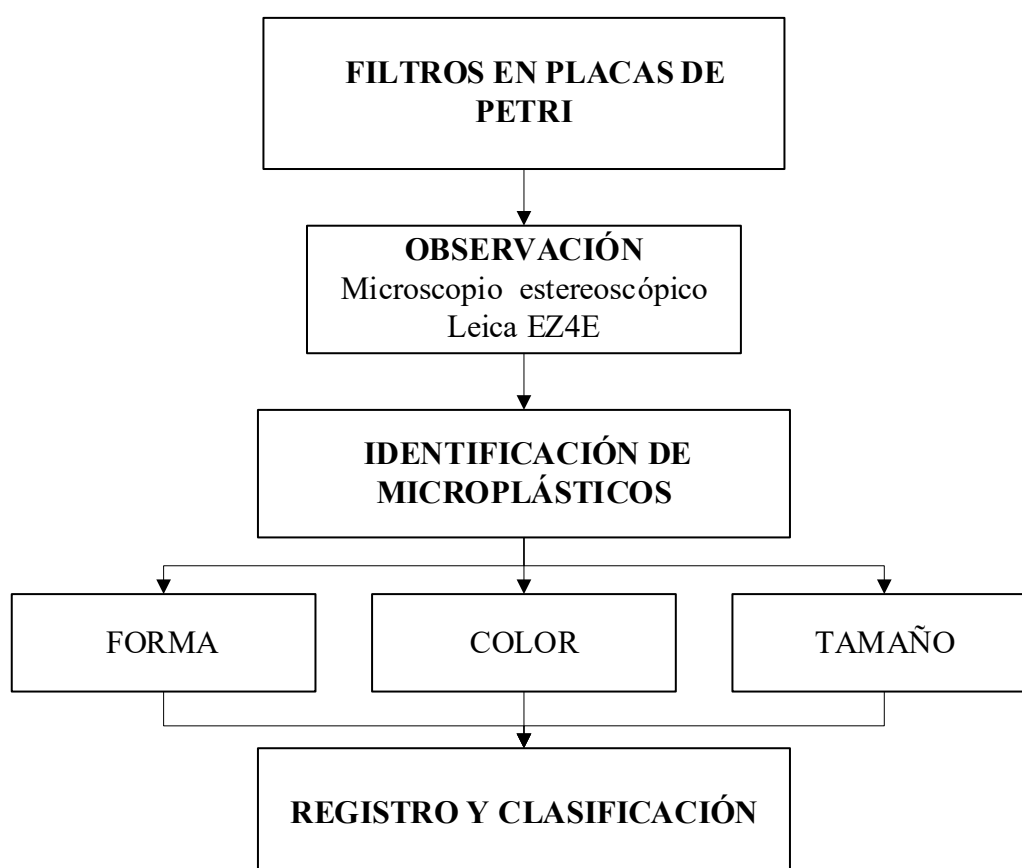
La observación se realizó sistemáticamente sobre la superficie de cada filtro. Las partículas identificadas como microplásticos fueron caracterizadas de acuerdo con las variables forma, color y tamaño. La clasificación de las partículas según sus características morfológicas constituye un procedimiento empleado para la caracterización física de microplásticos presentes en muestras de aguas residuales (Miserli & Konstantinou, 2025; Ormaniec, 2024).

De acuerdo con su forma, las partículas fueron clasificadas según las categorías consideradas en la investigación. Asimismo, se registró el color observado en cada partícula y se determinó su tamaño de acuerdo con los intervalos establecidos para el estudio.

La información obtenida mediante la observación microscópica fue registrada y posteriormente organizada para determinar la distribución de los microplásticos según forma, color y tamaño en cada punto de muestreo. En la Figura 8 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento de identificación de las características físicas de los microplásticos.

Figura 8

Diagrama de flujo para la identificación de las características físicas



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.3. Identificación de la composición polimérica de los microplásticos

Para la identificación de la composición polimérica se seleccionaron partículas representativas previamente observadas mediante estereoscopía. Las partículas seleccionadas fueron analizadas mediante microespectroscopía Raman (μ Raman), utilizando un equipo Renishaw inVia Reflex perteneciente a la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

La microespectroscopía Raman constituye una técnica instrumental utilizada para obtener información espectral y apoyar la caracterización de la composición polimérica de microplásticos presentes en muestras ambientales y efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (Becucci et al., 2022; Miserli & Konstantinou, 2025; Sun et al., 2019; Wolff et al., 2019).

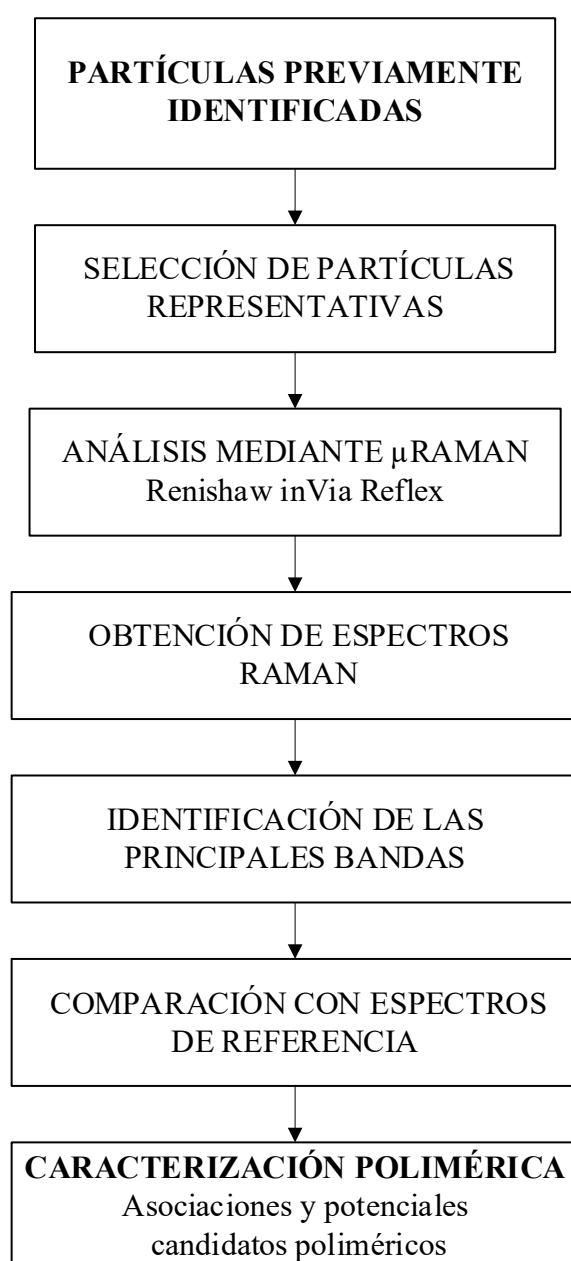
A partir del análisis mediante μ Raman se obtuvieron los espectros correspondientes a las partículas seleccionadas. Posteriormente, se examinaron las principales bandas

espectrales observadas y se efectuó su comparación con espectros de referencia, con la finalidad de establecer asociaciones y potenciales candidatos poliméricos (Chakraborty et al., 2023; Wolff et al., 2019).

La información espectral obtenida fue registrada para la caracterización de la composición polimérica de las partículas analizadas. En la Figura 9 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento de identificación de la composición polimérica de los microplásticos.

Figura 9

Diagrama de flujo de la identificación de la composición polimérica



Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.5.4. Cuantificación de la concentración de microplásticos

La cuantificación de los microplásticos se realizó mediante la observación de los filtros con un microscopio estereoscópico Leica EZ4E. La superficie de cada filtro fue recorrida sistemáticamente siguiendo un patrón en zigzag, con la finalidad de contabilizar las partículas identificadas como microplásticos y evitar su conteo repetido.

El número de partículas contabilizadas fue relacionado con el volumen de agua procesado. La concentración o abundancia de microplásticos en matrices acuáticas puede expresarse como el número de partículas por unidad de volumen de agua analizada (Miserli & Konstantinou, 2025; Sol et al., 2023).

La concentración de microplásticos se determinó mediante la siguiente expresión:

$$C = \frac{N}{V}$$

Donde:

C = concentración de microplásticos (MPs/L).

N = número de microplásticos contabilizados (MPs).

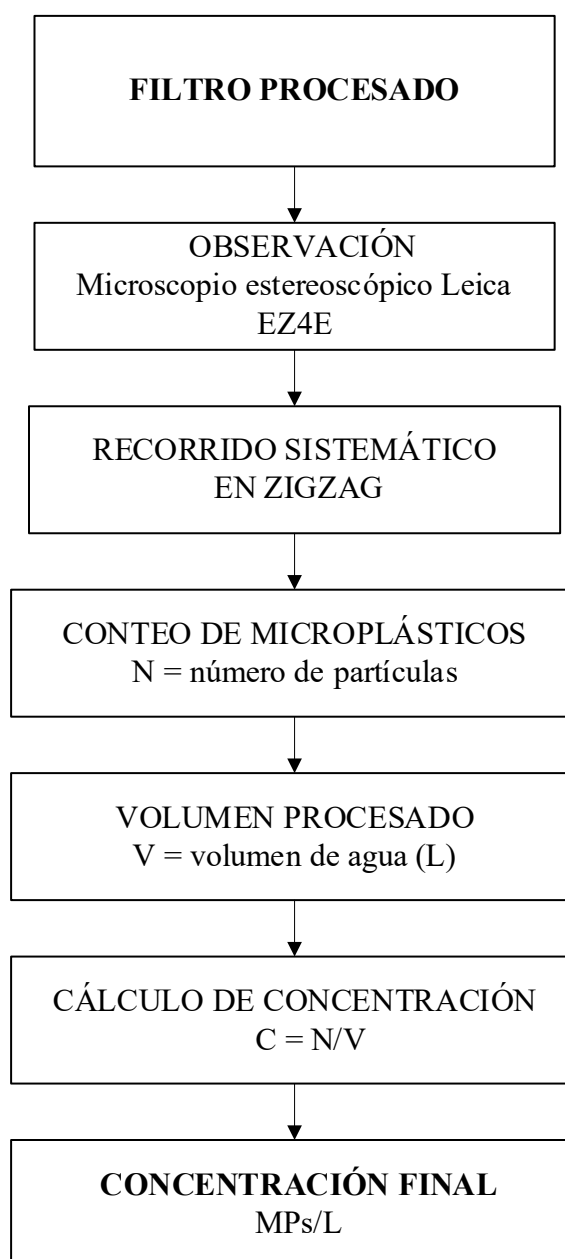
V = volumen de agua procesada (L).

La relación empleada corresponde al cálculo de la abundancia de microplásticos a partir del número de partículas contabilizadas y el volumen de agua muestreado o procesado (Sol et al., 2023).

Los valores obtenidos para cada muestra fueron registrados y posteriormente utilizados para determinar la concentración promedio de microplásticos correspondiente a cada punto de muestreo. En la Figura 10 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al procedimiento de cuantificación de la concentración de microplásticos.

Figura 10

Diagrama de flujo para la cuantificación de la concentración de microplásticos



Fuente: Elaboración propia, 2025.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características físicas de los microplásticos

4.1.1. Formas de los microplásticos

Tabla 2

Microplásticos según su forma

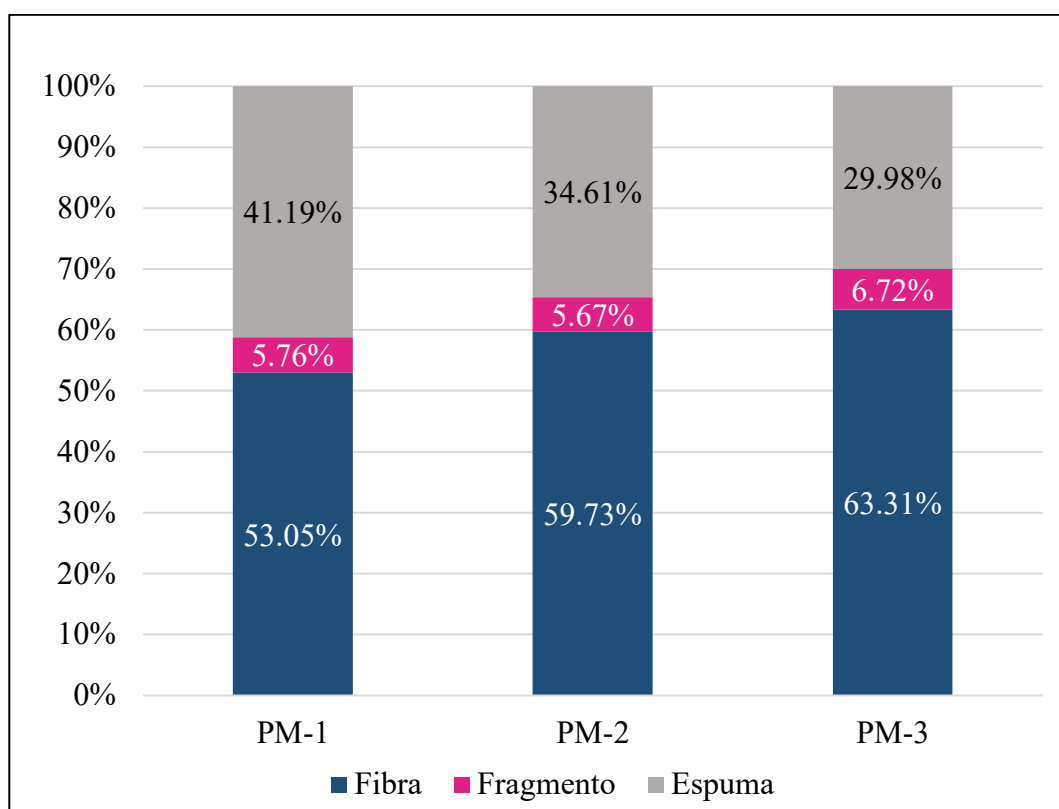
<i>Punto de muestreo</i>	<i>Fibra</i>	<i>Fragmento</i>	<i>Espuma</i>
<i>PM-1</i>	157.86	17.14	122.57
	(53.05%)	(5.76%)	(41.19%)
<i>PM-2</i>	143.00	13.57	82.86
	(59.73%)	(5.67%)	(34.61%)
<i>PM-3</i>	72.71	7.71	34.43
	(63.31%)	(6.72%)	(29.98%)

Nota. Los valores corresponden al promedio de partículas registradas durante siete días de muestreo. Los porcentajes fueron calculados respecto al promedio total de microplásticos de cada punto.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 11

Distribución porcentual según su forma



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Tabla 2 y la Figura 11 muestran que las fibras constituyeron la forma predominante en los tres puntos de muestreo, con 53.05% en PM-1, 59.73% en PM-2 y 63.31% en PM-3. Las espumas ocuparon el segundo lugar, con 41.19%, 34.61% y 29.98%, respectivamente, mientras que los fragmentos presentaron las menores proporciones, entre 5.67% y 6.72%. Aunque la participación porcentual de las fibras aumentó entre PM-1 y PM-3, su cantidad promedio disminuyó de 157.86 a 72.71 microplásticos, por lo que dicho incremento correspondió a una variación en su participación relativa dentro del total registrado en cada punto.

El predominio de fibras presenta una coincidencia parcial con Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron la presencia y características de microplásticos en el efluente de la PTAR San Jerónimo y en el río Huatanay, Cusco. En el punto correspondiente al efluente registraron un promedio de 90.4 fibras, superior a 83.7 fragmentos y 44.0 películas, coincidiendo con Lampa respecto al predominio de

fibras en el efluente. Sin embargo, esta similitud no se mantuvo en los demás puntos evaluados por dichos autores, debido a que posteriormente predominaron los fragmentos y las películas, mientras que en Lampa las fibras mantuvieron la mayor representación en PM-1, PM-2 y PM-3. Asimismo, Jave y Ordinola (2024), quienes evaluaron microplásticos en las etapas de pretratamiento y postratamiento de las PTAR Cortijo y Covicorti de Trujillo, identificaron fibras entre las formas presentes en las aguas residuales evaluadas. Este antecedente guarda relación con los resultados de Lampa respecto a la presencia de esta morfología, que en la presente investigación destacó por constituir la forma predominante en PM-1, PM-2 y PM-3.

En contraste, los resultados difieren de Miserli y Konstantinou (2025), quienes determinaron las características y la concentración de microplásticos presentes en el efluente y los lodos de una PTAR municipal de Ioannina, Grecia, y registraron un predominio de fragmentos en el efluente secundario, con 66.7%. De manera similar, Lee et al. (2023), quienes evaluaron microplásticos en afluentes y efluentes de cuatro PTAR municipales de Corea del Sur, reportaron un predominio de fragmentos, con 72.1% en los afluentes y 69.9% en los efluentes. En el ámbito nacional, Fuentes (2022), quien evaluó microplásticos en la PTAR Media Luna de Ilo, registró un predominio de fragmentos (52%), seguido de fibras (41%). Estos resultados difieren de los obtenidos en Lampa, donde las fibras representaron más de la mitad de las partículas identificadas en los tres puntos y los fragmentos presentaron proporciones entre 5.67% y 6.72%.

La variación en las formas predominantes entre investigaciones puede estar relacionada con las características de las aguas residuales evaluadas, debido a que los sistemas de tratamiento pueden recibir descargas de diferente procedencia y presentar diferencias en la abundancia, forma, tamaño y composición de los microplásticos (Bayo et al., 2023; E. Hu et al., 2022; Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023). Asimismo, al comparar los resultados entre investigaciones deben considerarse los procedimientos empleados, ya que el volumen de muestra, el tamaño mínimo de partícula considerado, los sistemas de filtración y los métodos de identificación pueden influir en los resultados registrados (Al-Azzawi et al., 2022; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

4.1.2. Color de los microplásticos

Tabla 3

Microplásticos según su color

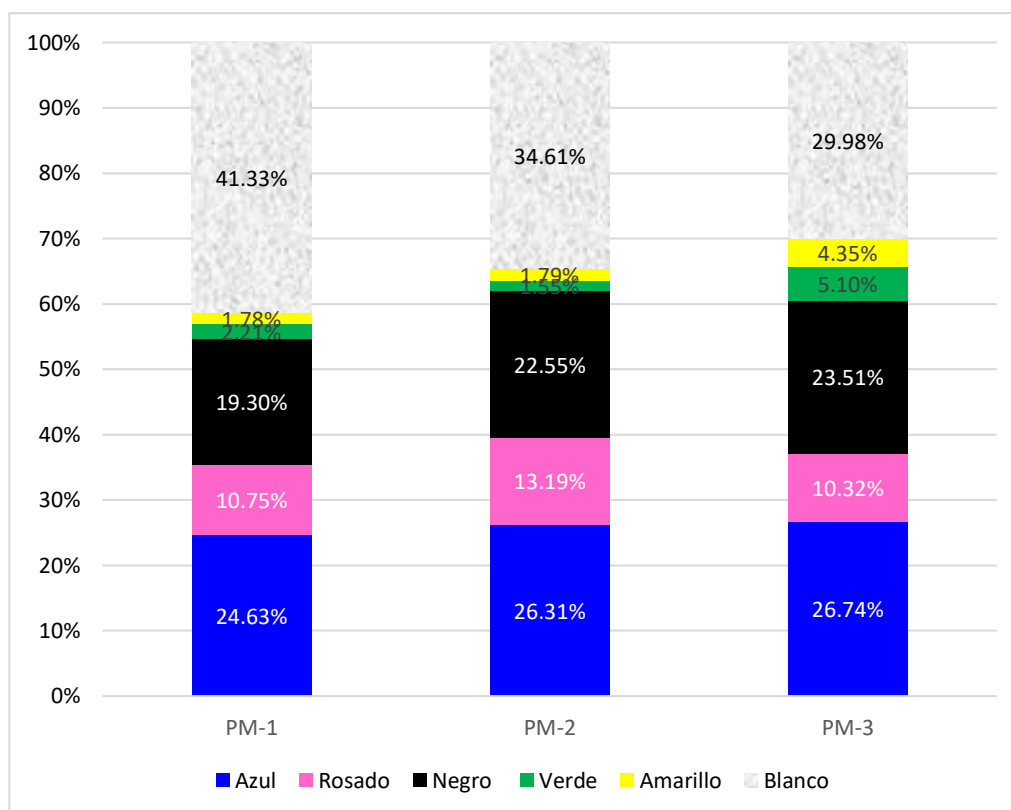
Color	PM-1 Promedio	PM-1 (%)	PM-2 Promedio	PM-2 (%)	PM-3 Promedio	PM-3 (%)
Azul	73.29	24.63	63.00	26.31	30.71	26.74
Rosado	32.00	10.75	31.57	13.19	11.86	10.32
Negro	57.43	19.30	54.00	22.55	27.00	23.51
Verde	6.57	2.21	3.71	1.55	5.86	5.10
Amarillo	5.29	1.78	4.29	1.79	5.00	4.35
Blanco	123.00	41.33	82.86	34.61	34.43	29.98

Nota. Los valores corresponden al promedio de partículas registradas durante siete días de muestreo. Los porcentajes fueron calculados respecto al promedio total de partículas de cada punto.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 12

Distribución porcentual según su color



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Tabla 3 y la Figura 12 muestran que el blanco fue el color predominante en los tres puntos de muestreo, con 41.33% en PM-1, 34.61% en PM-2 y 29.98% en PM-3. Le siguió el azul, con 24.63%, 26.31% y 26.74%, respectivamente, mientras que el negro representó 19.30%, 22.55% y 23.51%. El rosado presentó proporciones entre 10.32% y 13.19%, mientras que el verde y el amarillo registraron las menores representaciones. Entre PM-1 y PM-3 se observó una disminución en la participación porcentual del blanco, mientras que el azul mantuvo valores similares y el negro presentó un incremento. Estas variaciones corresponden a diferencias en la distribución relativa de los colores entre los puntos evaluados y muestran que, aunque el orden de predominancia se mantuvo principalmente entre blanco, azul y negro, sus proporciones variaron a lo largo de los puntos de muestreo.

Respecto a las coincidencias, los porcentajes de partículas azules registrados en Lampa, entre 24.63% y 26.74%, fueron similares a los obtenidos por Espetia (2024), quien evaluó microplásticos en aguas superficiales de los Uros, en el lago

Titicaca, y registró 26.40% de partículas azules. La mayor proximidad se observó en PM-2 (26.31%) y PM-3 (26.74%), cuyos valores fueron cercanos al reportado por dicho autor. Asimismo, Chambi y Yanes (2023), quienes evaluaron microplásticos en arena, sedimentos y agua superficial de las playas Chifrón, Chatuma y Juli del lago Titicaca, identificaron partículas de color blanco, negro, azul y amarillo, colores que también estuvieron presentes en las muestras evaluadas en Lampa. Esta coincidencia evidencia la presencia de categorías cromáticas similares en los ambientes acuáticos estudiados en la región Puno, aunque con diferentes proporciones entre las zonas evaluadas.

En contraste, la distribución porcentual de los colores presentó diferencias respecto a Chambi y Yanes (2023), quienes registraron un predominio del negro (25%), seguido del blanco (18%), amarillo (13%), azul (12%) y transparente (9%). En Lampa, el blanco presentó la mayor proporción en los tres puntos, con valores entre 29.98% y 41.33%, mientras que el negro ocupó el tercer lugar, con valores entre 19.30% y 23.51%. Asimismo, Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron microplásticos en el efluente de la PTAR San Jerónimo y en el río Huatanay, reportaron un predominio de partículas translúcidas, con 54.36%, patrón diferente al registrado en Lampa, donde predominaron las partículas blancas. No obstante, esta comparación debe considerar que las categorías blanco y translúcido no son equivalentes, por lo que la diferencia se limita al patrón cromático reportado en cada investigación.

Las diferencias en la distribución de colores entre las investigaciones pueden estar relacionadas con la diversidad de microplásticos presentes en los sistemas evaluados, debido a que las aguas residuales reciben partículas procedentes de fuentes domésticas, comerciales e industriales, lo que genera una matriz con características físicas heterogéneas (Bayo et al., 2023; Hu et al., 2024; Sheriff et al., 2023). En este contexto, la variedad de colores registrada en Lampa puede reflejar la heterogeneidad de las partículas presentes tanto en el efluente como en el cuerpo receptor; sin embargo, el color constituye una característica física que, por sí sola, no permite atribuir un origen específico a los microplásticos. Asimismo, las diferencias observadas entre estudios deben interpretarse considerando los procedimientos metodológicos empleados, ya que aspectos como el tamaño mínimo

de partícula considerado, los sistemas de filtración y los métodos de identificación pueden influir en los resultados reportados (Al-Azzawi et al., 2022; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

4.1.3. **Tamaño de los microplásticos**

Tabla 4

Microplásticos según su tamaño

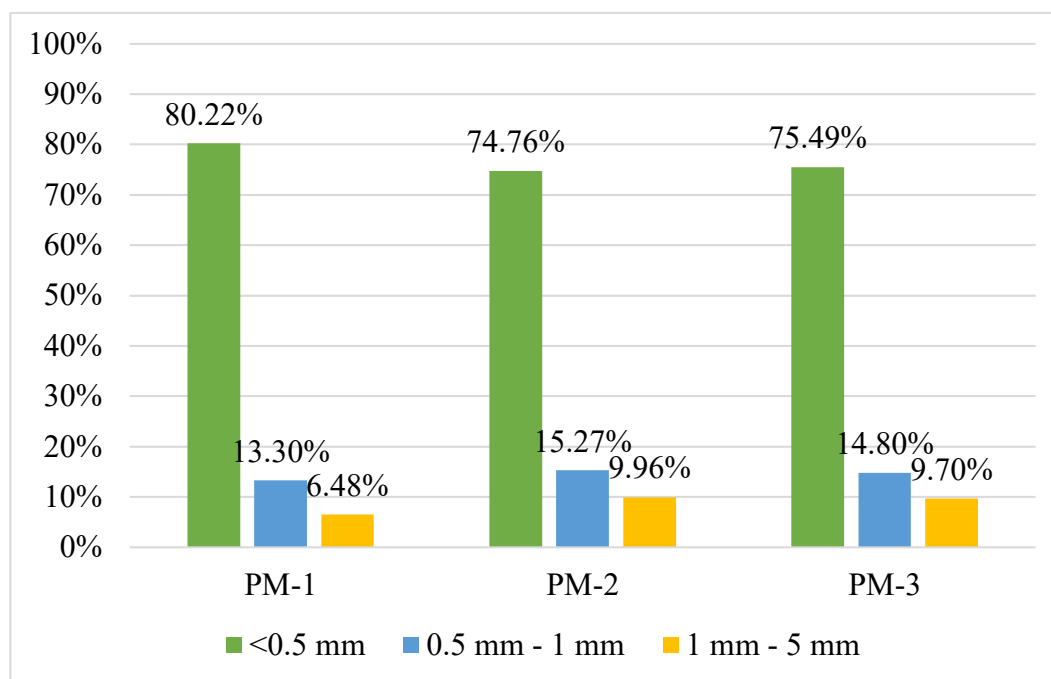
Tamaño	PM-1 Promedio	PM-1 (%)	PM-2 Promedio	PM-2 (%)	PM-3 Promedio	PM-3 (%)
< 0.5 mm	238.71	80.22	179.00	74.76	86.71	75.50
0.5–1 mm	39.57	13.30	36.57	15.27	17.00	14.80
1–5 mm	19.29	6.48	23.86	9.96	11.14	9.70

Nota. Los valores corresponden al promedio de partículas registradas durante siete días de muestreo. Los porcentajes fueron calculados respecto al promedio total de partículas de cada punto.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 13

Distribución porcentual según el tamaño



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Tabla 4 y la Figura 13 muestran que los microplásticos menores de 0.5 mm predominaron en los tres puntos de muestreo, con 80.22% en PM-1, 74.76% en PM-2 y 75.49% en PM-3. La fracción comprendida entre 0.5 y 1 mm representó 13.30%, 15.27% y 14.80%, respectivamente, mientras que las partículas de 1 a 5 mm presentaron las menores proporciones, con valores entre 6.48% y 9.96%. Al considerar conjuntamente las dos primeras categorías, las partículas menores de 1 mm representaron 93.52% en PM-1, 90.03% en PM-2 y 90.29% en PM-3, mostrando que las fracciones de menor tamaño concentraron la mayor proporción de microplásticos en los tres puntos evaluados.

Respecto a las coincidencias, los resultados son consistentes con Lee et al. (2023), quienes evaluaron microplásticos en afluentes y efluentes de cuatro PTAR municipales de Corea del Sur y determinaron que más del 80% de las partículas presentaron tamaños entre 20 y 300 μm . Asimismo, Edo et al. (2020), quienes estudiaron la presencia y el destino de microplásticos en una PTAR, reportaron una mayor abundancia de partículas comprendidas entre 25 y 104 μm . Estos intervalos se encuentran dentro de la categoría < 0.5 mm considerada en Lampa y guardan

relación con el predominio de las partículas de menor tamaño observado en los tres puntos, aunque los intervalos empleados en cada investigación no son directamente equivalentes.

También se observa una coincidencia parcial con Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron microplásticos en el efluente de la PTAR San Jerónimo y en el río Huatanay, Cusco, y analizaron el tamaño según la forma de las partículas. Las autoras registraron tamaños promedio cercanos a 1.02 mm para las fibras y 0.11 mm para los fragmentos. Este último valor se encuentra dentro del intervalo < 0.5 mm predominante en Lampa. Sin embargo, debido a que dicho estudio expresó el tamaño mediante valores promedio asociados a las diferentes formas y la presente investigación empleó intervalos de tamaño, la comparación permite reconocer una similitud en la presencia de partículas pequeñas, pero no establecer equivalencias porcentuales directas.

En contraste, Jave y Ordinola (2024), quienes evaluaron microplásticos en las etapas de pretratamiento y postratamiento de las PTAR Cortijo y Covicorti de Trujillo, reportaron partículas comprendidas entre 1 y 5 mm. En Lampa también se identificaron microplásticos dentro de este intervalo; sin embargo, constituyeron la fracción menos representada, con 6.48% en PM-1, 9.96% en PM-2 y 9.70% en PM-3. Asimismo, Chambi y Yanes (2023), quienes evaluaron microplásticos en arena, sedimentos y agua superficial de las playas Chifrón, Chatuma y Juli del lago Titicaca, registraron partículas de 1 a 5 mm. En este caso, la comparación debe realizarse con cautela debido a las diferencias entre las matrices ambientales evaluadas.

Las diferencias en la distribución de tamaños entre las investigaciones pueden estar relacionadas tanto con las características de las partículas presentes en cada sistema como con los procedimientos empleados para su estudio. En las PTAR, los microplásticos pueden presentar comportamientos diferentes según su tamaño, forma, densidad y composición polimérica, mientras que las características del sistema de tratamiento también intervienen en su distribución (Bayo et al., 2023; Egea-Corbacho et al., 2023; Hu et al., 2022; Hu et al., 2024; Jiang et al., 2022).

Asimismo, al comparar los tamaños reportados entre investigaciones deben considerarse aspectos metodológicos como el volumen de muestra, el tamaño

mínimo de partícula considerado, los sistemas de filtración y los métodos de identificación, debido a que estos pueden influir en las fracciones recuperadas y en los resultados registrados (Al-Azzawi et al., 2022; Mathew et al., 2024; Sheriff et al., 2023; Sun et al., 2019).

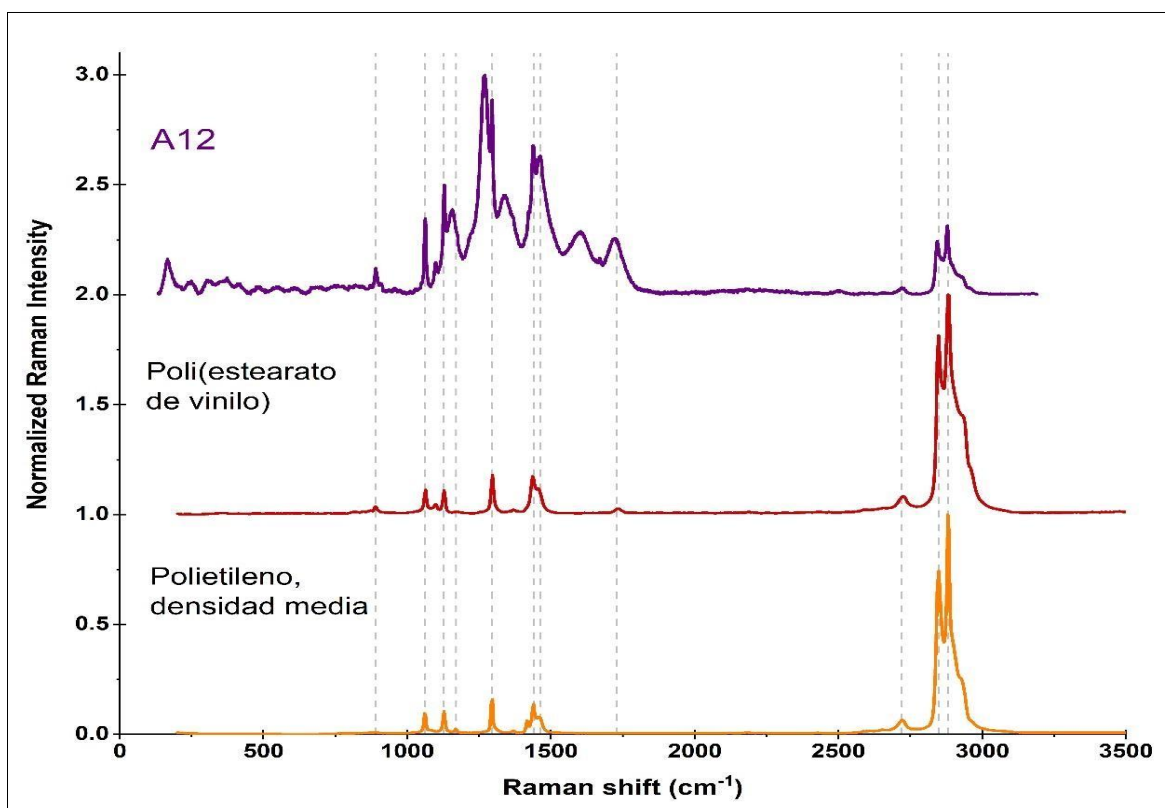
4.2. Composición polimérica de los microplásticos

El análisis mediante microespectroscopía Raman (μ Raman) se realizó en ocho muestras seleccionadas, codificadas como A12, A13, A14, A21, A24, A34, A41 y A42. Los espectros obtenidos fueron comparados con materiales de referencia y con la librería de polímeros empleada por el laboratorio. El informe técnico reportó bandas características asociadas al polietileno (PE) y al polimetilpenteno (PMP); adicionalmente, la comparación con la librería espectral señaló al polietileno (PE), poliestireno (PS) y nylon como potenciales candidatos poliméricos, según el informe técnico CAM-NOV-047/2024 incluido en el Anexo II.

El empleo de espectroscopía Raman para la caracterización de microplásticos también ha sido aplicado en muestras asociadas con plantas de tratamiento de aguas residuales y sus efluentes, debido a su capacidad para obtener información sobre la naturaleza polimérica de partículas individuales (Becucci et al., 2022; Wolff et al., 2019).

Figura 14

Comparación espectral μ Raman con referencias de polietileno



Fuente: Informe técnico CAM-NOV-047/2024 (Anexo II).

La Figura 14 muestra la correspondencia obtenida entre el espectro analizado y los materiales de referencia asociados al polietileno. De acuerdo con el informe técnico, se observaron bandas características de enlaces CH₂ relacionadas con este material y, posteriormente, el PE también fue incluido entre los potenciales candidatos obtenidos mediante la comparación con la librería espectral.

Este resultado presenta coincidencias con los antecedentes revisados Koyuncuoğlu y Erden (2023), (Becucci et al., 2022; Koyuncuoğlu & Erden, 2023; Wolff et al., 2019) quienes evaluaron la presencia y características de microplásticos en una PTAR municipal, identificaron PE entre los materiales presentes. Asimismo, en el ámbito nacional, Fuentes (2022), quien evaluó microplásticos en las aguas residuales de la PTAR Media Luna de Ilo mediante μ FTIR, identificó al PE entre los polímeros más frecuentes. De manera similar, Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron microplásticos en el efluente de la PTAR San

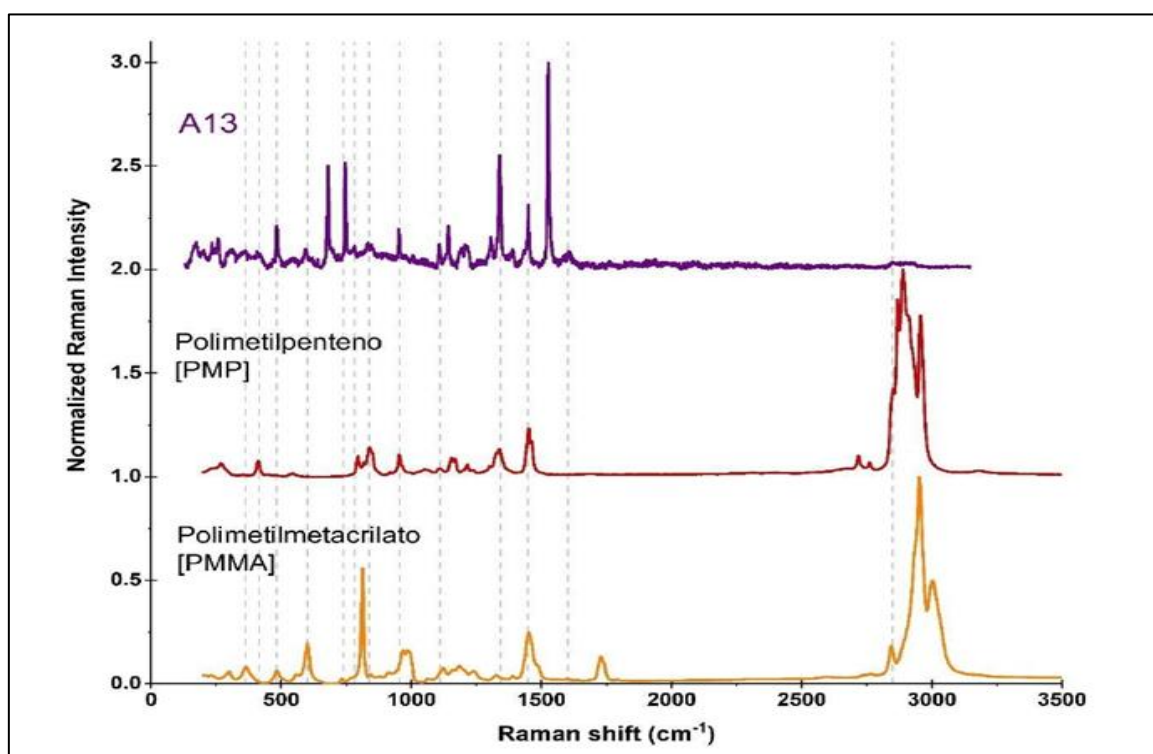
Jerónimo y en el río Huatanay, identificaron PE entre las principales composiciones poliméricas encontradas.

En el contexto regional, Chambi y Yanes (2023), quienes estudiaron microplásticos en arena, sedimentos y agua superficial de las playas Chifrón, Chatuma y Juli del lago Titicaca, identificaron PE en el 39% de los microplásticos analizados. Este antecedente coincide con Lampa respecto a la presencia de polietileno; sin embargo, el porcentaje reportado no es directamente comparable, debido a que las matrices ambientales evaluadas fueron diferentes y en la presente investigación el análisis μ Raman se efectuó sobre ocho muestras seleccionadas, por lo que no se determinó la abundancia porcentual de cada polímero.

La presencia de diversos tipos de polímeros en sistemas de tratamiento de aguas residuales también ha sido reportada en investigaciones que describen variaciones en la composición de las partículas a lo largo de las unidades de tratamiento (Bao et al., 2022; Yaseen et al. 2022).

Figura 15

Comparación espectral μ Raman con referencia de polimetilpenteno

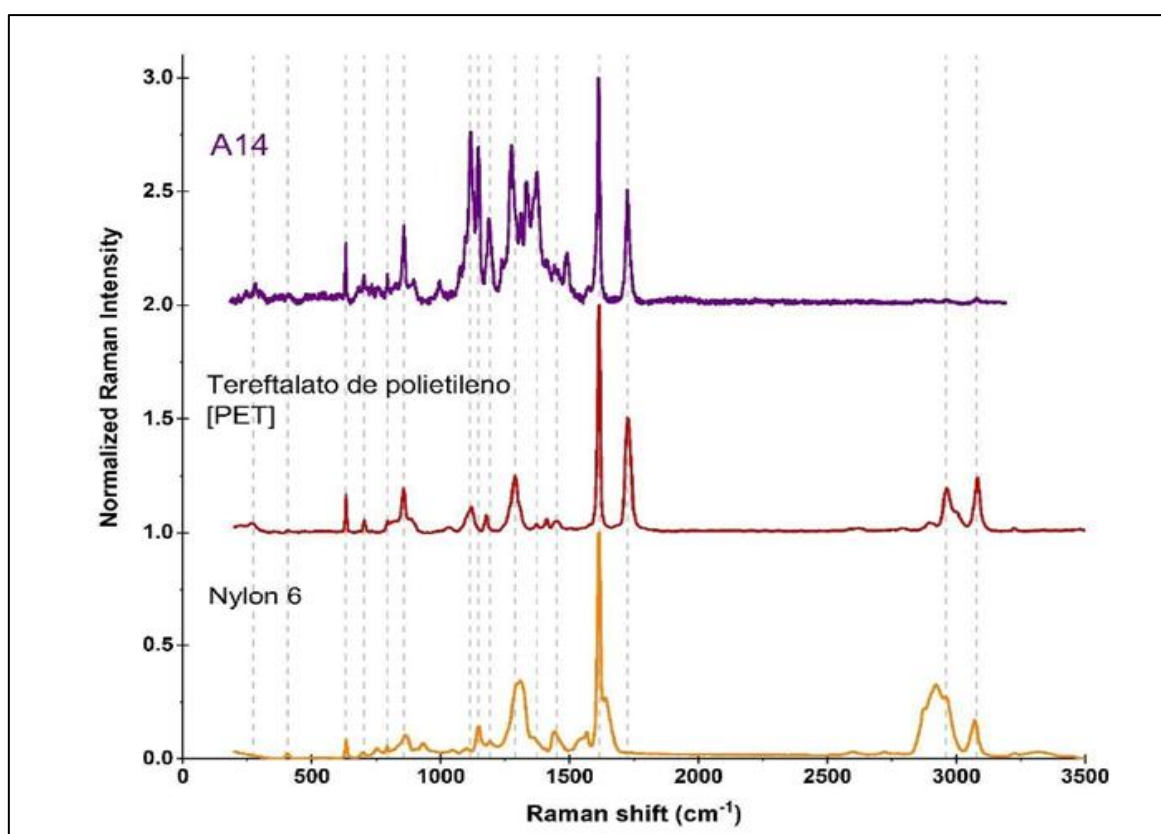


Fuente: Informe técnico CAM-NOV-047/2024 (Anexo II).

La Figura 15 presenta la correspondencia espectral asociada al polimetilpenteno (PMP). A diferencia del PE, este material presenta una menor representación en los antecedentes considerados en la investigación. Koyuncuoğlu y Erden (2023) y Hu et al. (2024), al abordar la composición de los microplásticos presentes en sistemas de aguas residuales, describen una mayor recurrencia de polímeros como PE, PP, PA, PET y PS. En este sentido, la correspondencia con PMP constituye una diferencia respecto a los polímeros reportados con mayor frecuencia en los antecedentes revisados. Sin embargo, el análisis realizado no permite atribuir este material a una fuente doméstica, industrial o de otro origen específico.

Figura 16

Comparación espectral μ Raman con referencia de nylon

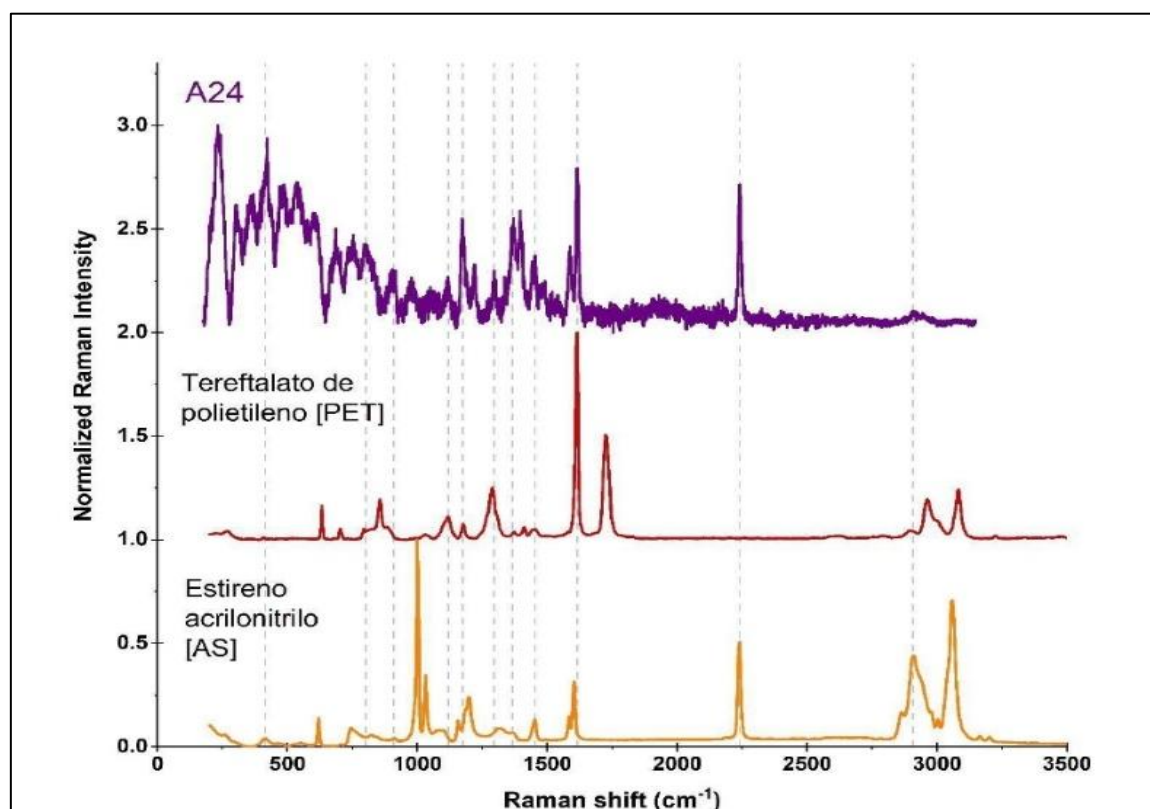


Fuente: Informe técnico CAM-NOV-047/2024 (Anexo II).

La Figura 16 presenta la comparación espectral correspondiente al nylon, material incluido posteriormente entre los potenciales candidatos determinados mediante la librería de polímeros. Este resultado guarda relación con Fuentes (2022), quien evaluó microplásticos en las aguas residuales de la PTAR Media Luna de Ilo e identificó poliamida/nylon entre los polímeros presentes. Asimismo, Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron microplásticos en el efluente de la PTAR San Jerónimo y en el río Huatanay, identificaron poliamida/nylon entre las composiciones poliméricas registradas. En el ámbito local, Espetia (2024), quien estudió microplásticos en aguas superficiales de los Uros, también identificó nylon entre los materiales encontrados. De esta manera, la comparación espectral obtenida en Lampa presenta similitud con polímeros previamente reportados tanto en aguas residuales como en ambientes acuáticos.

Figura 17

Comparación espectral μ Raman con referencia de naturaleza estirénica



Fuente: Informe técnico CAM-NOV-047/2024 (Anexo II).

En la Figura 17 debe diferenciarse la referencia mostrada en la comparación espectral de la interpretación final proporcionada por el laboratorio. La comparación gráfica incluye un material de referencia de naturaleza estirénica; sin embargo, en los resultados obtenidos mediante la librería espectral, el informe técnico señaló específicamente al poliestireno (PS) entre los potenciales candidatos. Por ello, para la interpretación de la composición polimérica se considera la denominación poliestireno, evitando utilizar estireno y poliestireno como términos equivalentes.

La identificación potencial de PS coincide con Chambi y Yanes (2023), quienes evaluaron microplásticos en las playas de Chifrón, Chatuma y Juli del lago Titicaca y registraron poliestireno en el 15% de las partículas caracterizadas. Asimismo, Espetia (2024), quien evaluó microplásticos en aguas superficiales de los Uros, identificó PS entre los polímeros encontrados. Estos antecedentes guardan relación con el resultado obtenido en Lampa respecto a la presencia potencial de este polímero; no obstante, las diferencias entre las matrices estudiadas y los procedimientos analíticos empleados no permiten realizar una comparación directa de su abundancia.

En conjunto, los resultados espectrales evidenciaron una diversidad en la composición de las muestras analizadas. Esta característica es consistente con Edo et al. (2020), quienes evaluaron la presencia y destino de microplásticos en diferentes etapas de una PTAR e identificaron diversos materiales, entre ellos PE, PP, poliéster y acrílico. Asimismo, Hu et al. (2024) señalan que las aguas residuales pueden contener diferentes tipos de polímeros debido a la variedad de materiales plásticos incorporados a los sistemas de alcantarillado. Por ello, la diversidad observada en Lampa puede estar relacionada con la heterogeneidad de los materiales presentes en las aguas residuales evaluadas.

4.3. Concentración de microplásticos

La concentración de microplásticos se determinó a partir del número de partículas identificadas y el volumen de agua procesado en cada muestra, correspondiente a 20 L por punto y día de muestreo. Los resultados fueron expresados en microplásticos por litro (MPs/L). La concentración promedio obtenida fue de 14.88 MPs/L en PM-1, correspondiente al efluente tratado de la PTAR; 11.97 MPs/L en PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga; y 5.74 MPs/L en PM-3, ubicado a 300 m del punto de descarga.

Tabla 5

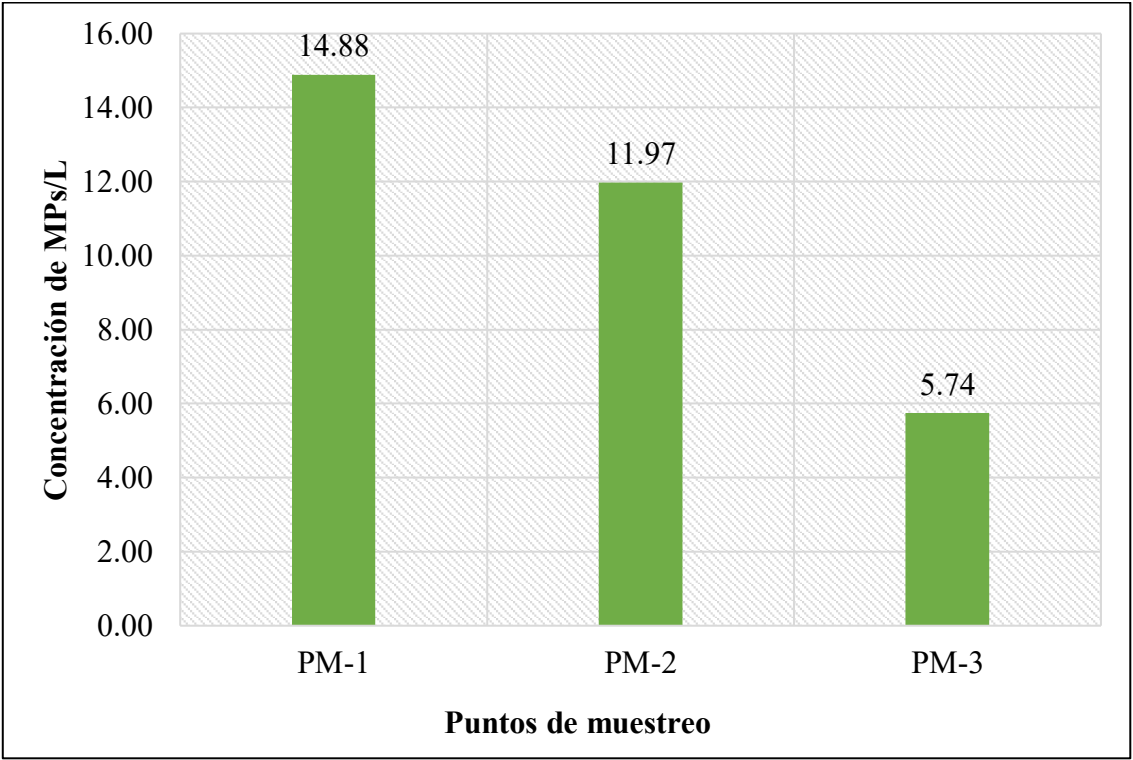
Concentración promedio de microplásticos

Punto de muestreo	Ubicación	Concentración (MPs/L)
PM-1	Efluente tratado de la PTAR	14.88
PM-2	Río Lampa, a 150 m del punto de descarga	11.97
PM-3	Río Lampa, a 300 m del punto de descarga	5.74

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 18

Concentración promedio de microplásticos según punto de muestreo



Fuente: Elaboración propia, 2025.

La Tabla 5 y la Figura 18 muestran que la mayor concentración promedio de microplásticos se registró en PM-1, correspondiente al efluente tratado de la PTAR de Lampa, con 14.88 MPs/L. En PM-2, ubicado a 150 m del punto de descarga en el río Lampa, la concentración disminuyó a 11.97 MPs/L, mientras que en PM-3, ubicado a 300 m, se registró el menor valor, con 5.74 MPs/L. Entre PM-1 y PM-3 se presentó una diferencia de 9.14 MPs/L, evidenciándose una disminución de la concentración a lo largo de los tres puntos evaluados en el tramo estudiado.

Respecto a las coincidencias, el resultado obtenido en PM-1 confirma, al igual que otros antecedentes, la presencia de microplásticos en efluentes tratados de PTAR. Fuentes, (2022), quien evaluó microplásticos en las aguas residuales de la PTAR Media Luna de Ilo, registró una concentración de 17.4 ± 1 MPs/L en el efluente, valor relativamente cercano a los 14.88 MPs/L obtenidos en el efluente de Lampa. Asimismo, Miserli y Konstantinou (2025), quienes determinaron las características y la concentración de microplásticos en el efluente y lodos de una PTAR municipal de Ioannina, Grecia, reportaron 5.8 ± 0.6 MPs/L en el efluente secundario. Aunque las concentraciones difieren entre las investigaciones, los resultados coinciden en evidenciar que los microplásticos permanecen presentes en el agua residual después del tratamiento.

En cuanto a la distribución espacial, Tapia y Sequeiros (2023), quienes evaluaron el efluente de la PTAR San Jerónimo y el río Huatanay mediante tres puntos de muestreo y siete repeticiones por punto, registraron un comportamiento diferente al observado en Lampa. En su investigación, las concentraciones aumentaron desde el punto asociado al efluente hacia los puntos ubicados en el río; en Lampa, en cambio, disminuyeron progresivamente desde 14.88 MPs/L en PM-1 hasta 5.74 MPs/L en PM-3. Esta diferencia muestra que la distribución espacial de los microplásticos no presentó el mismo comportamiento en ambos cuerpos receptores.

Asimismo, las concentraciones registradas en el río Lampa fueron superiores a las reportadas por Mamani (2025), quien evaluó microplásticos en aguas superficiales de la bahía interior del lago Titicaca y obtuvo valores entre 0.1 y 2.0 partículas/L. En comparación, PM-2 presentó 11.97 MPs/L y PM-3 5.74 MPs/L. Sin embargo, estos valores no son directamente equivalentes, debido a que Mamani (2025) estudió un ambiente lacustre, mientras que PM-2 y PM-3 correspondieron a un sistema fluvial ubicado aguas abajo de la descarga de una PTAR.

La disminución observada desde PM-1 hasta PM-3 puede estar relacionada con los procesos de transporte y distribución que experimentan los microplásticos después de ingresar al cuerpo receptor. Hu et al.(2024) señalan que características como el tamaño, la forma, la densidad y la composición polimérica pueden influir en el transporte, distribución y sedimentación de estas partículas en ambientes acuáticos. De manera similar, Egea-Corbacho et al. (2023) y Sheriff et al. (2023) indican que los microplásticos pueden experimentar procesos de transporte, dispersión, sedimentación y redistribución después de su incorporación a los sistemas acuáticos. En consecuencia, la disminución registrada en el tramo evaluado del río Lampa describe el comportamiento observado entre los puntos de muestreo, sin atribuirlo a un único proceso ambiental.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se identificaron las características físicas de los microplásticos presentes en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa y en los puntos evaluados del río Lampa. Según su forma, predominaron las fibras en los tres puntos de muestreo, con 53.05% en PM-1, 59.73% en PM-2 y 63.31% en PM-3; las espumas representaron 41.19%, 34.61% y 29.98%, respectivamente, mientras que los fragmentos presentaron las menores proporciones, con 5.76%, 5.67% y 6.72%. Respecto al color, el blanco fue predominante, con 41.33% en PM-1, 34.61% en PM-2 y 29.98% en PM-3, seguido principalmente por el azul y el negro. En cuanto al tamaño, predominaron los microplásticos menores de 0.5 mm, con 80.22% en PM-1, 74.76% en PM-2 y 75.49% en PM-3. Estos resultados establecen que las principales características físicas de los microplásticos encontrados fueron la forma de fibra, el color blanco y el tamaño menor de 0.5 mm.

Se identificó la composición polimérica de las partículas seleccionadas mediante microespectroscopía Raman (μ Raman). El análisis espectral mostró bandas características asociadas al polietileno (PE) y al polimetilpenteno (PMP), mientras que la comparación con la librería espectral utilizada por el laboratorio señaló al polietileno (PE), poliestireno (PS) y nylon como potenciales candidatos poliméricos. Por consiguiente, la caracterización μ Raman permitió establecer cualitativamente la naturaleza polimérica de las partículas analizadas, sin determinar porcentajes de abundancia ni un polímero predominante.

Se cuantificó la concentración de microplásticos en los tres puntos evaluados, obteniéndose 14.88 MPs/L en PM-1, 11.97 MPs/L en PM-2 y 5.74 MPs/L en PM-3. La mayor concentración correspondió al efluente tratado de la PTAR de Lampa y la menor al punto ubicado a 300 m de la descarga, determinándose una disminución de 9.14 MPs/L entre PM-1 y PM-3. Por lo tanto, durante el periodo evaluado se estableció la presencia de microplásticos tanto en el efluente tratado como en los puntos estudiados del río Lampa, con una disminución de su concentración a lo largo del tramo evaluado.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a la entidad responsable de la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa implementar el monitoreo periódico de microplásticos en el efluente tratado, considerando su concentración, forma, tamaño, color y composición polimérica, con la finalidad de generar información temporal que permita conocer su variación y comportamiento.

Se recomienda que futuras investigaciones amplíen el monitoreo de microplásticos considerando el afluente y el efluente de la PTAR, así como puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del vertimiento en el río Lampa. Esto permitirá diferenciar el aporte procedente de la PTAR de la presencia previa de microplásticos en el cuerpo receptor y evaluar su comportamiento espacial.

Se recomienda ampliar la identificación de la composición polimérica mediante μ Raman u otra técnica espectroscópica complementaria a un mayor número de partículas, debido a que en la presente investigación el análisis instrumental se realizó sobre ocho muestras seleccionadas. Una mayor cobertura analítica permitiría determinar con mayor representatividad los tipos de polímeros presentes y, cuando el diseño analítico lo permita, establecer su distribución relativa.

Se recomienda que futuras investigaciones incorporen variables del cuerpo receptor, como caudal, velocidad de corriente, profundidad y características del sedimento, junto con el análisis de microplásticos en agua y sedimento. Esto permitiría evaluar los procesos asociados con las diferencias de concentración observadas entre los puntos de muestreo, los cuales no fueron determinados directamente en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, S. F., Islam, N., Tasannum, N., Mehjabin, A., Momtahir, A., Chowdhury, A. A., Almomani, F., & Mofijur, M. (2024). Microplastic removal and management strategies for wastewater treatment plants. *Chemosphere*, 347, 140648. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140648>
- Al-Amri, A., Yavari, Z., Reza Nikoo, M., & Karimi, M. (2024). Microplastics removal efficiency and risk analysis of wastewater treatment plants in Oman. *Chemosphere*, 359, 142206. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142206>
- Al-Azzawi, M. S. M., Funck, M., Kunaschk, M., der Esch, E. Von, Jacob, O., Freier, K. P., Schmidt, T. C., Elsner, M., Ivleva, N. P., Tuerk, J., Knoop, O., & Drewes, J. E. (2022). Microplastic sampling from wastewater treatment plant effluents: Best-practices and synergies between thermoanalytical and spectroscopic analysis. *Water Research*, 219, 118549. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118549>
- Al-Azzawi, M. S. M., Knoop, O., & Drewes, J. E. (2022). Validation of sample preparation methods for small microplastics ($\leq 10 \mu\text{m}$) in wastewater effluents. *Chemical Engineering Journal*, 446, 137082. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137082>
- Alimi, O. S., Claveau-Mallet, D., Kurusu, R. S., Lapointe, M., Bayen, S., & Tufenkji, N. (2022). Weathering pathways and protocols for environmentally relevant microplastics and nanoplastics: What are we missing? *Journal of Hazardous Materials*, 423, 126955. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126955>
- Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M. P., & Ribeiro-Claro, P. J. A. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. *Water Research*, 142, 426–440. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.060>
- Arslan, A., Topkaya, E., Sezer, M., Aksan, S., & Veli, S. (2024). Investigation of microplastics in advanced biological wastewater treatment plant effluent. *Marine*

- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales*. https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/turismo/asuntos_ambientales_turisticos/Normas_Ambientales/Normas_Ambientales_Transversales/Recursos_Hidricos/RJN_010_2016_ANA.pdf
- Ayankunle, A. Y., Buhhalko, N., Pachel, K., Lember, E., Drenkova-Tuhtan, A., & Heinlaan, M. (2025). Microplastics in Estonian wastewater treatment plants: First evaluation of baseline concentrations and stage-wise removal efficiency. *Aquatic Toxicology*, 281, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2025.107305>
- Bao, R., Wang, Z., Qi, H., Mehmood, T., Cai, M., Zhang, Y., Yang, R., Peng, L., & Liu, F. (2022). Occurrence and distribution of microplastics in wastewater treatment plant in a tropical region of China. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131454. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131454>
- Bayo, J., López-Castellanos, J., Olmos, S., & Rojo, D. (2023). Characterization and removal efficiencies of microplastics discharged from sewage treatment plants in Southeast Spain. *Water Research*, 244, 120479. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120479>
- Becucci, M., Mancini, M., Campo, R., & Paris, E. (2022). Microplastics in the Florence wastewater treatment plant studied by a continuous sampling method and Raman spectroscopy: A preliminary investigation. *Science of The Total Environment*, 808, 152025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152025>
- Carnevale Miino, M., Galafassi, S., Zullo, R., Torretta, V., & Rada, E. C. (2024). Microplastics removal in wastewater treatment plants: A review of the different approaches to limit their release in the environment. *Science of The Total Environment*, 930, 172675. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172675>
- Chakraborty, I., Banik, S., Biswas, R., Yamamoto, T., Noothalapati, H., & Mazumder, N.

- (2023). Raman spectroscopy for microplastic detection in water sources: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(9), 10435–10448. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04505-0>
- Chambi, J. S., & Yanes, C. E. (2023). *Presencia de microplásticos en playas del Lago Titicaca, Puno - 2023* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/142807/Chambi_HJS-Yanes_MCE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Deng, L., Yuan, Y., Xi, H., Wan, C., & Wu, C. (2025). Treated wastewater disturb the distributions of microplastics in their receiving watersheds. *Journal of Environmental Management*, 374, 124096. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124096>
- Du, H., Ma, H., & Xing, B. (2022). Identification of naturally weathering microplastics and their interactions with ion dyes in aquatic environments. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113186. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113186>
- 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>
- Egea-Corbacho, A., Martín-García, A. P., Franco, A. A., Quiroga, J. M., Andreasen, R. R., Jørgensen, M. K., & Christensen, M. L. (2023). Occurrence, identification and removal of microplastics in a wastewater treatment plant compared to an advanced MBR technology: Full-scale pilot plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 109644. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109644>
- Espetia, F. D. (2024). *Determinación de la presencia de microplásticos en los Uros y su bioacumulación en trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss) Puno – 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://hdl.handle.net/20.500.14845/121>
- Fuentes, D. J. (2022). *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 de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua].
<https://repositorio.unam.edu.pe/items/7beddbc4-52a7-4c25-85f2-d18b12380845>

Google. (2025). *Google Earth*. Google Earth. <https://earth.google.com/>

Hu, E., Sun, C., Yang, F., Wang, Y., Hu, L., Wang, L., Li, M., & Gao, L. (2022). Microplastics in 48 wastewater treatment plants reveal regional differences in physical characteristics and shape-dependent removal in the transition zone between North and South China. *Science of The Total Environment*, 834, 8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155320>

Hu, Z., Sun, Y., Zhou, J., Sun, W., & Shah, K. J. (2024). Microplastics in wastewater plants: A review of sources, characteristics, distribution and removal technologies. *Journal of Contaminant Hydrology*, 267, 104448. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104448>

Hwang, J., Choi, D., Han, S., Choi, J., & Hong, J. (2019). An assessment of the toxicity of polypropylene microplastics in human derived cells. *Science of The Total Environment*, 684, 657–669. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.071>

Jave, M. G., & Ordinola, J. T. (2024). *Evaluación de presencia de microplásticos en etapas de pre y post tratamiento en PTAR Cortijo y Covicorti en Trujillo, 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiang, L., Chen, M., Huang, Y., Peng, J., Zhao, J., Chan, F., & Yu, X. (2022). Effects of different treatment processes in four municipal wastewater treatment plants on the transport and fate of microplastics. *Science of the Total Environment*, 831, 154946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154946>

Kittipongvises, S., Phetrak, A., Hongprasith, N., & Lohwacharin, J. (2022). Unravelling capability of municipal wastewater treatment plant in Thailand for microplastics:

- Effects of seasonality on detection, fate and transport. *Journal of Environmental Management*, 302, 113990. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113990>
- Koyuncuoğlu, P., & Erden, G. (2023). Microplastics in municipal wastewater treatment plants: a case study of Denizli/Turkey. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 17(8), 99. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1699-8>
- Kurniawan, S. B., Said, N. S. M., Imron, M. F., & Abdullah, S. R. S. (2021). Microplastic pollution in the environment: Insights into emerging sources and potential threats. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101790. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101790>
- Le, L.-T., Nguyen, K.-Q. N., Nguyen, P.-T., Duong, H. C., Bui, X.-T., Hoang, N. B., & Nghiem, L. D. (2022). Microfibers in laundry wastewater: Problem and solution. *Science of The Total Environment*, 852, 158412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158412>
- Lee, J.-H., Kim, M.-J., Kim, C.-S., Cheon, S.-J., Choi, K.-I., Kim, J., Jung, J., Yoon, J.-K., Lee, S.-H., & Jeong, D.-H. (2023). Detection of microplastic traces in four different types of municipal wastewater treatment plants through FT-IR and TED-GC-MS. *Environmental Pollution*, 333, 122017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122017>
- Lee, J. H., Kim, M. J., Kim, C. S., Cheon, S. J., Choi, K. I., Kim, J., Jung, J., Yoon, J. K., Lee, S. H., & Jeong, D. H. (2023). Detection of microplastic traces in four different types of municipal wastewater treatment plants through FT-IR and TED-GC-MS. *Environmental Pollution*, 333, 122017. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122017>
- Long, Z., Pan, Z., Wang, W., Ren, J., Yu, X., Lin, L., Lin, H., Chen, H., & Jin, X. (2019). Microplastic abundance, characteristics, and removal in wastewater treatment plants in a coastal city of China. *Water Research*, 155, 255–265. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.028>
- Maleka, T., Greenfield, R., Muniyasamy, S., & Modley, L.-A. (2024). An overview on the

characterization of microplastics (MPs) in waste water treatment plants (WWTPs). *Sustainable Water Resources Management*, 10(5), 182.
<https://doi.org/10.1007/s40899-024-01157-5>

Mamani, E. G. (2025). *Nivel de contaminación por microplásticos del agua en la bahía interior del Lago Titicaca, Puno 2025* [Tesis de pregrado, Universidad Privada San Carlos].

https://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14891/1750/Edward_Gregory_MAMANI_CCORI.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Mathew, J., Pulicharla, R., Rezai, P., & Brar, S. K. (2024). Microplastics in wastewaters: Pretreatment to detection trail. *Journal of Water Process Engineering*, 64, 105702.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105702>

Mendo, L. N. (2025). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lampa, Puno 2024*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada San Carlos].
<http://repositorio.upsc.edu.pe:8080/handle/UPSC/1129>

Mendrik, F., Hackney, C. R., Cumming, V. M., Waller, C., Hak, D., Dorrell, R., Hung, N. N., & Parsons, D. R. (2025). The transport and vertical distribution of microplastics in the Mekong River, SE Asia. *Journal of Hazardous Materials*, 484, 136762.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136762>

Mesquita, D. P., Quintelas, C., & Ferreira, E. C. (2023). Fate and occurrence of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Science: Advances*, 2(12), 1616–1628.
<https://doi.org/10.1039/D3VA00167A>

Ministerio de Vivienda, C. y S. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*.
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/>

Miserli, K., & Konstantinou, I. (2025). Determination of microplastics in municipal

wastewater treatment plant effluents and sludge using micro-Raman spectroscopy. *Water Emerging Contaminants & Nanoplastics*, 4(1). <https://doi.org/10.20517/wecn.2024.72>

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

Ormaniec, P. (2024). Occurrence and analysis of microplastics in municipal wastewater, Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(37), 49646–49655. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34488-z>

Pacori, J. (2024). *Evaluacion de la eficiencia y alternativa de solucion de la planta de tratamiento de aguas residuales en Lampa* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Altiplano]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parashar, N., & Hait, S. (2023). Recent advances on microplastics pollution and removal from wastewater systems: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 340, 118014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118014>

Priyanka, R., & Govindarajulu, B. (2023). Transportation of microplastics from the rural area into the urban area of the Kosasthalaiyar River in the metropolitan city of Chennai. *Regional Studies in Marine Science*, 66, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103151>

Sheriff, I., Yusoff, M. S., & Halim, H. B. (2023). Microplastics in wastewater treatment plants: A review of the occurrence, removal, impact on ecosystem, and abatement measures. *Journal of Water Process Engineering*, 54, 104039. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.104039>

Sol, D., Solís-Balbín, C., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2023). A standard analytical

- approach and establishing criteria for microplastic concentrations in wastewater, drinking water and tap water. *Science of the Total Environment*, 899, 165356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165356>
- 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>
- Tapia, E. L., & Sequeiros, I. (2023). *Evaluación de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales – San Jerónimo para identificar la presencia de microplásticos, Cusco 2023* [Universidad Andina del Cusco]. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6030?show=full>
- Wolff, S., Kerpen, J., Prediger, J., Barkmann, L., & Müller, L. (2019). Determination of the microplastics emission in the effluent of a municipal waste water treatment plant using Raman microspectroscopy. *Water Research X*, 2, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2018.100014>
- Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science & Technology*, 51(12), 6634–6647. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423>
- Yang, F., Li, D., Zhang, Z., Wen, L., Liu, S., Hu, E., Li, M., & Gao, L. (2022). Characteristics and the potential impact factors of microplastics in wastewater originated from different human activity. *Process Safety and Environmental Protection*, 166, 8. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.048>
- Yaseen, A., Assad, I., Sofi, M. S., Hashmi, M. Z., & Bhat, S. U. (2022). A global review of microplastics in wastewater treatment plants: Understanding their occurrence, fate and impact. *Environmental Research*, 212, 113258. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113258>
- 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>

Zhao, X., Wang, J., Yee Leung, K. M., & Wu, F. (2022). Color: An Important but Overlooked Factor for Plastic Photoaging and Microplastic Formation. *Environmental Science and Technology*, 56(13), 9161–9163. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02402>

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 I. Solicitud de ingreso a la PTAR Lampa para la toma de muestras

“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

SOLICITO: PERMISO DE ACCESO A LA PTAR PARA EJECUCION DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Heraclides Ojeda Huarilloclla
ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LAMPA

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL LAMPA			
TRAMITE DOCUMENTARIO			
ENTREGADO A MECA DE PARTES			
17 SEP 2024			
E.XP.ID	FOLIO	HORA	FIRMA
5764	03	11:40	

Yo, CINTHIA PAMELA MAIHUA HUANCA, identificado con DNI N° 77052964, con domicilio en la Jr. San Marcos Mz “F” Lt “11”, del distrito de Juliaca con numero de celular 950478887. Con el debido respeto me presento y expongo lo siguiente:

Que, habiendo culminado la carrera profesional de Ingeniera Ambiental y Forestal, en la Universidad Nacional de Juliaca, habiéndose aprobado el proyecto de tesis titulado: “Caracterización de microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Lampa – 2024”; y entrando a la etapa de ejecución solicito a Ud. **PERMISO DE ACCESO A LA PTAR PARA EJECUCION DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** (tomar muestras del efluente de la PTAR y puntos específicos del río Lampa), para lo cual adjunto los siguientes documentos:

- Acta de aprobación de proyecto de tesis
- Copia de DNI

Por lo expuesto,

Ruego a Ud. acceder a mi petición por ser de justo derecho.

Lampa, 17 de septiembre del 2024.

ATENTAMENTE,



Bach. Cinthia Pamela Maihua Huanca
DNI: 77052964

ANEXO II. Informe del análisis químico mediante espectroscopia Raman



CAM-NOV-047/2024

INFORME TÉCNICO

Número Total de Páginas:10

SOLICITADO POR : CINTHIA PAMELA MAIHUA HUANCA.
MUESTRA : 8 muestras.
REALIZADO POR : MSc. Miguel Piñeiro Sales.
FECHA DE EMISIÓN: 06.12.2024.



I. INTRODUCCIÓN

A pedido del solicitante se ha realizado el análisis de 8 muestras por espectroscopia μ Raman con la finalidad de identificar las frecuencias vibracionales características de los enlaces o moléculas presentes en la muestra, en este caso, permitiendo identificar materiales orgánicos. Las muestras fueron clasificadas en un grupo denominado **A** para facilitar la identificación de cada muestra. El solicitante indica que las muestras podrían ser microplásticos.

El presente informe contiene el procedimiento empleado para el análisis, así como los resultados del mismo.

II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para identificar los compuestos presentes en las muestras por medio del análisis de espectroscopia μ Raman se procedió a utilizar un objetivo de 50x y 100x con el fin de localizar cada muestra. Se midió en diferentes puntos de la muestra, con el fin de reproducir el espectro Raman. Se utilizaron diferentes longitudes de onda de excitación, i.e. 514 nm, 785 nm y 633 nm correspondientes a un láser de Argón, Diodo laser de AsGa y láser de Helio-Neón, respectivamente, con el fin de identificar las mejores condiciones para obtener la señal Raman. La longitud de onda de excitación que mostró la mejor relación señal-ruido fue la de 785 nm. Las medidas se realizaron con un objetivo de 50x o 100x, dependiendo del tamaño de la muestra.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales


.....
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe

Centro de Caracterización de Materiales CAMPUCP
Dirección: Av. Universitaria 1801, pabellón O - Campus PUCP
Teléfono: 511-6262000 anexo: 7740 - 7741
Email: cam@pucp.edu.pe



CAMPUCP

Contacto:
Elvira Oliden
Email: eoliden@pucp.edu.pe

III. RESULTADOS

La **Figura 1** presenta una fotografía de las 8 muestras del **Grupo A** utilizadas para las medidas de espectroscopia μ Raman. Para una fácil identificación de las muestras se procedió a distribuirlas en una matriz de 4x4. Por ejemplo, la muestra A12 representa la muestra de la fila 1 columna 2. Las **Figuras 2-9** presentan los espectros de corrimiento Raman para cada muestra, junto con los potenciales compuestos identificados para cada muestra cuando ha sido posible identificarlos. El eje vertical representa la intensidad Raman normalizada, mientras que el eje horizontal representa el corrimiento Raman en cm^{-1} . Además, es importante señalar que esta técnica tiene resolución espacial por lo que se midieron diferentes zonas para intentar revelar bandas características de algún compuesto adicional.

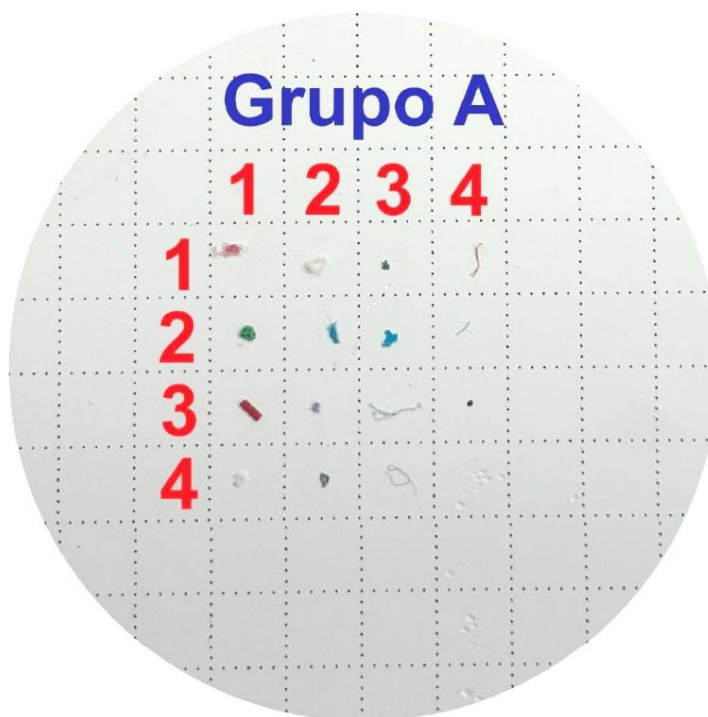


Figura 1. Imagen de las 8 muestras del **Grupo A** analizadas por μ Raman.

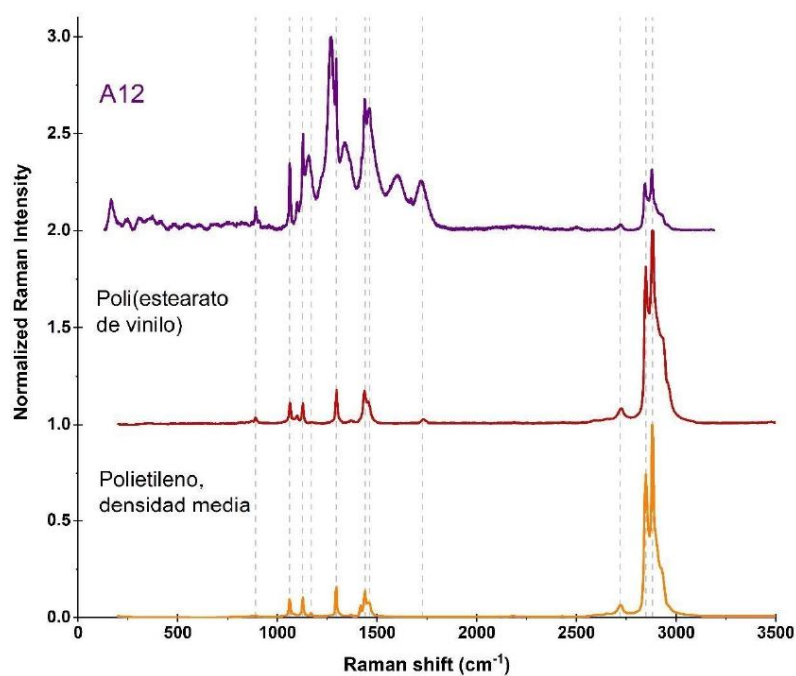


Figura 2. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A12**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

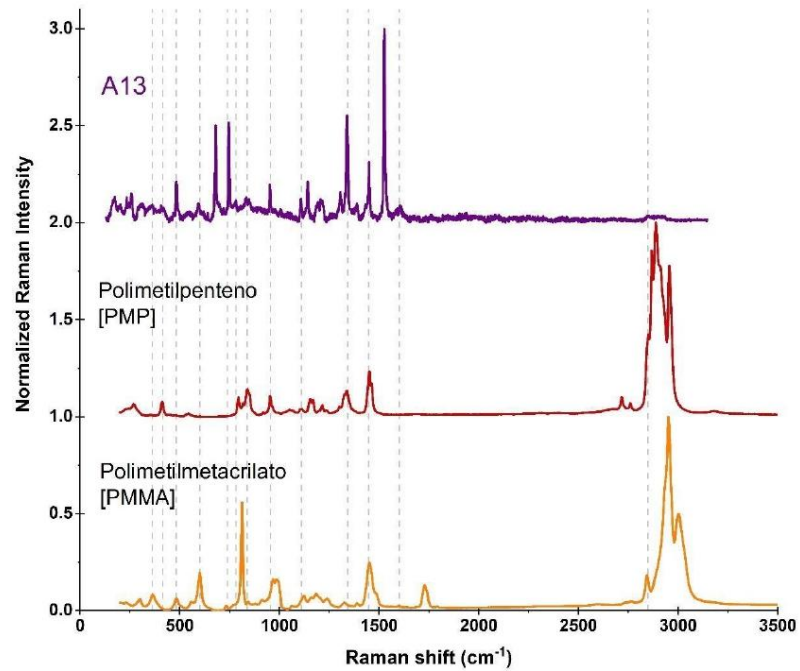


Figura 3. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A13**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polimetilpenteno.

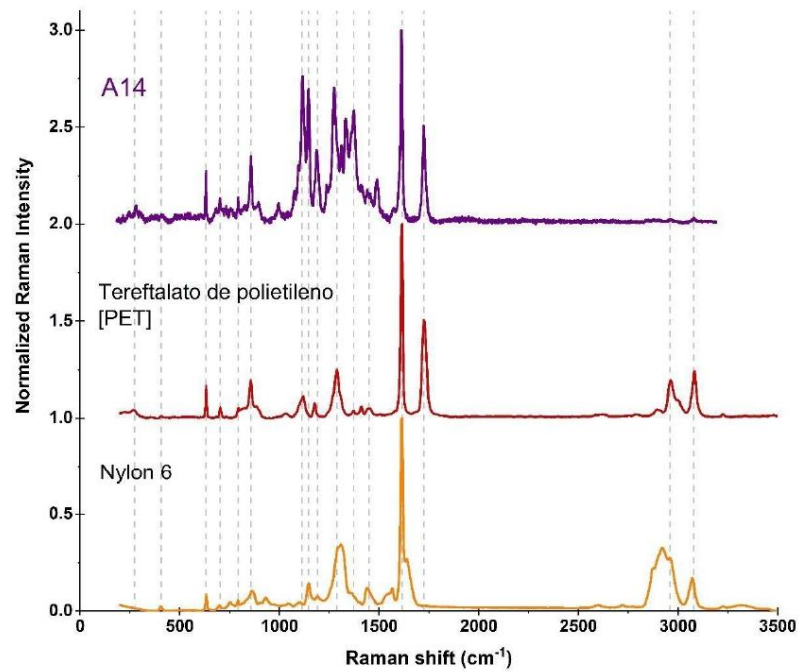


Figura 4. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A14**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como nylon.

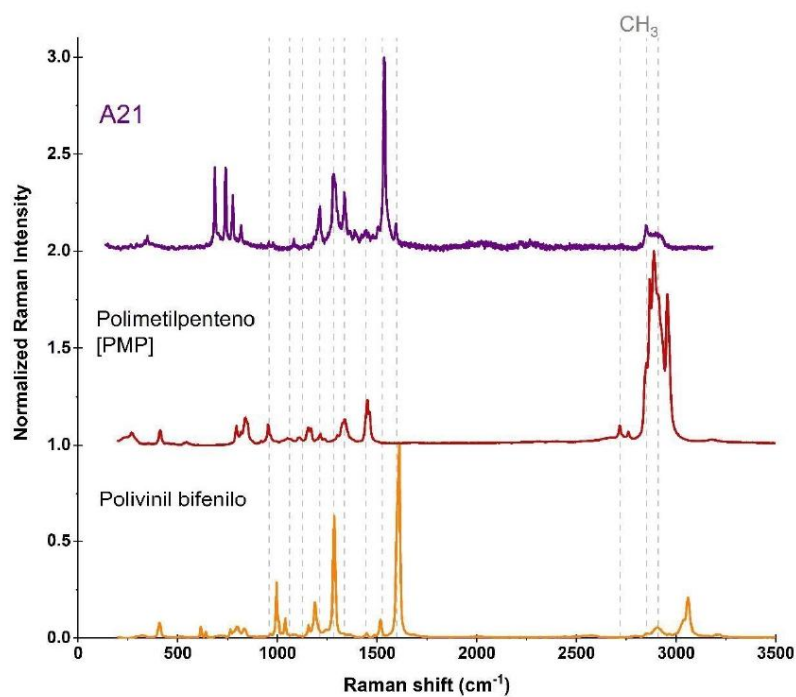


Figura 5. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra A21. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polimetilpenteno.

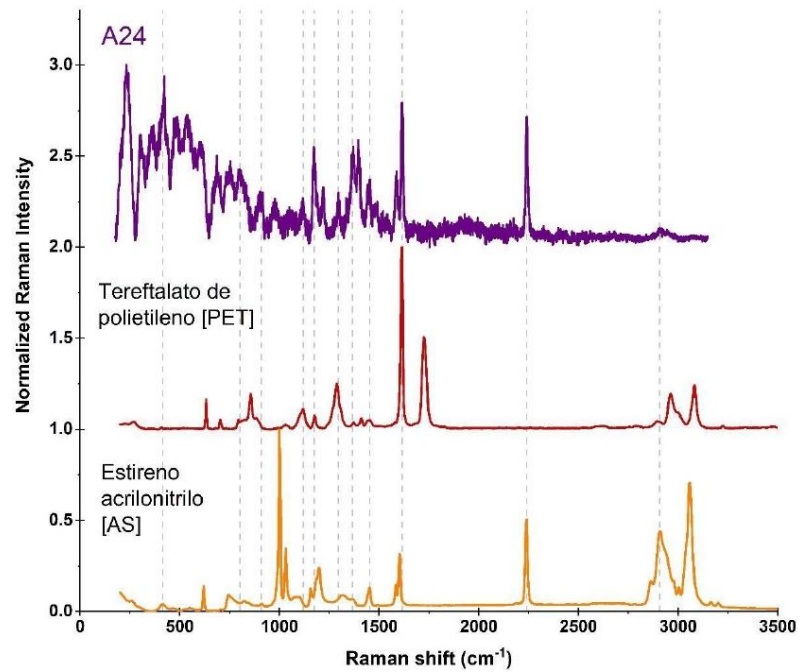


Figura 6. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A24**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como estireno.

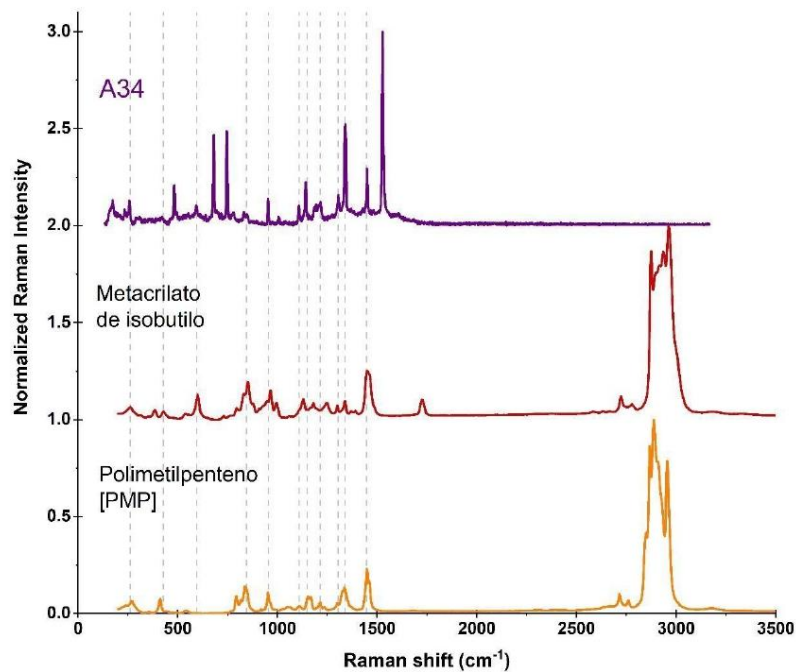


Figura 7. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A34**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polimetilpenteno.

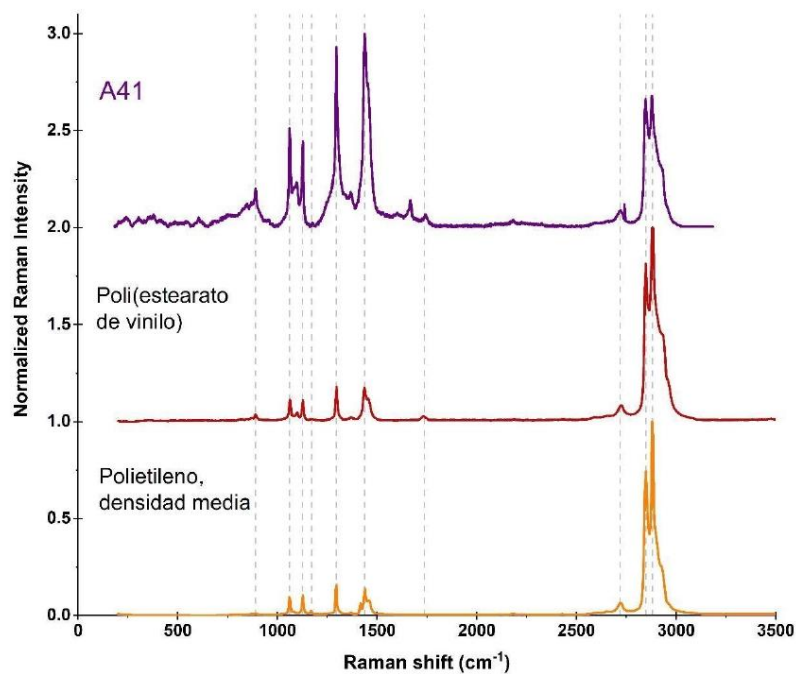


Figura 8. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra **A41**. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

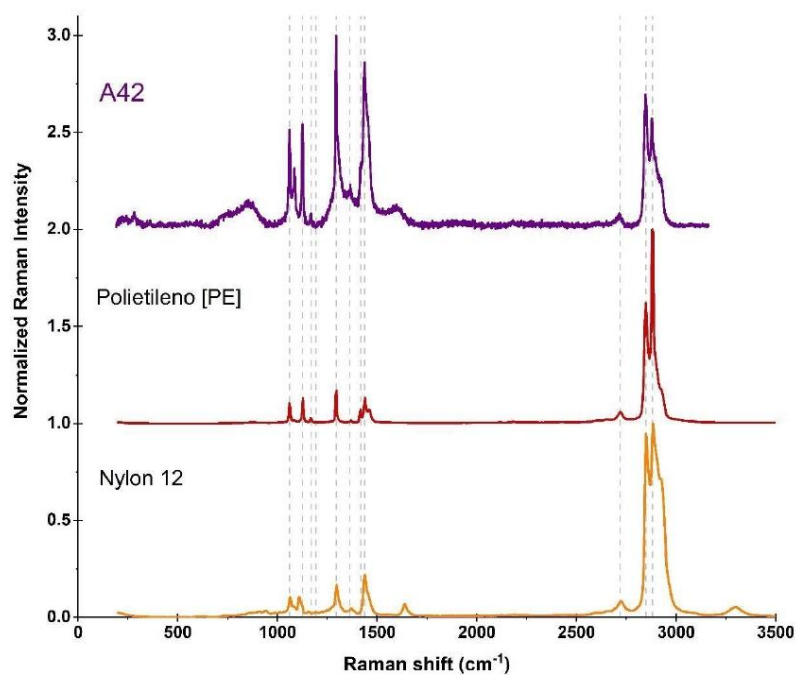


Figura 9. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra A42. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

IV. CONCLUSIONES

Se midieron los espectros de corrimiento Raman con resolución micrométrica de 8 muestras del **Grupo A**. Al analizar las diferentes muestras se logró observar las bandas vibracionales características de los enlaces CH_2 en 1440 cm^{-1} y en 2880 cm^{-1} para el polietileno, además de los enlaces CH_3 en 2854 cm^{-1} para el polimetilpenteno. Usando la librería de polímeros, se identificaron como potenciales candidatos de polímeros al polietileno, poliestireno y nylon.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



ANEXO III. Panel fotográfico

Puntos de muestreo



Foto 1 *Punto de muestreo 1, efluente de la PTAR Lampa*



Foto 2 *Punto de muestreo 2, efluente de la PTAR Lampa*



Foto 3 *Punto de muestreo 3, efluente de la PTAR Lampa*

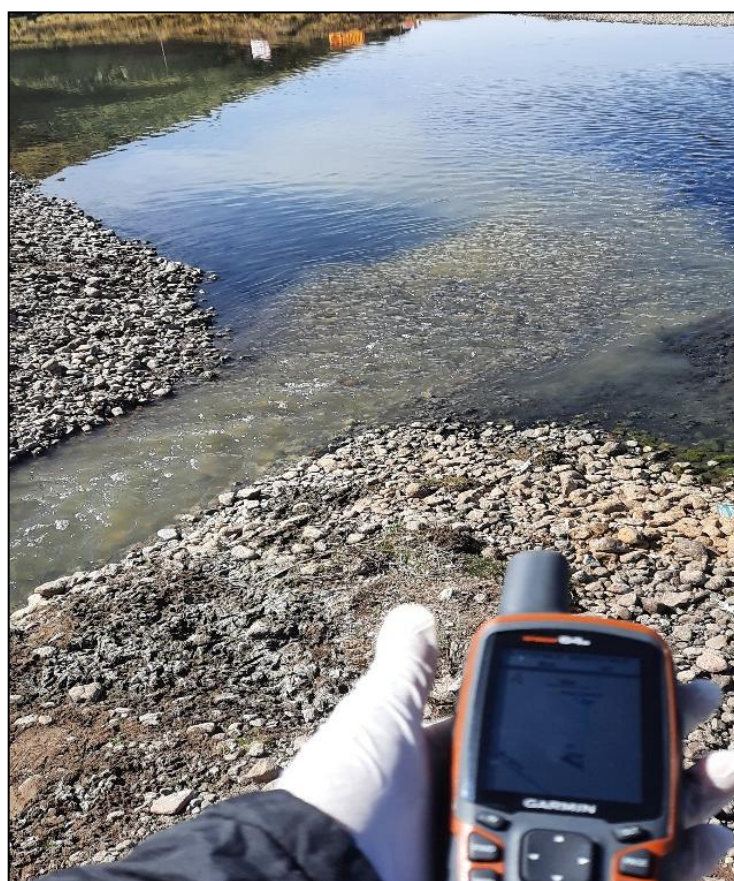


Foto 4 *Coordenadas de punto de muestreo*

Colección de muestras en campo



Foto 5 Toma de muestra en el efluente de la PTAR Lampa

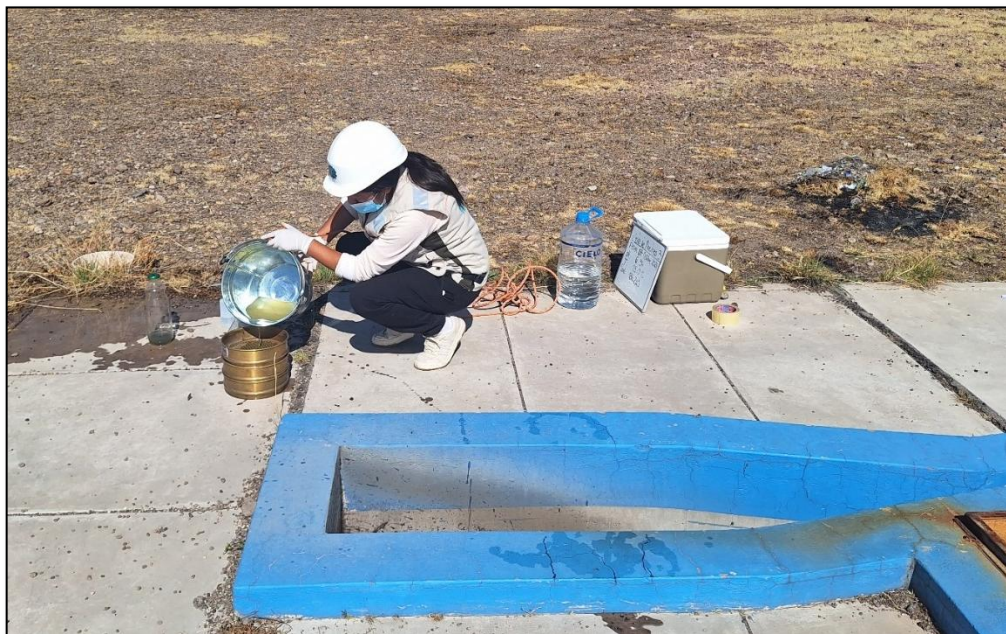


Foto 6 Filtrado de muestras de agua en tamices de acero inoxidable



Foto 7 Almacenamiento de muestras filtradas con agua destilada



Foto 8 Tamices de acero inoxidable

Pretratamiento de las muestras



Foto 9 Digestión de muestras de agua con peróxido de hidrógeno al 30%



Foto 10 Filtrado de muestras luego de la digestión con H_2O_2 30%

Separación por densidad de las muestras



Foto 11 Muestras luego de la digestión, para la separación por densidad con NaCl

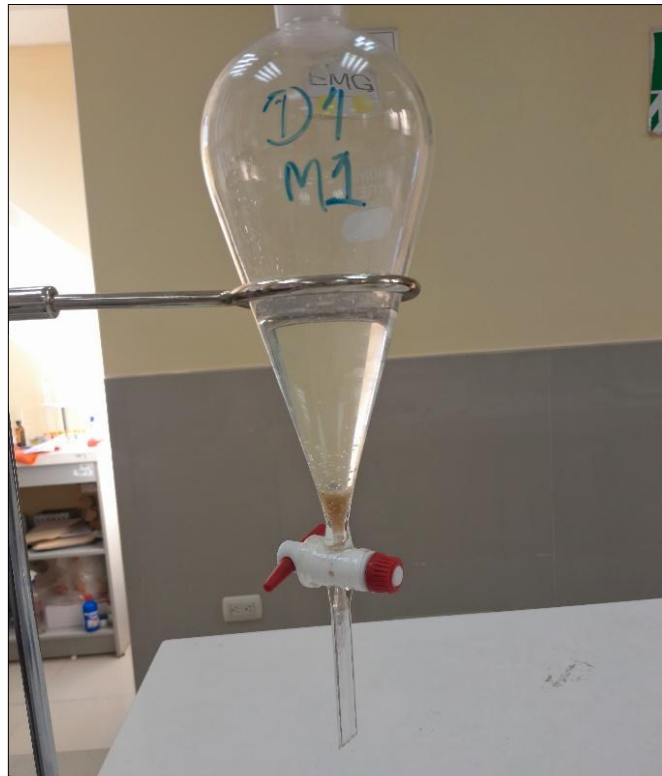


Foto 12 Separación por densidad durante 24 horas

Caracterización de microplásticos



Foto 13 *Identificación de características físicas forma, color, tamaño y concentración*



Foto 14 *Observación visual mediante estereoscopio Leica Microsystems*

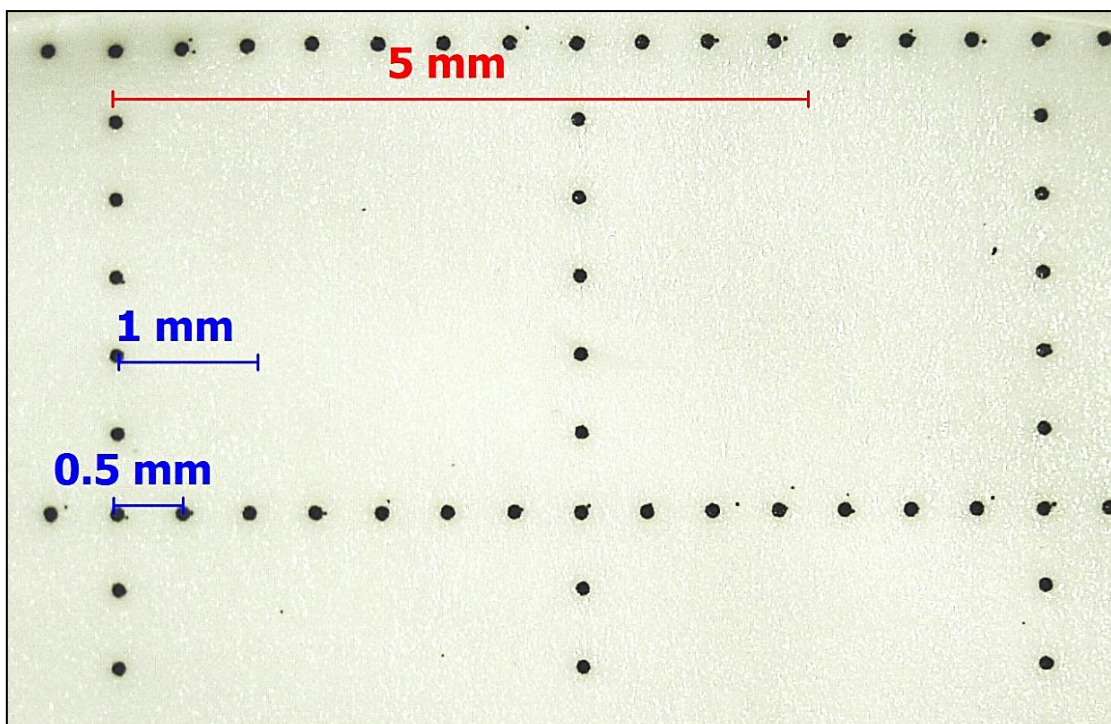


Foto 15 *Rango de tamaños de microplásticos para clasificación*

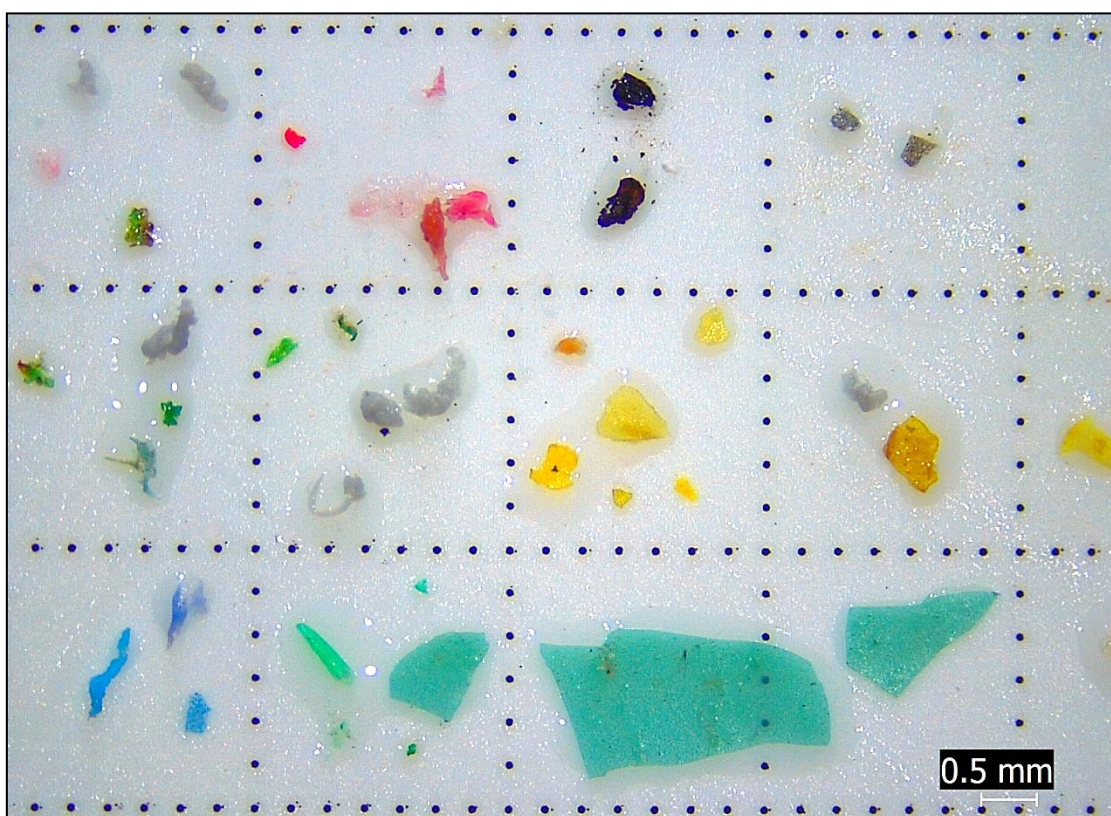


Foto 16 *Microplásticos encontrados en forma fragmento*

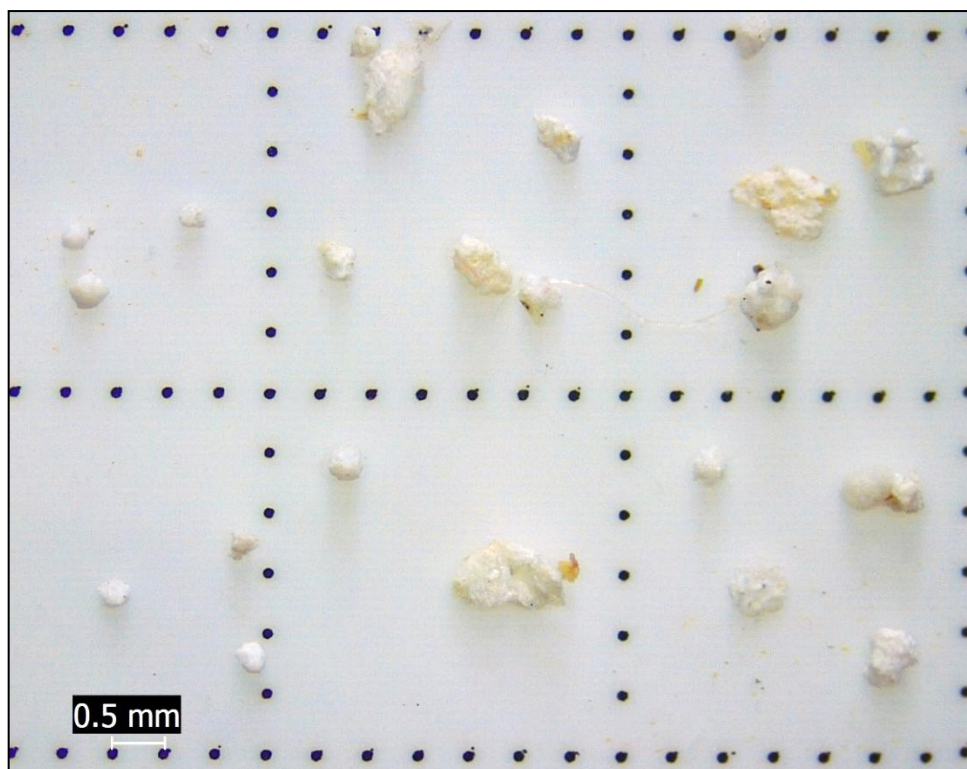


Foto 17 *Microplásticos encontrados en forma espuma*

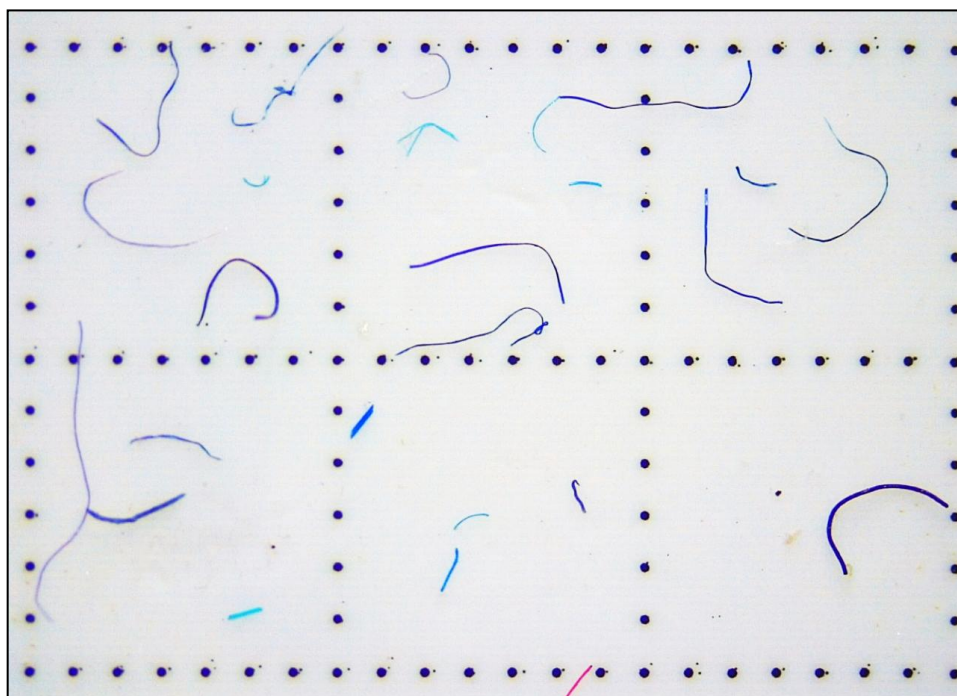


Foto 18 *Microplásticos encontrados de forma fibra*

ANEXO IV. Registro de características de lo microplásticos

		FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS											
TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"													
REALIZADO POR:						EQUIPO UTILIZADO:							
Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela						ESTEROSCOPIO LEICA							
LABORATORIO: ECOLOGIA				MUESTRA: PM1 - DIA 1				FECHA: 05 de noviembre del 2024					
PM 1	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración	
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO				
	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	22	17	72	2	1			114		192
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	20	13	16	2				51		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	12	5	8	1	1			27		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	1	3	1		2	1		8		11
		CLASE 2	0.5mm - 1mm				1		2		3		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm								—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm					158			158		158
		CLASE 2	0.5mm - 1mm								—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm								—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2 - DIA 1

FECHA: 05 de noviembre del 2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	33	17	45		1		96	182	313
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	17	9	20				46		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	13	12	15				40		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm					2		2	3	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm			1				1		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						128	128	128	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3 - DIA 1

FECHA: 06/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 3	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	15	4	40		1		60	112	131
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	8	3	22				33		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	5	12	2				19		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3						3	3	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						16	16	16	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1-DIA2

FECHA: 06/11/24

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	57	22	76	3	1		159	226	386
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	20	15	14				49		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	3	5	10				18		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	4	4	1				9	14	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	1			1			2		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	1			2			3		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						146	146	146	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2-DIA 2

FECHA: 07/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	25	20	49	1	1		96	176	275
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	19	14	24	1			58		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	5	6	11				22		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3			2			5	5	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						94	94	94	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1 - DIA 1

FECHA: 05 de noviembre del 2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	22	17	72	2	1		114	192	361
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	20	13	16	2			51		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	12	5	8	1	1		27		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	1	3	1		2	1	8	11	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm				1		2	3		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm					158		158	158	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1-DIA3

FECHA: 08/11/24

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	30	12	29	2	1		74	127	247
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	15	5	10	1			31		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	7	6	9				22		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	6	6			6		18	18	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						102	102	102	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2-DIA3

FECHA: 08/11/24

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	22	4	15	2			43	60	133
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	6	1	3				10		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	6		1				7		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3	1		3	2		9	10	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm									
		CLASE 3	1 mm - 5 mm					1		1		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						63	63	63	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm									
		CLASE 3	1 mm - 5 mm									



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3-DIA3

FECHA: 19/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 3	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	15	5	11				31	53	130
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	5	3	9				17		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	4		1				5		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	5		1	1	1		8	8	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						69	69	69	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1-DIA 4

FECHA: 19/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	30	9	15	3	2		59	103	280
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	15	4	7				26		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	6	3	8		1		18		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	11	1		10	4		26	26	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						151	151	151	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2 - DIA4

FECHA: 20/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	33	5	32				70	111	203
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	10	5	10				25		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	7	2	6	1			16		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3	2		2	1		8	8	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						84	84	84	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3-DIA4

FECHA: 20/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 3	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	21	1	7	14			43	56	108
		CLASE 2	0.5mm - 1mm		1	3	1			5		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	1	1	5	1			8		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	1	1		3			5	5	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						47	47	47	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1 - DIA 5

FECHA: 21/11/24

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	45	11	18	5	2		81	105	210
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	5	2	4	2	1		14		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	5	2	2		1		10		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3	4		4			11	11	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						94	94	94	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2-DIA5

FECHA: 21/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	37	11	24				72	154	222
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	19	9	17	1	1		47		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	16	10	9				35		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	11	10		2	7		30	30	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						38	38	38	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3- DIA5

FECHA: 22/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	17		25	4			46	64	92
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	4	4	2				10		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	2	4	2				8		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	2			4			6	6	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						22	22	22	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM1 - DIA6

FECHA: 22/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	67	12	44	2			125	199	324
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	30	10	14		1		55		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	10	6	3				19		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm		2	2	1			5	6	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm		1					1		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						122	122	122	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2- DIA6

FECHA: 26/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILO	BLANCO			
PM2	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	64	29	57	1	1		152	204	330
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	22	6	8	2			38		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	4	3	7				14		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	12	3		4	4		23	24	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm		1					1		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						102	102	102	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							-		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							-		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3-DIAG

FECHA: 26/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM3	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	29	5	6	6			46	74	118
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	12	4	2				18		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	6	2	2				10		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	7				2		9	12	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	2						2		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	1						1		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						32	32	32	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PH1 - DIA 7

FECHA: 27/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM 1	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	40	19	27	2	2		90	153	272
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	28	9	6		2		45		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	10		5	1	2		18		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	9	16	1	1	7		34	34	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						85	85	85	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM2 - DIA7

FECHA: 27/11/2024

PM	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	24	16	8	1	3		52	114	200
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	14	6	9	0	1		30		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	10	14	3	0	5		32		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	3	5	4	3			15	15	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						71	71	71	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
CLASE 3		1 mm - 5 mm							—			



FICHA DE REGISTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MICROPLASTICOS



TESIS: "CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE LAMPA - 2024"

REALIZADO POR:

Bach. Maihua Huanca Cinthia Pamela

EQUIPO UTILIZADO:

ESTEROSCOPIO LEICA

LABORATORIO: ECOLOGIA

MUESTRA: PM3-DIA7

FECHA: 27/11/2024

	TIPO	TAMAÑO		COLOR						TOTAL	MP/L	Concentración
				AZUL	ROSADO	NEGRO	VERDE	AMARILLO	BLANCO			
PM3	Fibra	CLASE 1	<0.5mm	16	5	8	1	6		36	55	97
		CLASE 2	0.5mm - 1mm	2	3	2	1			8		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm	3	5	2		1		11		
	Fragmento	CLASE 1	<0.5mm	2	5	2	1	5		15		
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		
	Espuma	CLASE 1	<0.5mm						27	27	27	
		CLASE 2	0.5mm - 1mm							—		
		CLASE 3	1 mm - 5 mm							—		

UNW