

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**MICROPLÁSTICOS EN EL SUELO DEL TRAMO LA MUYUNA – LUYANDO,  
TINGO MARÍA 2022**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**SILVA SILVA, EVER**

**Tingo María - Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**Tingo María – Perú**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°55-2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 07 de julio de 2023 a horas 10:10 a.m. a través de la plataforma Microsoft Teams de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“MICROPLÁSTICOS EN EL SUELO DEL TRAMO LA MUYUNA –  
LUYANDO, TINGO MARÍA 2022”**

Presentado por el Bachiller: **SILVA SILVA, EVER**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del título correspondiente.

Tingo María, 21 de julio de 2023

  
**Ing. M. Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**  
**PRESIDENTE**

  
**Ing. M.Sc. SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. M. Sc. ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**  
**MIEMBRO**



  
**Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 204- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### **CERTIFICA QUE:**

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

|       |   |                          |
|-------|---|--------------------------|
| Tesis | X | Trabajo de investigación |
|-------|---|--------------------------|

| TÍTULO                                                                     | AUTOR             | PORCENTAJE DE SIMILITUD |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| MICROPLÁSTICOS EN EL SUELO DEL TRAMO LA MUYUNA – LUYANDO, TINGO MARÍA 2022 | SILVA SILVA, EVER | 05 %<br>Cinco           |

Tingo María, 27 de julio de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



#### MICROPLÁSTICOS EN EL SUELO DEL TRAMO LA MUYUNA – LUYANDO, TINGO MARÍA 2022

|                                      |                                                       |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>Autor</b>                         | : Silva Silva Ever                                    |
| <b>Asesor de tesis</b>               | : Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado                   |
| <b>Programa de investigación</b>     | : Ciencia y tecnologías ambientales                   |
| <b>Línea de investigación</b>        | : Nivel de contaminación ambiental                    |
| <b>Eje temático de investigación</b> | : Contaminación del suelo                             |
| <b>Lugar de ejecución</b>            | : Tingo María                                         |
| <b>Duración</b>                      | : 15 de noviembre de 2021<br>12 de diciembre del 2022 |
| <b>Financiamiento</b>                | : S/ 6 617,27                                         |

**Tingo María – Perú, 2023**

## DEDICATORIA

*Le dedico a mis padres **Gregorio Silva** y **Juana Silva**, por ser la fuerza, motivación y los pilares que lograron formarme como persona. Quiero que se sientan orgullosos de mí, así como yo lo estoy de ustedes, los quiero mucho.*

*A mis queridos **abuelitos** que a pesar de la distancia siempre estuvieron, brindándome su apoyo, aunque la distancia física nos separe, quiero dedicarles estas palabras llenas de amor y gratitud. Su presencia en mi vida es invaluable, y su influencia perdura en cada paso que doy*

*A mis queridos tíos **Severino** y **Flor**, quienes han sido una presencia constante en mi vida, les agradezco de corazón por su apoyo inquebrantable y sus palabras alentadoras. Su confianza en mis habilidades y su ejemplo de perseverancia me impulsaron a alcanzar metas cada vez altas.*

*A mis hermanas **Jenny** y **katerine Silva**, les envió todo mi cariño y apoyo. Que sigan adelante, persiguiendo sus metas y nunca se rindan. Siempre estaré para ustedes.*

*A mi sobrino **Mathias** y primita **Janela**, orgulloso de sus logros. Sigam el camino de la rectitud, manteniéndose firmes en sus valores y principios, creciendo como personas ejemplares. Mi apoyo estará presente para ustedes, acompañándolos en cada paso que den.*

## AGRADECIMIENTOS

*A **Dios**, fuente sabiduría y guía en cada paso de este largo camino. Gracias por brindarme las fuerzas para perseverar y alcanzar mis metas trazadas y por nunca abandonarme en este viaje de vida.*

*Con emoción y gratitud, presento esta tesis como culminación de un agradable recorrido académico en la **Universidad Nacional Agraria de la Selva**, por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos y crecer académicamente. Asimismo, deseo expresar mi gratitud al **Ing. Richard**, por su disposición en el laboratorio de Microbiología General quien ayudo al desarrollo de mi investigación.*

*Quiero expresar mi profundo agradecimiento al **Doctor Víctor Manuel Alvarado**, mi asesor de tesis. Su dedicación, paciencia y orientación experta fueron fundamentales para el desarrollo y el éxito de esta investigación. Me siento honrado de haber tenido la oportunidad de aprender de usted, y siempre valoraré su apoyo incondicional*

*Al **Ing. M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo, Ing. Sandra Lorena Zavala Guerrero, Ing. M. Sc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez**, por su inestimable tiempo, y dedicación que han otorgado a mi investigación. Sus contribuciones han sido fundamentales para lograr resultados sobresalientes.*

*A la **Ing. Ivet Victoria Falcon Ramírez** por su valioso tiempo dedicado en mi investigación brindándome orientación y aclarando dudas durante el proceso de redacción. Sus aportes han sido de gran relevancia, enriqueciendo la calidad y el rigor de mi trabajo.*

*Agradezco a mis queridos **padres** por su amor, apoyo y constante impulso para alcanzar mis metas. Sus creencias en mí y sus palabras de aliento han sido fundamentales en los momentos más difíciles. Gracias por ser mis pilares incondicionales.*

*Quiero expresar mi gratitud a mis compañero y amigos por brindarme momentos llenos de risas, valiosos conocimientos y experiencias inolvidables. Además, quiero agradecer de manera especial a aquellos amigos que, de una forma u otra, me brindaron su apoyo para completar este proyecto. Me siento afortunado de haberlos conocido y poder contar con su apoyo. **Giovanni Rodríguez, Rosa Espinoza, Vladimir Tarazona, María T. Silvera, Jonathan Sandoval.***

## ÍNDICE

|                                                              | Página |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| I. INTRODUCCIÓN .....                                        | 1      |
| 1.1. Objetivos.....                                          | 2      |
| 1.1.1. Objetivo general.....                                 | 2      |
| 1.1.2. Objetivo específico .....                             | 2      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA.....                              | 3      |
| 2.1. Estado del arte.....                                    | 3      |
| 2.1.1. Internacionales .....                                 | 3      |
| 2.1.2. Nacionales.....                                       | 5      |
| 2.1.3. Locales .....                                         | 5      |
| 2.2. Marco teórico.....                                      | 6      |
| 2.2.1. Plástico.....                                         | 6      |
| 2.2.2. Microplástico .....                                   | 11     |
| 2.2.3. Contaminación por microplásticos en el ambiente ..... | 13     |
| 2.2.4. Métodos de visualización de microplásticos .....      | 18     |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS .....                              | 19     |
| 3.1. Lugar de ejecución.....                                 | 19     |
| 3.1.1. Ubicación geográfica .....                            | 19     |
| 3.2. Aspectos sociales y ambientales .....                   | 20     |
| 3.2.1. Clima.....                                            | 20     |
| 3.2.2. Zona de vida.....                                     | 20     |
| 3.2.3. Características físicas del suelo .....               | 20     |
| 3.3. Materiales y equipos .....                              | 21     |
| 3.3.1. Materiales.....                                       | 21     |
| 3.3.2. Equipos .....                                         | 21     |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.3. Softwares .....                                                                                                     | 21 |
| 3.4. Tipo de investigación.....                                                                                            | 21 |
| 3.4.1. Variables .....                                                                                                     | 22 |
| 3.4.2. Diseño de la investigación .....                                                                                    | 22 |
| 3.4.3. Diseño estadístico .....                                                                                            | 22 |
| 3.5. Metodología.....                                                                                                      | 23 |
| 3.5.1. Determinación de la concentración de partículas de microplásticos<br>por muestra de suelo del tramo La Muyuna ..... | 23 |
| 3.5.2. Identificación del tipo de microplásticos en el suelo del tramo La<br>Muyuna .....                                  | 27 |
| 3.5.3. Análisis de los efectos del microplástico en el suelo.....                                                          | 29 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                           | 30 |
| 4.1. Determinación de la Concentración de partículas de microplásticos por<br>muestra de suelo .....                       | 30 |
| 4.2. Identificación del tipo de microplásticos en el suelo en el tramo La Muyuna<br>.....                                  | 37 |
| 4.3. Análisis de los efectos del microplástico en el suelo.....                                                            | 42 |
| V. CONCLUSIONES .....                                                                                                      | 44 |
| VI. PROPUESTAS A FUTURO .....                                                                                              | 45 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                                                                       | 46 |
| ANEXOS .....                                                                                                               | 59 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla                                                                                                       | Página |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo en el tramo La Muyuna .....                            | 19     |
| 2. Materiales de origen para la obtención de espectros de referencia.....                                   | 28     |
| 3. Caracterización de los puntos de muestreo .....                                                          | 30     |
| 4. ANOVA concentración de microplásticos en los puntos de muestreo .....                                    | 36     |
| 5. Prueba de comparación de medias (DUNCAN) .....                                                           | 37     |
| 6. Uso de los tipos de polímeros identificados en las muestras .....                                        | 37     |
| 7. Cantidad del tipo de microplásticos por puntos muestreados .....                                         | 40     |
| 8. Efectos en el suelo según la presencia de los microplásticos identificados en el<br>tramo La Muyuna..... | 42     |
| 9. Cantidad de microplásticos por punto de muestreo .....                                                   | 60     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura                                                                                            | Página |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el tramo La Muyuna – Naranjillo .....                   | 20     |
| 2. Diseño de investigación .....                                                                  | 22     |
| 3. Puntos de los focos de contaminación .....                                                     | 23     |
| 4. Concentración total de microplástico por punto de muestreo .....                               | 34     |
| 5. Diversidad de microplásticos por punto de muestreo .....                                       | 40     |
| 6. Ubicación del punto 1 .....                                                                    | 83     |
| 7. Limpiando el área a muestrear .....                                                            | 83     |
| 8. Profundidad de la muestra extraída.....                                                        | 84     |
| 9. Tres muestras por punto .....                                                                  | 84     |
| 10. Medición del 1m <sup>2</sup> en el punto .....                                                | 85     |
| 11. Preparando el testigo en laboratorio.....                                                     | 85     |
| 12. Vertiendo el suelo del muestreo a fuente de aluminio .....                                    | 86     |
| 13. Pesado de la muestra .....                                                                    | 86     |
| 14. Tamizado del suelo .....                                                                      | 87     |
| 15. Agregando peróxido de hidrogeno al 30%.....                                                   | 87     |
| 16. Agitación de las muestras.....                                                                | 88     |
| 17. Retención de los microplásticos en el papel filtro .....                                      | 88     |
| 18. Tipos de plástico para obtener los espectros .....                                            | 89     |
| 19. Observación en el estereoscopio para el conteo de microplásticos.....                         | 89     |
| 20. Microplástico en forma de esfera.....                                                         | 90     |
| 21. Microplásticos de diferentes formas en el punto 4.....                                        | 90     |
| 22. Microplásticos en el punto 8 .....                                                            | 91     |
| 23. Fragmentos y filamentos en el punto 3 .....                                                   | 91     |
| 24. Conteo de los microplásticos mayores de un 1 mm .....                                         | 92     |
| 25. Separación de microplásticos mayores de 5 mm y 1 mm .....                                     | 92     |
| 26. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.....                                              | 93     |
| 27. Mapa concentración de microplásticos en los puntos de muestreo en el área<br>de estudio ..... | 94     |

## RESUMEN

En este estudio se propuso como objetivo determinar la presencia de microplásticos en el suelo del tramo La Muyuna – Luyando, Tingo María 2022. Se seleccionaron 9 puntos de muestreo a lo largo del exbotadero, en cada punto se delimitó un cuadrante de 1x1 m y se trazó una diagonal desde un vértice hasta el opuesto del cuadrante, obteniendo 3 muestras por cada punto de 400 gr suelo a una profundidad de 10 cm, haciendo un total de 27 muestras.

Para el aislamiento del microplástico se tomó 100 gr de suelo de cada muestra, para ser llevadas a una estufa, luego se procedió a tamizar en mallas de 5 y 1 mm respectivamente. El suelo inferior a 1 mm pasó por una digestión de  $H_2O_2$  al 30%, posteriormente se optó la flotación por gravedad y se filtró. El recuento de los microplásticos se hizo con el estereoscopio y la identificación por tipo con espectroscopia RAMAN.

La mayor concentración de microplásticos se encontró en el punto 4 con 5 337 partículas por kg de suelo, así mismo presento la mayor diversidad en tipos de microplásticos; mientras que punto 6 presentó la menor concentración con 577 partículas por Kg de suelo y poca diversidad en tipo de microplásticos. Se identificó un total de 10 tipos de microplásticos, siendo estos polipropileno de alta densidad (HDPE), poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), trifenilo de fosfato (TPP), poliamida (PA), silicona (SI), cloruro de polivinilo (PVC), politetrafluoroetileno (PTFE) y tereftalato de polietileno (PET).

**Palabras claves:** Exbotadero, partículas, basura, residuos sólidos, espectroscopia RAMAN, tipos de microplástico.

## **MICROPLASTICS in the Soil of the La Muyuna to Luyando Section in Tingo Maria During 2022**

### **ABSTRACT**

In this study, the objective that was proposed was to determine the presence of microplastics in the soil of the La Muyuna to Luyando section in Tingo Maria, [Peru], during 2022. Nine sampling points were selected throughout the ex-dump, [and] at each point a 1x1 m square was marked off and a diagonal line was drawn from one vertex to the opposite one within the quadrant, [thus], obtaining three samples of 400 grams of soil at a depth of 10 cm for each sampling point, making a total of twenty seven samples.

For the isolation of the microplastics, 100 grams of soil was taken from each sample, and put into a stove, later it was sifted with 5 mm and 1 mm screens. The soil inferior to 1 mm passed through a digestion of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> at 30, [and] finally the flotation through gravity was chosen and it was filtered. The recount of the microplastics was done with the use of a stereoscope, and the identification was done with a Raman spectroscope.

The greatest concentration of microplastics was found at point 4, which had 5337 particles per kg of soil; it also presented the greatest diversity of types of microplastics, while point 6 presented the lowest concentration at 577 particles per kg of soil and had little diversity of types of microplastics. A total of ten types of microplastics were identified, which were high density polypropylene (HDPE), polystyrene (PS), low density polyethylene (LDPE), polypropylene (PP), triphenyl phosphate (TPP), polyamide (PA), silicon (SI), polyvinyl chloride (PVC), polytetrafluoroethylene (PTFE), and polyethylene terephthalate (PET).

**Keywords:** Ex-Dump, Particulates, Trash, Solid Waste, Raman Spectroscope, Types of Microplastics

## I. INTRODUCCIÓN

El plástico sintético se ha incrementado su uso en los últimos años, debido a su bajo costo, estabilidad, ligereza, y las diferentes aplicaciones que desempeñan, convertidos esenciales para el desarrollo social y económico, sin embargo, su tiempo de vida útil es corto. En consecuencia, la limitada e inadecuada gestión y recuperación de los residuos plásticos ha generado una visible acumulación de estos restos en el medio ambiente como son los diversos botaderos y vertederos, dando paso a una fragmentación ocasionado principalmente por la radiación ultravioleta y los medios mecánicos naturales, alcanzando poco a poco en microplásticos.

El suelo es como un reservorio con gran capacidad de absorción, donde los microplásticos no solo pueden ingresar, sino que también pueden adherir o absorber contaminantes orgánicos o contaminantes inorgánicos. Una mayor concentración de microplásticos pueden ocasionar grandes cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo, llegando a tener un gran impacto adverso en la biodiversidad, así mismo, también pueden ser adsorbidos o ingeridos por organismos del suelo y plantas transfiriendo a la cadena alimentaria.

En Perú más del 50% de residuos plásticos son depositados en un vertedero controlado y el 43,7% termina en ríos, océanos, botaderos o vertederos. Realidad que se veía en la ciudad de Tingo María, que más de 50 años se venían disponiendo los residuos sólidos al botadero La Muyuna, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, puede constituir una creciente preocupación por microplásticos, que podría estar afectando toda actividad social, pobladores que practican actividades como la pesca, caza y la agricultura, repercutiendo en la salud pública, así como impactos negativos que se generan al suelo. Frente a estos problemas se plantea la siguiente interrogante ¿Existe microplástico en el suelo del tramo La Muyuna – Luyando, Tingo María?, y teniendo como hipótesis, que en el tramo de La Muyuna – Luyando existe microplásticos en el suelo superiores a 5 partículas Kg<sup>-1</sup>.

Los puntos de muestreo en el tramo La Muyuna – Luyando contienen diferentes concentraciones de microplásticos.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar la presencia de microplástico en el suelo del tramo La Muyuna – Luyando, Tingo María 2022.

### **1.1.2. Objetivo específico**

- Determinar la concentración de partículas de microplásticos por muestra del suelo del tramo La Muyuna.
- Identificar el tipo de microplásticos presentes en el suelo del tramo La Muyuna.
- Analizar los efectos del microplásticos en el suelo del tramo La Muyuna

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Estado del arte

#### 2.1.1. Internacionales

En trabajo de investigación, Mahesh et al. (2023) denominada como Identificación de microplásticos en suelo de vertedero de residuos sólidos urbanos informales; microplásticos asociados con DQO y cloruro, tiene como objetivo principal identificar la presencia y composición de microplásticos en suelos de vertederos informales de residuos sólidos urbanos. Son tres zonas A operativo 5 año aproximadamente, Zona B operativo desde hace 1 año y Zona C vertedero antiguo a cielo abierto. Los lugares para muestrear se identificaron al azar, recolectando 8 muestras del suelo de la cubierta del vertedero (azar) y dos muestras a nivel del suelo a una profundidad de 10 cm. Las muestras secas se tamizaron por una malla de un diámetro de 1mm y 0,6 mm para obtener muestras gruesas y muestras finas de 100 gr cada una. También se realizó análisis de parámetros fisicoquímicos. Cada una de las muestras se mezclaron con la solución salina a 1,2 g/mL, el sobrenadante pasa por una digestión con peróxido de hidrogeno al 30%, eliminada la materia orgánica, se pasa por un filtro de nitrocelulosa con un tamaño de poro 0,45  $\mu\text{m}$ . El recuento se realizó con un estereoscopio con un aumento de 300x y el análisis de partículas de microplásticos son llevadas al análisis ATR-FTIR para identificar el tipo de MP. Registraron 180 a 1 120 partículas /Kg de suelo, además hubo presencia de fragmentos, películas con 13,7%, fibras con 26,4% y espuma con 3,8%. El tipo de microplásticos identificado fue polietileno. A medida que aumentaba el número de picos de partículas de MP, aumentaban los valores de DQO, de manera similar, los valores de cloruro disminuyeron en 31%.

Zhaleh et al. (2022) en el estudio titulada microplásticos y microcauchos en suelos alrededor de los vertederos y una estación de transferencia de residuos municipales en la metrópolis de Ahvaz, Irán., tiene como objetivo determinar las cantidades y la abundancia de microplásticos y microcauchos en los suelos. Las muestras recolectadas fueron de 3 vertederos diferentes con áreas de 125 ha, 500 ha y 0,7 ha, con muestras recolectas de cada sitio 6 muestras, 4 muestras y 2 muestras, haciendo un total de 12 muestras. El método utilizado para extraer microplásticos fue con solución saturada de cloruro de zinc, se detectaron un total de 1 807 microplásticos y 1 873 partículas microcauchos en las 12 muestras de suelo. La mayor abundancia de microplásticos se observó en el S5 ( $325,9 \pm 26,8$  partículas /100 gr) de suelo. La contaminación por microplásticos y microcauchos excedió los estándares, comprado con otras estaciones de transferencia de todo el mundo.

Afrin et al. (2020) desarrollaron un trabajo de investigación titulado Contaminación por microplásticos en el suelo del vertedero urbano, Dhaka, Bangladesh cuyo objetivo fue investigar la presencia de contaminación por microplásticos en vertederos construidos cerca de la ciudad de Dhaka, Bangladesh. Este estudio consistió en recoger diez muestras de suelo sin mezclar, que fueron analizados por espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y un estereomicroscopio, además también realizaron análisis de las propiedades fisicoquímicas de esos suelos como la humedad, pH, conductividad, alcalinidad y COT. Su límite de detección de microplástico osciló de 1 y 2 000  $\mu\text{m}$ , obteniendo como resultado la presencia de polietileno de baja densidad (LDPE) en 3 de sus muestras, también polietileno de alta densidad (HDPE) y acetato de celulosa (CA). En conclusión, afirman que los vertederos pueden ser una fuente potencial de microplásticos, resaltando que estas actividades inducidas por el humano pueden provocar grandes cambios significativos de manera silenciosa en los ecosistemas terrestres.

El estudio titulado “Presencia de microplásticos en los sistemas de vertederos y su destino con la edad de los vertederos” por Su et al. (2019), investigaron las características de los microplásticos en los rellenos sanitarios de lixiviados y de los desechos y discernir el destino de los microplásticos a lo largo de diferentes edades de vertido. La metodología en el estudio incluyó la recolección de muestras de lixiviados y desechos del vertedero en tres sitios, donde tomaron tres muestras alrededor de cada sitio a profundidades de 0,5; 1; 1,5 m respectivamente. Los resultados del estudio indican que la abundancia de microplásticos en las muestras en lixiviados de vertederos jóvenes y medianos con 8 y 10 partículas/L, detectándose menos de 4 partículas/L en los lixiviados del antiguo vertedero. En las muestras de basura la mayor cantidad de microplásticos se dio en vertederos jóvenes, medianos y viejos oscilando entre  $83 \pm 10$ ,  $68 \pm 6$  y  $36 \pm 14$  partículas/gr. La forma predominante y el tipo de los microplásticos en lixiviados fueron fibras y celofán. Los fragmentos y el polietileno se volvieron dominantes con respecto a la forma y el tipo de microplásticos en los desechos. La aparición de microplásticos en los vertederos se vio afectada principalmente por el aumento de la cantidad de los desechos plásticos, el análisis de los espectros indicó degradación de los microplásticos PE (polietileno) es mayor de acuerdo con la edad del vertedero.

El estudio realizado por Puthcharoen y Leungprasert (2019) en la Determinación de microplásticos en suelos y lixiviados de los vertederos, cuyo objetivo principal fue determinar la abundancia de microplásticos y el tipo en lixiviados y en suelo en vertederos ubicados alrededor del Golfo de Tailandia. Las muestras se recogieron de 12

vertederos, para el lixiviado, se recolectó del estaque de lixiviados y para muestra de suelos se usó un taladro manual con profundidad de 10 – 20 cm. En la metodología empleada los lixiviados se usó una malla de acero inoxidable de 330  $\mu\text{m}$  a fin de separar la muestra para su posterior traslado al horno a 90 °C. Para las muestras de suelo mezclaron con  $\text{ZnCl}_2$ , posterior a ello se recogió la capa superior (sobrenadante), para luego realizar la oxidación con  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30%, y finalmente se añadió  $\text{NaCl}$  en proporción de 3 gr por 20 mL, permitiendo que los microplásticos queden suspendidos en la parte superior. La cantidad promedio de microplásticos en las muestras de suelo y lixiviado fueron de  $1\,457,99 \pm 489,71$  partículas/kg peso seco y  $20,90 \pm 4,96$  partículas de peso seco, respectivamente. La identificación del tipo de microplásticos se realizó por FTIR, hallando polietileno, polipropileno y tereftalato de polietileno.

### **2.1.2. Nacionales**

En el estudio de Huanaco (2019) titulado “Diagnóstico de la presencia de microplásticos en sedimentos laterales en la cuenca baja del río Rímac”, el objetivo principal fue determinar la presencia de partículas microplásticos en los sedimentos laterales de dicha cuenca baja del río Rímac. Para ello, se implementó una red de muestreo en siete estaciones a lo largo de los ríos Rímac, Santa Eulalia y la quebrada Huaycoloro durante dos periodos distintos: época de avenida y de estiaje. Los resultados obtenidos revelaron que, durante la época de avenida, la concentración fue de 539,9 microplásticos/ $\text{m}^2$ , mientras que, durante la época de estiaje, esta concentración aumentó a 16 566,7 microplásticos/ $\text{m}^2$  en época de estiaje en las estaciones de monitoreo. Estos hallazgos confirman la presencia de microplásticos en los sedimentos laterales del río Rímac, siendo más abundantes durante la época de estiaje, lo que sugiere una posible influencia sobre el ecosistema de la cuenca baja del río Rímac.

### **2.1.3. Locales**

Lino (2022) llevó a cabo un estudio en la ciudad de Aucayacu para evaluar la presencia de microplástico en el agua y sedimentos de ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla. La metodología utilizada para determinar su presencia fue la flotación y filtración en muestras de agua y sedimentos. Se identificaron cuatro tipos de microplásticos: PEAD (37%), PEBD (23%), PP (11%) y otros tipos (29%). La concentración de microplásticos en las muestras de agua varió entre 9 - 84 microplásticos/L, mientras que en los sedimentos fue de 5 - 69 microplásticos/kg de suelo.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Plástico

Son compuestos orgánicos que constituyen polímeros sintéticos, extraídos del petróleo, el carbón y gas. Están compuestos por carbono, hidrogeno, oxígeno, cloruro y nitrógeno (Rengifo, 2019 y Alshehrerei, 2017).

Begum et al. (2020), los plásticos se destacan por su alta resistencia y densidad, además de poseer propiedades de aislamiento térmico y eléctrico, brindan seguridad ante la resistencia a los ácidos, álcalis y solventes. Es un material de gran ligereza, alto grado de transparencia y brillo, además que es una barrera contra gases (Emblem, 2012).

#### 2.2.1.1. Clasificación de plásticos

En el ámbito de la clasificación de plásticos, Beltrán y Marcilla (2012), proponen una categorización basada en propiedades destacadas para guiar el diseño y selección de materiales en aplicaciones específicas.

**Termoplásticos.** Este tipo de polímeros son lineales, que pueden ser ramificados o no, y tienen la capacidad de fundirse a altas temperaturas, lo que los hace reciclables. Los termoplásticos se emplean en grandes cantidades, siendo los más comunes el PE, PP, PS y PVC, presentan buenas propiedades mecánicas, pero no se pueden usar en aplicaciones de elevadas temperaturas puesto que comienzan a reblandecer y perder ciertas propiedades mecánicas (Crawford y Martin, 2020).

**Plásticos de alto rendimiento.** Los plásticos de altas prestaciones se destacan por sus propiedades mecánicas excepcionales, y pueden reemplazar eficazmente a los metales en ciertas aplicaciones. No obstante, a diferencia de los metales, estos termoplásticos están influenciados por la temperatura y la duración de la carga aplicada, lo que los coloca en desventaja en comparación. A pesar de ello, ofrecen una ventaja significativa debido a su baja densidad, resistencia y por su gran facilidad para realizar diseños más complejos (Crawford y Martin, 2020).

En su elaboración de estos plásticos incorporan anillos de benceno en la cadena del polímero, permitiendo exposiciones a temperaturas superiores a 200 °C durante periodos prolongados. Algunos ejemplos de este tipo de materiales los poliésteres aromáticos (APE), poliariletercetonas (PAEK), poliimidas (PI) y las polisulfonas (PSU) (Crawford y Martin, 2020).

**Termoestables.** Son materiales que experimentan una reacción de entrecruzamiento, lo que los vuelve insolubles e incapaces de fundirse. Este tipo de

materiales no se funden, no reblandecen. Se caracterizan por tener una alta resistencia química, rigidez, dureza superficial, y otras ventajas (Beltrán y Marcilla, 2012).

Sin embargo, el uso de este tipo de plásticos ha disminuido en los últimos años debido a sus métodos de transformación lentos y acabados deficientes. Algunos ejemplos de termoestables incluyen los poliuretanos reticulados (PUR) y las resinas de fenol-formaldehído (fenoplásticos) (Crawford y Martin, 2020).

**Elastómeros.** También conocidos como cauchos, son principalmente polibutadienos o compuestos con dobles enlaces en su cadena principal, lo que les otorga una alta flexibilidad debido a que se encuentran enrolladas sobre si mismas. Estos materiales presentan una buena resistencia a bajas temperaturas, haciéndolos muy tenaces ante la acción de aceites, grasas y el ozono. Como desventaja, su procesamiento requiere tiempo y energía (Crawford y Martin, 2020).

**Composites.** También llamados plásticos compuestos, exhiben excelentes propiedades mecánicas, alta dureza y resistencia a la tracción. Estos materiales están compuestos por una matriz, generalmente un polímero termoplástico o termoestable, combinada con una carga, que suele ser una fibra de vidrio o de carbón, conocida por su alta resistencia a la tracción. La incorporación de esta carga mejora significativamente las propiedades de la matriz polimérica, combinando las ventajas de los termoplásticos y termoestables. Sin embargo, estos materiales también presentan la desventaja de un alto costo y un proceso de fabricación complejo en comparación con otros materiales (Beltrán y Marcilla, 2012).

**Plásticos espumados.** Son termoplásticos que exhiben una estructura celular, compuestas por celdas finas llenas de gas, ya sea de forma abierta o cerrada. Estos materiales logran significativas reducciones en densidad, conductividad térmica y propiedades dieléctricas. Además, ofrecen una mayor capacidad para disipar energía acústica y mecánica (Beltrán y Marcilla, 2012).

**Cristales líquidos.** Los termoplásticos que se basan en poliésteres aromáticos y muestran una estructura altamente ordenada, incluso cuando están en estado fundido o líquido. Esta organización especial les proporciona propiedades térmicas, mecánicas y ópticas únicas. Debido a sus diversas aplicaciones tecnológicas, estos materiales han generado un gran interés en la actualidad (Crawford y Martin, 2020).

#### 2.2.1.2. Tipos de plásticos

**Polietileno de alta densidad (HDPE).** Es uno de los plásticos más utilizados debido a su alta disponibilidad, bajo costo y propiedades superiores de

procedimiento superiores (Olesik et al., 2021). Este material se caracteriza por su rigidez, baja flexibilidad y resistencia a altas temperaturas. También es considerado seguro para envasar alimentos y bebidas ya que evita reacciones químicas entre el plástico y los contenidos (Wani et al., 2020).

El HDPE es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones, como juguetes, artículos domésticos cotidianos, botellas, tuberías, aislamiento de alambres y cables, envases de aceite, lejía, aceite, shampoo, lácteos, pintura, entre otros. Además, es un material no tóxico y reciclable, lo que lo convierte en una alternativa respetuosa con el ambiente a otros materiales plásticos (Wani et al., 2020).

**Polietileno de baja densidad (LDPE).** Es un tipo de polietileno que presenta una alta ramificación molecular, lo que le confiere una baja densidad y una menor dureza, rigidez y resistencia que HDPE. Además, el LDPE presenta propiedades de ser más dúctil y flexible (Bayer et al., 2017). Las láminas delgadas de este plástico suelen ser semitransparentes y poseen una superficie brillante (Salmah et al., 2011).

El LDPE se utiliza ampliamente en la fabricación de envases como láminas, bandejas, bolsas plásticas para fines alimentarios y no alimentarios. También se emplea como película protectora sobre el papel, textil y otros plásticos (Bayer et al., 2017; Salmah et al., 2011). Otras aplicaciones incluyen envases de alimentos, envases de uso general, y envases plásticos de un solo uso (Mario et al., 2018; Díaz y Crespo, 2022).

**Poliestireno (PS).** Es un polímero termoplástico que se fabrica a partir del monómero estireno y se destaca por su ligereza, resistencia y excelente capacidad como aislante térmico. Este material se emplea en una amplia variedad de productos, como vasos, cubiertos, utensilios para el hogar, placas de Petri, botella, pipetas, recipientes para ensaladas, empaques para comida rápida, tapas, platos, y envoltura de documentos, etc (Turner, 2020).

Pérez et al. (2016) mencionan que el poliestireno se produce en dos formas principales: poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido (XPS). El EPS es comúnmente empleado en la fabricación de envases de alimentos, bandejas para diversos alimentos, y embalaje de productos frágiles. Por otro lado, el XPS se utiliza como aislante térmico y acústico, así como la fabricación de paneles y revestimientos (Gutiérrez, 2019). Además, este plástico no pierde sus propiedades aislantes en contacto al agua a diferencia del EPS (Andía, 2022).

**Polipropileno (PP).** Es un polímero termoplástico común con excelentes propiedades, que incluyen alta resistencia a la permeabilidad al agua y al gas, propiedades mecánicas, resistencia a altas temperaturas, resistencia al agrietamiento por estrés ambiental, más susceptible a la oxidación (Tin y Soo, 2023; George et al., 2018). También se considera uno de los polímeros más ligeros y versátiles, menor densidad y mayor rigidez (Crawford y Quinn, 2017; George et al., 2018).

Se usa ampliamente en materiales poliméricos en la industria de fabricación de plástico para producir diversos productos, especialmente envases plásticos (Tin y Soo, 2023). Además, la industria automotriz utiliza el PP debido a su bajo costo y alta procesabilidad (Rani et al., 2021). Otras aplicaciones incluyen artículos para el hogar, etiquetado, empaques, juguetes, baldes, recipientes botellas, productos sanitarios para absorber líquido (pañales y toallas higiénicas), contenedor de alimentos, producción de textiles, películas, extrusión de láminas y tubos (Monzó, 2015).

**Poliamida (PA).** Son termoplásticas ampliamente utilizados como adhesivos de fusión en caliente, destacándose por su capacidad para adherirse a superficies porosas, como también por su flexibilidad (Licari y Swanson, 2011). Estos materiales son altamente resistentes a la abrasión y al desgaste. Además, poseen resistencia a la corrosión y al calor. Por un lado, su carácter hidrofílico puede resultar en pérdidas mecánicas con entornos con alta humedad (Kumar et al., 2022). Por otro lado, los grupos amina presentes en las poliamidas son susceptibles al hidrolisis, lo que disminuye su resistencia ante ciertos ácidos (Saviour et al., 2022).

Este material plástico es fácil de mecanizar y se utiliza ampliamente como sustituto del bronce, latón y aluminio y diversas aplicaciones industriales y agrícolas (Kumar et al., 2022). En la industria de maquinaria, se emplea en la fabricación de componentes como engranajes, levas, cojinetes, ruedas dentadas, ganchos, sistema de ajuste rápido. Otros usos son en tuberías, manguera para combustible líquido y gases, sector textil (indumentaria, equipo de protección contra incendio y medias) y films para la preservación de alimentos, etcétera (Marset, 2022).

**Policloruro de vinilo (PVC).** Es el tercer plástico sintético más producido a nivel global, superado únicamente por el PP y el PE. Se estima que se fabrican aproximadamente 40 000 000 tn anualmente (Basmage et al., 2020). El PVC se caracteriza por ser resistente a la abrasión, al impacto y al fuego, además de ser ligero, impermeable y químicamente inerte. A través del uso de aditivos como estabilizantes y plastificantes, la resina de PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, lo que permite una amplia gama

de aplicaciones en diversas áreas (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST], 2016).

El PVC se utiliza en diversas industrias, incluyendo embalaje, mobiliario, automotriz, industria eléctrica, aplicaciones médicas, agricultura y más (INSST, 2016). Los materiales de construcción representan aproximadamente el 75% del uso total del PVC, entre ellos se encuentra en cañerías, tuberías y revestimiento para pisos y paredes, etcétera. También, se utiliza en la fabricación de muebles de oficina, contenedores, envases, juguetes y botellas (Tin y Soo, 2023; Mohan et al., 2022). En el ámbito sanitario, su uso es en bolsas de sangre, tubos, envase de recolección de muestra de orina, máscara de oxígeno y guantes desechables (Schettler, 2020).

**Politetrafluoroetileno (PTFE).** Comúnmente conocido como teflón, posee propiedades como la hidrofobicidad, bajo coeficiente de fricción y aislante. Gracias a la alta repelencia al agua y las excelentes propiedades antiadherentes proporcionadas por los átomos de flúor en el PTFE, este material es ideal para utensilios de cocina (Radulovic y Wojcinski, 2014; Crawford y Quinn, 2017; Guo et al., 2022).

Además, el PTFE es altamente versátil y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, como la fabricación de semiconductores, dispositivos médicos, revestimientos para recipientes de productos químicos a granel, líneas de señal y conectores eléctricos (Guo et al., 2022). También su aplicación implica en la pirotecnia y la industria médica, respecto a lo segundo se usa para prótesis implantes, procedimientos quirúrgicos, ropas, batas y sábanas. Otros usos se dan, es el revestimiento de cables de la industria, en anteojos cuchillas de afeitar, tuberías, mangueras, empaques y sellos (Gardiner, 2014; Ebnesajjad, 2017). También se emplea como ingrediente inerte en plaguicidas (Radulovic y Wojcinski, 2014).

**Tereftalato de polietileno (PET).** El poliéster más importante es el PET, el cual exhibe características de un termoplástico amorfo y se comporta como un termoplástico semicristalino durante el enfriamiento (Paladhi et al., 2022). Este material destaca por su elevada resistencia y tenacidad a la abrasión y al calor. También, muestra baja influencia a altas temperaturas, buena resistencia química y estabilidad dimensional (Tin y Soo, 2023).

El PET es ampliamente utilizado en la fabricación de botellas para bebidas carbonatadas y tiene diversas aplicaciones, especialmente el envasado de alimentos, bebidas e incluso medicamentos (Paladhi et al., 2022; Crawford y Quinn, 2017). En el campo textil, se utiliza para la producción de mantas, sábanas, edredones, alfombras, acolchado de almohadas, tapicería y muebles tapizados (Tin y Soo, 2023). Otros usos incluyen

cinta de embalaje, envase de blíster para pastillas, bandejas, carcasa de radios, televisores, cajas de CD, electrodomésticos y retrovisores.

### 2.2.2. Microplástico

Ministerio del Ambiente (MINAM, 2016) menciona que son pequeños plásticos que tienen un tamaño entre 5 mm - 1  $\mu$ m. Estas partículas son sólidas, sintéticas y compuestas por un polímero, presentando formas tanto regular como irregular (Frías y Nash, 2019; Iannacone et al., 2021), fragmentados por agentes externos de materiales de mayor tamaño (Hidalgo et al., 2012). También pueden originarse como consecuencia del desgaste de los neumáticos y de campos deportivos sintéticos (Kole et al., 2017). Soledad (2021) hace referencia que los microplásticos contienen los aditivos agregados a los polímeros desde su fabricación, lo que implica que su composición incluye tanto los polímeros como los aditivos agregados.

Clasificación de microplástico según su:

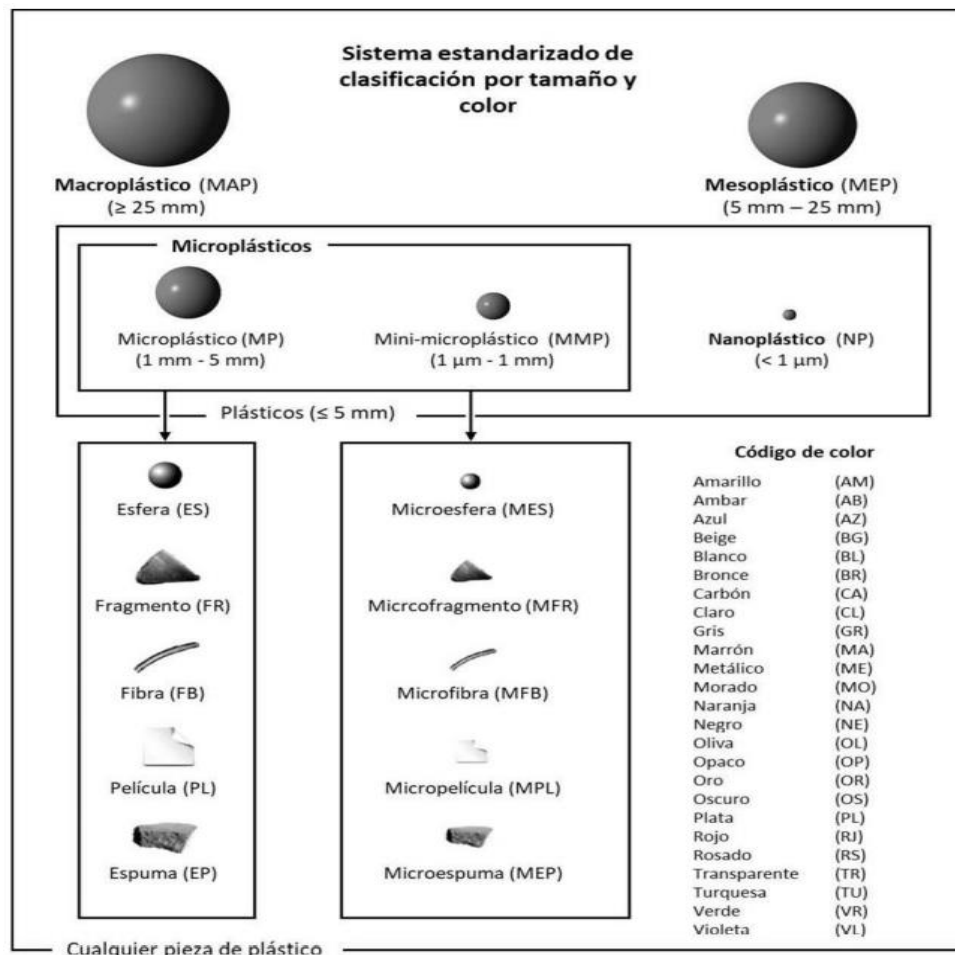
**Forma.** Xu et al. (2020a) clasifica las formas de los microplásticos en fibras, laminas, fragmentos, gránulos, espuma y esférulas. En los estudios realizados los fragmentos y fibras son los más encontrados, estos fragmentos son de envases y desechos plásticos grandes y pequeños (Yang, 2021), también pueden generarse a partir de bolsas y envases de pesticidas y fertilizantes (Zhou et al., 2019).

Las fibras están posiblemente relacionadas con prendas sintéticas (tapicería o alfombras), también es producto de cubiertas de plásticos que es utilizado en la agricultura (Huang et al., 2020); las partículas de gránulos están asociadas con productos de cuidado personal (cosméticos, exfoliantes) y productos de limpieza (Xu et al., 2020a).

**Tamaño.** Yang et al. (2021a) según su tamaño el microplástico debe ser inferior a 5 mm, sin embargo, el tamaño mínimo de la partícula dependerá del método de muestreo y pretratamiento e identificación que se realice en la investigación. Para muestras de suelo luego de ser tamizadas el tamaño mínimo de la partícula varía de 0,1 a 2 mm, esto se determina por la malla del tamiz, en el pretratamiento de la muestra se determina por el tamaño de la malla del filtro (1,6 a 2  $\mu$ m); microplástico de un tamaño menor de 1 mm se observan ampliamente en el suelo.

Zhou et al. (2019) menciona que microplásticos inferior a 0,5 mm representaron el 99,8% de partículas en el suelo en la ciudad de Wuhan; en tierras agrícolas en la provincia de Shaanxi, la mayoría de los microplásticos tienen un tamaño de 0 a 0,49 mm (Ding et al., 2020).

**Color.** Yang et al. (2021a) mencionan que existen microplásticos en el suelo de diferentes colores, y el color dominante depende del área de estudio. Huang et al. (2020) en suelos de cultivo predomina microplásticos transparentes; y microplásticos de grupos de colores se encuentra alrededor de 40 %. Además, el color de los microplásticos también dependerá de las profundidades de suelo que se tomen para la investigación (Liu et al., 2018).



Fuente: Manrique (2019)

**Figura 1.** Clasificación de plásticos por tamaño y color.

#### 2.2.2.1. Clasificación de los microplásticos

**Microplásticos primarios.** Estos microplásticos son usados con fines comerciales. Son materia prima para la elaboración de procesos industriales como los pellets (Olaya, 2020); de resina y microesferas (Cole et al., 2011). Son usados en diversos productos, tales como pasta dental, exfoliantes, fibras sintéticas entre otros (Muriel, 2020).

**Microplásticos secundarios.** Rillig (2012) menciona que es resultado de la abrasión de los residuos plásticos de grandes dimensiones (meso, macro plástico) (Muriel, 2020). En la superficie del suelo o dentro del perfil del suelo la acción de UV hace que

el plástico se vuelva quebradizo, o efecto biológico descomponen lentamente estos desechos plásticos generando una gran cantidad de microplásticos secundarios (Andrady, 2017).

### 2.2.3. Contaminación por microplásticos en el ambiente

Los microplásticos presentan uno de los problemas ambientales más relevantes de la actualidad, ya que tiene una ubicua distribución en diversos ambientes. Hay una gran mayoría de estudios realizados en ecosistemas acuáticos, que a simple vista resalta ser la ruta final a donde llegan los microplásticos, también hay algunos estudios referidos a ecosistemas terrestres, conociendo que estos ecosistemas son las principales fuentes de desechos plásticos y que de este ambiente parte o va hacia los ambientes acuáticos (Soledad, 2021).

Dris et al. (2016) indicaron que la presencia de microplástico en el medio aéreo se realiza a partir de la recolección de partículas atmosféricas, asimismo, es una vía de transporte hacia diferentes tipos de ecosistemas. Es preciso mencionar que estudio referente a este medio aun es muy poca.

Soledad (2021) menciona que los ambientes con más investigaciones en temas de microplásticos son en los océanos y mares. Zonas distantes de los continentes, como los giros oceánicos, en estos corrientes circulares quedan retenidos los desechos plásticos siendo los más investigados el giro Pacífico del Norte y Atlántico Norte, donde se registran microplásticos a lo largo de la columna de agua y sedimentos bentónicos (Eriksen et al., 2016).

Actualmente en temas de microplástico los ambientes de agua dulce siguen siendo los menos estudiados. Los estudios mencionan que existe presencia de microplásticos en ríos, lagos y estuarios. Así mismo, estudios han demostrado en los últimos años presencia de microplásticos en productos alimenticios, sal de mesa, leche etc (Karami et al., 2017).

Respecto al tipo de plástico, la afectación al ambiente consta:

**Poliestireno (PS):** Los diferentes tipos de Microplásticos en columnas de agua y en sedimento pueden ser absorbidos por organismos, así como el PS ( $\leq 1 \mu\text{m}$ ), que son absorbidos por el zooplankton *Dadhnia sp* depositándose en su organismo de igual forma que en *A. fangshiao* (Zheng et al., 2022).

**Poliamida (PA):** En un suelo contaminado por perfluoroalquilos (PFAS), estas son adsorbidas por PA y toman el papel como vectores y transportadores a medios acuáticos (Mejías et al., 2022). Asimismo, funcionan como vectores de microcistinas (MCs) en agua dulce y salada, ya que proporcionan mecanismo y cinética de dichas toxinas (Kim et al.,

2023). También presenta afinidad por metales divalentes (Cu, Zn, Ni) destacando su toxicidad ambiental (Tang et al., 2021).

**Policloruro de vinilo (PVC):** Al ser ingeridos por los animales, en especial por los renacuajos, se acumulan en su sistema gastrointestinal, provocando cambios en su crecimiento y desarrollo, al mismo tiempo ellos actúan como dispersores de esta partícula (Araújo et al., 2022).

**Politetrafluoroetileno (PTFE):** Guo et al. (2022) señalaron que no reacciona a sustancias orgánicas, por lo que tienen resistencia al aceite, agua, y a la contaminación (Radulovic y Wojcinski, 2014).

**Tereftalato de polietileno (PET):** Sathicq et al. (2022) señalaron que, en agua dulce estas partículas no favorecen el crecimiento bacteriano, pero si es refugio de potenciales patógenos alóctonos, manteniendo estos microorganismos en estos sistemas acuáticos, (Wu et al., 2023) y bajo irradiación ultravioleta (365 y 254 nm) derivan COV (compuestos orgánicos volátiles) como alquenos, alcanos, fenoles, etc. Siendo un riesgo potencial para el ecosistema y para la salud humana (agua potable). Además, (Du et al., 2022) tienen la capacidad de adsorción de rodamina B (RhB) en concentraciones menores, pero esto puede variar de acuerdo al pH y la T°. Según Pencik et al. (2023), en aguas oceánicas las microalgas son afectadas (inhibición en el crecimiento, arrugamiento, alteración en la pared celular).

#### 2.2.3.1. Microplástico en el suelo

El suelo desempeña un papel importante como sumidero de microplásticos provenientes de diversas fuentes, y la identificación de los tipos de polímeros presentes puede revelar usos específicos o actividades humanas asociadas. En este sentido, las investigaciones de He et al. (2018) y Forster et al. (2020) destacan que los impactos en el suelo están relacionados con tipo de microplástico. Además, De Souza et al. (2019) señalaron que el transporte y destino de los microplásticos en el suelo están sujetas a sus características (Hidalgo et al., 2012).

De Souza et al. (2019) afirman que los microplásticos logran afectar las propiedades biofísicas del suelo, tales como pH, fertilidad, nutrientes, microbios del suelo, los agregados estables al agua y estructura del suelo, provocando grietas por desecación en la superficie (Wan et al., 2019). La integración de los microplásticos lo realizan progresivamente en los agregados del suelo, de manera holgada lo hacen los fragmentos y más firmemente los de tipo fibra.

Lo agregados del suelo juegan un papel importante en la porosidad, lo que a su vez puede afectar el movimiento del agua y aire, permitiendo la distribución de los organismos del suelo (Rillig y Lehman, 2020). En la presencia de microplásticos, la densidad aparente es baja, dando paso a efectos indirectos completamente diferentes en todo el sistema del suelo. La contaminación por microplásticos en el suelo representa un riesgo potencial para los organismos y las personas. Cuando los desechos plásticos se fragmentan en partículas más pequeñas partículas, estas acaban en el suelo, donde se dispersan y reaccionan con otros contaminantes, transfiriéndose posteriormente a microorganismos, animales y plantas (Wang et al., 2019).

#### **2.2.3.2. Fuentes de microplásticos en el suelo**

La concentración de microplástico en el suelo está aumentando, debido a una enorme variedad de residuos plásticos que se vienen vertiendo al suelo a causa de la sobreexplotación, y sumado las medidas de gestión inadecuadas o no planificadas (Yan et al., 2021; Kumar et al., 2020). La acumulación, retención y transporte de microplásticos se debe a factores como actividades antropogénicas, las características físicas de los pequeños fragmentos del plástico (tamaño, densidad y forma), están influenciados por las condiciones climáticas como la velocidad de viento (He et al., 2018; Karbalaei et al., 2018).

La abundancia de fragmentos y fibras de microplásticos en los sedimentos en una población, ríos o lagos son originados por aplastamiento o daño que reciben estos desechos plásticos (Zhang et al., 2016). Entre los años 1950 y 2015 se han generado acerca de 6 300 000 000 tn de residuos plásticos a nivel global, las cuales aproximadamente 4 970 millones de toneladas tienen como destino final vertederos y entornos naturales Geyer et al. (2017).

#### **2.2.3.3. Transporte de microplásticos en el suelo**

Suelen migrar de un ambiente a otro por escorrentía superficial o por el viento, su presencia en suelos profundos se debe a que los microplásticos se encuentran en  $\mu\text{m}$  esto indicaría una migración vertical, pudiendo llegar a aguas subterráneas, también puede deberse a la porosidad del suelo que permite ser transportados por los lixiviados (Liu et al., 2018), también cuando el suelo está expuesto a climas secos, provoca apariciones de grietas abriendo a la migración de microplásticos a suelos profundos (Li et al., 2020).

Las alteraciones producidas por las raíces de las plantas también afectan a la migración de microplásticos, como la expansión de las raíces, movimiento de las estas, la extracción de agua de las raíces, etc. La fauna del suelo favorece al transporte vertical y horizontal de microplásticos en el suelo (Xu et al., 2020).

#### **2.2.3.4. Factores que afectan la abundancia de microplásticos en el suelo**

González (2019) menciona que los ríos pueden acumularse en función a las dinámicas hidromorfológicas en sedimentos de los ríos es muy dinámica, ya pueden retenidas y movilizadas dependiendo de factores ambientales (hidrológicos e hidrográficos), además, que la acumulación de microplásticos depende la actividad que realice en el suelo, asociada a los usos del suelo. Un suelo con rizosferas tiene mayor presencia de microplásticos que los suelos que no presentan rizosfera, esto sucede debido a la variedad de secretas pegajosas que las raíces descargan al suelo, que adhieren a los microplásticos, lo que permite que estos permanezcan alrededor de ellas (Huang et al., 2020).

#### **2.2.3.5. Interacción entre microplásticos y los microorganismos del suelo**

Los organismos desempeñan papel crucial en la distribución, transporte y transformación de microplásticos en el entorno del suelo. Tienen la capacidad de desintoxicar los microplásticos y ciertos químicos dañinos, generando productos que favorecen el desarrollo de seres vivos (plantas) su desarrollo. Las concentraciones de microplásticos en el suelo pueden servir como un nuevo hábitat ecológico para los microorganismos, estas comunidades microbianas son vistas como plastífera (Zettler et al., 2013). La comunidad bacteriana en los desechos plásticos presenta discrepancias respecto a sus alrededores y ostenta de una degradación significativa ya que hongos como bacterias promueven la degradación de estos desechos plásticos (Shah et al., 2008).

#### **2.2.3.6. Efecto en el suelo según el tipo de microplástico**

La identificación de microplásticos es muy importante ya que se puede inquirir la fuente de contaminación. Los polímeros registrados en el suelo son: PET, PE, PVC, PP, PS y PA (Yang et al., 2021).

Las películas de PVC, PE y PET se pueden sujetar a fuentes agrícolas, como las películas verdes, negro y transparencia, pueden proceder de las coberturas plásticas que suelen usar con mucha frecuencia. El PVC tiene una proporción de 80% de microplásticos en residuos municipales (Fuller y Guatam, 2016). En los suelos tiene un efecto adverso sobre la aptitud de los organismos, representando un riesgo en estos ecosistemas (Song et al., 2019). Respecto a la digestión aeróbica de lodos activados por desechos la presencia de PET inhibe la digestión (Wei et al., 2021).

**Polietileno de alta densidad (HDPE).** La presencia de microplásticos HDPE en los suelos disminuye en la germinación de semillas de las plantas. Asimismo, existe un aumento de biomasa en la raíz, siendo un indicativo de estrés en la planta.

En cuanto a la presencia de lombriz presenta una pérdida de biomasa. Y respecto al pH del suelo tiende a acidificarse a medida que se acumula este tipo microplásticos (Boots, 2019).

**Poliestireno (PS).** En los suelos que presentan As este microplásticos acelera la volatilización (Dong et al., 2020) e inhibe las actividades microbianas, enzimáticas (Oladele et al., 2023) afectando a su vez el crecimiento y mortandad de las lombrices. La adsorción de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) es más rápida en este tipo de microplástico (Shi et al., 2022).

**Polietileno de baja densidad (LDPE).** Afecta la estructura de la red del suelo, así como las propiedades fisicoquímicas, actividad enzimática, comunidad microbiana (Ya et al., 2022), comunidad funcional como el N (Rong et al., 2021), afectando a sus comunidades fúngicas y ciclos biogeoquímicos (Li et al., 2023) e inhiben y retrasan el proceso de fotosíntesis en microalgas (Senousy et al., 2023).

**Trifenil fosfato (TPP).** Zhan et al. (2022) mencionan que el trifenil fosfato (TPP) es un riesgo para el medio ambiente del suelo, así también es genotóxica potencial para ciertos organismos llegando causar daño en el ADN de lombrices e induce toxicidad reproductiva en *C. elegans* (Shi et al., 2023).

**Polipropileno (PP).** Luo et al. (2022) indican que este microplásticos envejecido interactúa más fuerte con los ácidos húmicos, que, en estado prístino, inhibiendo la estabilización de Cd durante su envejecimiento y aumentando su concentración de biodisponibilidad en el suelo (Cao et al., 2023 y Guo et al., 2023), por otro lado, disminuye el contenido de fosfato (Li y Lui, 2021).

**Politetrafluoroetileno (PTFE).** Son químicamente inertes, no inflamables en condiciones normales, sobre todo no se metaboliza. Por otro lado, Dong et al. (2019) y Dong et al. (2022) mencionan que las plantas en un medio terrestre y acuoso en presencia de estas partículas sufren daño a la raíz, reducen el contenido de Fe y Mn, afecta su transpiración y a sus estomas. Además, en bajas concentraciones de este microplásticos inhiben el As (III) en un medio acuoso, posiblemente logrando lo mismo que el suelo una adsorción de As (III).

**Tereftalato de polietileno (PET).** En caso de las cianobacterias son las menos afectadas, así mismo, tienen la capacidad de adsorción de Cu (II), y tienen más afinidad si el microplásticos presenta envejecimiento (Wang et al., 2022). Ortega y Cortés - Arriagada (2023) indican que presentan adsorción de contaminantes primarios del aire (NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> entre otros), convirtiéndolos en vectores para el transporte de dichos contaminantes.

#### **2.2.4. Métodos de visualización de microplásticos**

Se aplican varios métodos de clasificación visual para proporcionar de estabilidad de microplástico como partículas heteroagregados, homoagregados o individuales con otros materiales (algas, bacterias y sedimentos en suspensión) especialmente para separar y analizar.

##### **2.2.4.1. Microscopía**

Los microscopios ópticos proporcionan la información estructural, textura de la superficie y número de partículas con un tamaño micrométrico, según Silva et al. (2018). El estereomicroscopio es el más directo, y el más usado al momento de hacer un recuento manual y la identificación de microplástico. Se cuenta con algunos criterios estandarizados (Hidalgo et al., 2012).

- Tamaño pequeño inferior a 5 mm
- Todo el microplástico debe mostrar un espesor uniforme.
- Las partículas deben tener un color relativamente uniforme, si las partículas son transparentes o blancas, se debe utilizar un microscopio de gran aumento.
- No deben existir estructuras celulares u orgánicas, debe identificarse después de eliminar la interferencia.
- Cabe resaltar que será muy difícil detectar microplásticos que tengan un tamaño inferior a 100  $\mu\text{m}$  incluso usando un microscopio.

##### **2.2.4.2. Espectroscopia RAMAN**

Método muy utilizado en investigaciones de microplástico, es eficiente en la identificación de partículas submicroplásticas ( $< 1 \mu\text{m}$ ) y en algunos casos hasta de 500 nm, además permite analizar muestras húmedas. Tiene un gran inconveniente este método y es la interferencia de la fluorescencia de contaminantes orgánicos (sustancias húmicas), inorgánicas (minerales arcillosos) y (micro) biológicos; dificultando la identificación de los microplásticos; por ende, las muestras deben someterse a una purificación antes del análisis (Anger et al., 2018).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en investigación de campo en La Muyuna, seguido con el análisis en las instalaciones del Laboratorio de Microbiología General y el Laboratorio de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Ambos lugares están ubicados en la ciudad Tingo María, específicamente en el distrito Rupa Rupa provincia Leoncio Prado, en la región de Huánuco.

##### 3.1.1. Ubicación geográfica

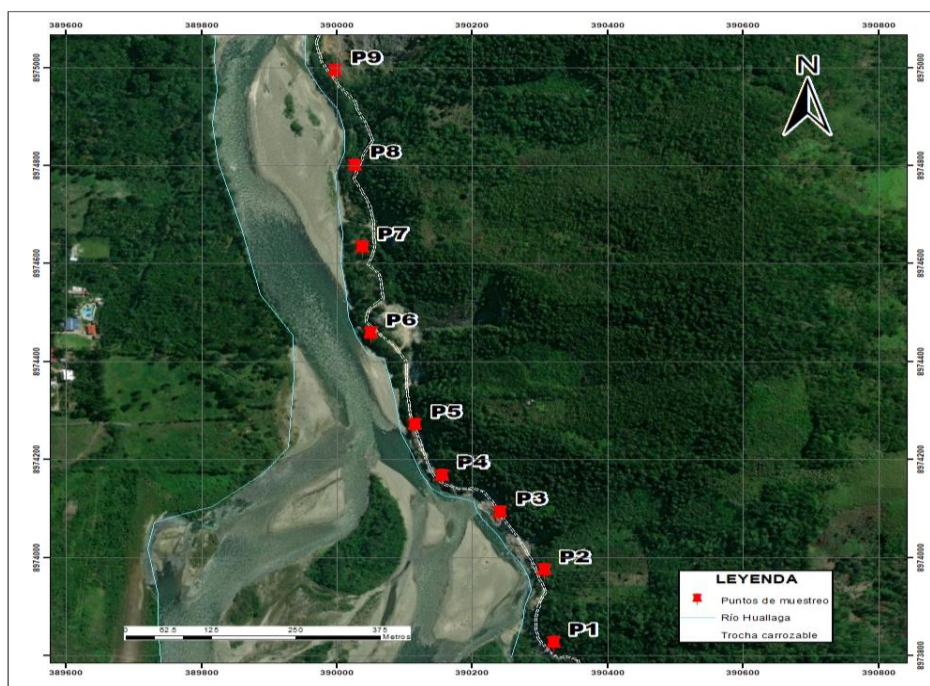
La ciudad de Tingo María se encuentra geográficamente ubicada a 9° 17' 08'' de latitud Sur y 75° 59' 52'' de longitud Oeste, a una altitud de 660 msnm, con una temperatura promedio anual de 24,9 °C. El exbotadero La Moyuna, está localizada en la parte norte de la ciudad de Tingo María, en el margen derecho y entre los bordes del río Huallaga, a 9° 16' 48,40'' de latitud Sur con 75° 59' 56,56'' longitud Oeste, a una elevación 646 msnm.

Se llevó a cabo un muestreo de identificación, en el cual se tomaron 9 distintos puntos en el área de estudio, según la Guía de muestreo de suelos (2014). Con la finalidad de detección e identificación de las concentraciones de los microplásticos. Las coordenadas de los puntos de muestreo se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo en el tramo La Muyuna

| ID | Zona | Coordenada UTM |           | Altitud (msnm) | Distancia entre puntos (m) |
|----|------|----------------|-----------|----------------|----------------------------|
|    |      | Este (m)       | Norte (m) |                |                            |
| 1  |      | 390 319        | 8 973 821 | 667            | 0                          |
| 2  |      | 390 305        | 8 973 969 | 668            | 150                        |
| 3  |      | 390 241        | 8 974 087 | 666            | 140                        |
| 4  |      | 390 154        | 8 974 162 | 658            | 135                        |
| 5  | 18 L | 390 115        | 8 974 265 | 664            | 130                        |
| 6  |      | 390 049        | 8 974 452 | 647            | 160                        |
| 7  |      | 390 037        | 8 974 628 | 663            | 158                        |
| 8  |      | 390 026        | 8 974 795 | 670            | 152                        |
| 9  |      | 389 997        | 8 974 988 | 662            | 163                        |

La ubicación de los puntos de muestreo se distribuyó de la siguiente manera. Los puntos (P1 – P6) se encuentran en las orillas del río Huallaga, donde anteriormente funcionaba como botadero. Por otro lado, los puntos (P7 – P9) es el área donde ya se había dejado de arrojar residuos sólidos, el punto final se ubica en la cantera La Muyuna (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo en el tramo La Muyuna – Naranjillo

### 3.2. Aspectos sociales y ambientales

#### 3.2.1. Clima

En la ciudad de tingo de Tingo María presenta una temperatura promedio anual de 23,8 °C, con una máxima de 30,9 °C y una mínima de 18,6 °C, y una humedad relativa promedio de 82,9%, además con una precipitación de 3 454,60 mm, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI, 2022].

#### 3.2.2. Zona de vida

Según la clasificación de zonas de vida por Holdridge (1982), Tingo María presenta un bosque húmedo tropical con cierto grado de homogeneidad ecológica, con características tropicales diversas, se sitúa en la formación vegetal bosque muy húmedo premontano tropical (Bmh-PT) de Así mismo, pertenece a la region natural Rupa Rupa o Selva Alta.

#### 3.2.3. Características físicas del suelo

En tingo maría predominan las laderas de montañas y menor proporción en valles Inter montañosos, sus pendientes comprenden desde fuertemente inclinadas (8 – 15%)

a muy empinadas (50 – 75%) en la zona accidentada, presenta mayor parte rocas sedimentarias, y en menor proporción rocas que contienen gravas arenas (Gobierno Regional de Huánuco, [GOREHCO], 2016).

Predomina suelos profundos con textura media y moderadamente fina, relativamente fértiles y buen contenido de materia orgánica (> 3%), que presentan una aptitud predominante para producción forestal como el cedro, tornillo, caoba y moena. Siendo de calidad agrologica baja, debido a que tiene limitaciones por su suelo y erosión. También se caracteriza por contar con áreas que presentan en su mayor parte bosque denso alto y cultivos permanentes tales como plátano, cacao (GOREHCO, 2016).

### **3.3. Materiales y equipos**

#### **3.3.1. Materiales**

Los materiales que se emplearon fue: pala pequeña de metal, cinta métrica (5 m), guantes de algodón, frascos de vidrios (500 ml), etiquetas, botas, rotulador, bandeja de aluminio, entre los materiales de laboratorio agua destilada, agua desionizada, pisceta, placas Petri de vidrio, papel Kaft, papel filtro < 1mm (Whatman N° 42), papel toalla, NaCl, solución de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% v/v, alcohol al 35%, vasos precipitados (500 ml), matraces cónicos (250 ml), Tamiz (1 mm y 5 mm), varilla de metal agitación, pinza de metal, hielo, cronometro, espátula, lampara, termómetro, rejilla de asbesto, pipeta, regla, hilo pabilo, probeta (100 ml), embudo de vidrio y guardapolvo de algodón.

#### **3.3.2. Equipos**

Lo equipos utilizados fueron, estufa, balanza analítica, estereoscopio marca Leica EZ4, GPS marca GARMIN etrex20, espectroscopia RAMAN, cocina eléctrica, agitador magnético.

#### **3.3.3. Softwares**

Para el proceso de datos, se emplearon diferentes herramientas y software, como Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), Google Earth Pro, Arc Gis 10,8, SPSS 27.

### **3.4. Tipo de investigación**

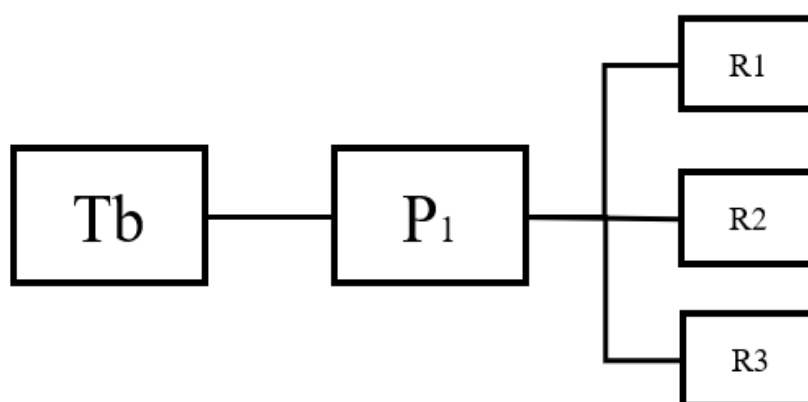
La investigación es de tipo no experimental y descriptivo, ya que implicaba observar y describir la concentración de microplástico en cada una de las muestras denotando como variable dependiente, y la variable independiente al suelo en el tramo La Muyuna – Luyando (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

### 3.4.1. Variables

- **Variables dependientes**  
Microplástico
- **Variables independientes**  
Suelo en el tramo La Muyuna - Luyando
- **Variables intervinientes**  
Factores ambientales (temperatura, humedad, precipitación, tiempo).

### 3.4.2. Diseño de la investigación

El diseño utilizado en la investigación consistió en seleccionar 9 puntos de muestreo [P1], a lo largo del tramo de exbotadero La Muyuna [Tb], en cada uno de los puntos se extrajo aproximadamente 400 g de suelo de un área de 1 m x 1 m a una profundidad de 0 – 10 cm, dentro de esta área establecida se tomó tres submuestras [R1, R2, R3], a fin de determinar la concentración y la identificación de microplásticos en cada punto de muestreo.



[Tb]: Tramo de La Muyuna, [P1]: Puntos de muestreo, [R1, R2, R3]: Repeticiones de cada muestra

**Figura 2.** Diseño de investigación

### 3.4.3. Diseño estadístico

Para el ajuste estadístico se realizó un ANOVA con 9 puntos, cada uno con 3 repeticiones. Se utilizó el programa SPSS para determinar el análisis estadístico con el nivel de significancia del 5%. Para el contraste de las medias, se utilizó la prueba estadística de DUNCAN con un 5% de error a fin de determinar la similitud entre puntos de muestreo.

### 3.5. Metodología

#### 3.5.1. Determinación de la concentración de partículas de microplásticos por muestra de suelo del tramo La Muyuna

##### 3.5.1.1. Caracterización de los puntos de muestreo

###### a. Diagnóstico de puntos de contaminación

Se inició el recorrido a partir de donde se observó la presencia de cúmulos de residuos sólidos (punto 1), cabe indicar que la presencia de residuos se encontraba muy próximo a la población. La finalidad era identificar sitios potenciales con contaminación plástica, además que presenten facilidad de acceso y extracción al momento de muestrear. Identificado los posibles puntos o sitios se realizó tomas fotográficas y se registró la información observada en un cuaderno. Se identificó 9 puntos potenciales con contaminación de residuos sólidos, los 5 primeros la acumulación de residuos era muy notoria, por el contrario, los puntos restantes los residuos se encontraban bajo una capa de suelo.

De acuerdo con la entrevista de algunos pobladores del asentamiento de 9 de octubre, indicaron que hace 60 años aproximadamente se ha venido arrojando residuos sólidos a orillas al río, a inicios se empezó a arrojar residuos cerca de la cantera La Muyuna y a media que se acumulaba los residuos sólidos se iba trasladando el botadero, cada vez más cerca de la ciudad. Los residuos que quedaban no eran llevados por las corrientes del río Huallaga, pasaban hacer invadidos por cobertura vegetal, o hacer sepultados por el mejoramiento de la trocha carrozable que une la ciudad de Tingo María y la ciudad de Naranjillo.



**Figura 3.** Puntos de los focos de contaminación

### **b. Determinación de puntos de muestreo**

Se utilizó la metodología de Zhaleh et al. (2022) y Afrin et al. (2020), en los procedimientos de extracción y recogida, secado, tamizado y separación por densidad.

Para la elección de la cantidad de puntos se aplicó un muestreo de identificación (Guía de Muestreo de Suelos, 2014), en función a nuestra área potencialmente contaminada por residuos, como muestra en el mapa (Anexo D). Los puntos de muestreo se seleccionaron al inicio y al final de cada transecto, donde cada transecto comprendía de 150 a 160 metros, que en total se establecieron 9 puntos de muestreo (P1, P2, ...P9).

Debido a la geomorfología que presenta el río Huallaga, se decidió utilizar referencias geográficas para su manejo. Lo que implicó georreferenciar el punto inicial (P1) y el punto final del exbotadero (P9), y a través del uso del programa Google Earth Pro, se logró una distribución entre los puntos ubicados entre P1 y P9 (P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8).

Es importante destacar que en algunos casos se realizó ajustes en la ubicación de ciertos puntos de muestreo debido a la inaccesibilidad de algunas áreas o a la compactación de los residuos, que se encontraban apilados uno encima de otro.

### **3.5.1.2. Concentración de partículas de microplásticos por muestra de suelo**

#### **a. Condiciones de seguridad de los materiales y muestras**

Puesto que los polímeros sintéticos son omnipresentes (Manrique, 2019; Moller, 2020), el riesgo de contaminación del muestreo es elevada, por este motivo se tomó precauciones durante cada procedimiento. Los materiales plásticos fueron evitados y reemplazados por materiales alternativos tales con vidrio o metal. Todo el equipo y los materiales se limpiaron meticulosamente con papel humedecido con agua destilada prefiltrada y etanol 70 % a fin de evitar la presencia de microfibras presentes en el polvo atmosférico sedimentable. Las muestras de campo se tomaron con herramientas metálicas y limpias y se almacenaron en recipientes de vidrio con tapa. La manipulación en laboratorio, se procuró usar ropa hecha con fibras naturales como el guardapolvo de algodón. Se tomó la precaución de cerrar ventanas y puertas del laboratorio durante la manipulación de las muestras, para evitar el ingreso de polvo, y se mantuvo una presencia mínima de personas en el área. Las herramientas que se utilizó en la manipulación de muestras se limpiaron a fondo antes de entrar en contacto. Debido a que durante la ejecución de la investigación se encontró presencia de prendas sintéticas, y otros factores que podrían contaminar las muestras, esto se evaluó con las muestras en blancos en el laboratorio.

**b. Toma de muestras del sitio de estudio**

Establecidos los 9 puntos de muestreo en el exbotadero La Muyuna, se llevó a cabo una serie de pasos. En primer lugar, se procedió a remover los residuos de origen vegetal o antropogénicos relativamente mayores a 5 cm. Posteriormente, se procedió a delimitar un cuadrante de 1 m x 1 m y se trazó una diagonal desde un vértice hasta el opuesto del cuadrado (Zhaleh et al., 2022).

**c. Recogida y traslado de las muestras**

Realizado la diagonal, se procedió a recolectar suelo con una pala metálica en los extremos de la diagonal y en la parte media, obteniendo tres muestras de aproximadamente 400 gr a una profundidad de 10 cm (Sajjad et al., 2022). Estas muestras se almacenaron en envases herméticos de vidrio, previamente rotulados (código, fecha y coordenadas). Este procedimiento se realizó para los ocho puntos de muestreo restantes. El cual se trasladó al laboratorio de Microbiología General de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

**d. Muestras en blanco de laboratorio**

En este ambiente se tiene en cuenta un tipo de muestra control ya que puede existir posibles contaminantes adheridos a las paredes u equipos, y que estos, por factores ambientales (aire) o actividades humanas podrían provocar una contaminación cruzada. Por lo cual, consistió en colocar un papel filtro humedecido con agua desionizada con ayuda de una pipeta, dentro de una placa Petri de vidrio, esta muestra en blanco estuvo durante el periodo de trabajo en el laboratorio (Moller, 2020).

**e. Secado y tamizado de las muestras**

Después de obtener las 27 muestras, se procedió a trabajar con cada una de ellas. Para ello, se depositó una muestra en una bandeja de aluminio para someterla a una partición, reducir y obtener una muestra representativa. La muestra se dividió en 4 partes iguales (cuartear). A continuación, se extrajo un cuarto de la muestra y se depositó en un vaso precipitado, considerando un peso 100 gr de suelo. Esta muestra se llevó a la estufa, donde se mantuvo a una temperatura constante de 50 °C durante 48 horas. Se aseguró de que la muestra no superara dicha temperatura, ya que esto podría haber provocado deformaciones en los microplásticos (Yan et al., 2021).

Tras obtener la muestra de suelo seca, se llevó a cabo el proceso de tamizado utilizando dos tamices diferentes con diámetro de 5 mm y 1 mm (Li et al., 2019). Para ello, se extrajo el vaso precipitado de la estufa y se depositaron porciones de la muestra en un mortero, donde se procedió a moler suavemente, sin ejercer mucha fuerza a los aglomerados

de suelo, evitando fragmentar las partículas de microplásticos, estas consideraciones se basaron en Wang et al. (2019). A continuación, el suelo triturado se depositó en el tamiz de 5 mm. Después de tamizar, se descartaron los residuos que quedaron en el tamiz, como piedras, materia vegetal plásticos de tamaño mayor a 5 mm.

Posteriormente, se realizó un segundo tamizado utilizando la malla de 1 mm sobre el suelo tamizado previamente. El material retenido en el tamiz de 1 mm se depositó en una placa Petri, para su posterior conteo de microplásticos superiores a 1 mm (Li et al., 2019).

#### **f. Digestión de las muestras**

El suelo que paso por el tamiz de 1 mm se depositó a un matraz cónico de 250 mL, y se colocó en una cocina eléctrica sobre una malla de asbesto. Previamente, se ajustó la temperatura de la cocina eléctrica a 70 °C, la cual se mantuvo constante durante todo el proceso de digestión de las muestras.

Como agente oxidante, se utilizó una solución de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% (peróxido de hidrogeno). Al inicio de la digestión, se agregó gradualmente la solución de  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30%. Se comenzó con 5 mL de solución y se aumentó la cantidad a medida que la materia orgánica se iba oxidando, llegando a un máximo de 10 mL. Para controlar la espuma excesiva de la reacción, se sumergió el matraz en un baño de agua fría (agua y hielo), evitando así su aumento rápido de la temperatura y rebalse, cuando la temperatura disminuía y la reacción se estabilizaba, se volvió a colocar el matraz en la cocina eléctrica. Además, se agitó constantemente la muestra con una varilla de metal para reducir la formación de espuma.

Los intervalos para agregar la solución oxidante tenían una duración aproximada de 10 a 20 minutos. La cantidad de agente oxidante variaba dependiendo de la materia orgánica presente en cada muestra, pero oscilaba entre 200 mL a 400 mL. Cuando el color de la muestra se tornaba un color blanco/grisáceo y la reacción era mínima, se retiraba la muestra de la cocina eléctrica y trasladaba a la estufa con una temperatura de 50 °C, donde se mantenía hasta que estuviera completamente seca. Esto preparaba a la muestra para el siguiente proceso (Li et al., 2019).

#### **g. Flotación o separación por densidad y filtración**

Después de haber realizado la digestión y el secado de la muestra, se agregó al matraz cónico 200 mL de solución salina con una densidad de  $1,2 \text{ gr/cm}^3$ , el matraz se cubrió con el papel craft sujetado con el hilo pabilo. La muestra se colocó en un agitador magnético donde se agitó a una velocidad de 200 rpm durante una hora, transcurrido ese tiempo se dejó reposar la muestra durante 48 horas. Pasado el tiempo establecido, se extrajo

aproximadamente 150 mL de sobrenadante haciendo uso de un sifón, teniendo cuidado de realizar la extracción manera suave y delicada. Al culminar el proceso previo, se agregaron nuevamente 100 mL de solución salina a una densidad de  $1,2 \text{ gr/cm}^3$  y se replicó el proceso con un tiempo menor de agitación reducido a 30 min. En esta replica se extrajo aproximadamente 50 mL de sobrenadante y se procedió a combinar ambos sobrenadantes (Li et al., 2019).

A continuación, se procedió a separar los microplásticos de los sobrenadantes utilizando la técnica de filtración con papel Whatman N.º 42. Los microplásticos quedaron retenidos en el papel filtro, el cual fue retirado del embudo y colocado de forma extendida en una placa Petri. Posteriormente se trasladó la placa Petri con los microplástico a un ambiente cerrado a temperatura ambiente (Afrin et al., 2020).

#### **h. Concentración de partículas de microplástico**

Consistió en llevar las placas con el papel filtro al estereoscopio para realizar su conteo, se consideró el estudio el estudio realizado por Hidalgo et al. (2012), Yang et al. (2021a) y Manrique (2019), que proporcionan las pautas para diferenciar los microplásticos de otras partículas. Para garantizar un conteo preciso de toda el área del papel filtro, se procedió a humedecerlo, lo que permitió que los microplásticos se adhieran y guarden distancia entre ellos, además, evito que se desprendieran durante el traslado al estereoscopio. Se colocó el papel filtro con los microplásticos debajo del objetivo del equipo, y se superpuso otro papel filtro recortado la cuarta parte. Esto creo un área específica para realizar el conteo exclusivamente en esa sección del papel. Para obtener el total, simplemente se multiplicó por cuatro.

#### **i. Conteo de los microplásticos de 1 mm – 5 mm**

Consistió en ubicar la placa Petri bajo la luz de un foco, y con la ayuda de una pinza se iba sujetando los microplásticos y colocando en otra placa Petri, los que superaban los 5 mm se descartaba al momento de realizar el conteo.

### **3.5.2. Identificación del tipo de microplásticos en el suelo del tramo La Muyuna**

#### **3.5.2.1. Obtención de plásticos para la identificación de microplásticos**

Los tipos de plásticos PA, TPP, PVC, SI, CA, PTFE, PP, PCP, PS, PEBD, CPP, ABS, PET, PC y PUR fueron a partir de piezas de plásticas de mayor tamaño. Estas piezas fueron sometidas a un proceso de trituración y corte para reducir su tamaño a menos de 1 cm. A partir de estas partículas pequeñas, se realizó un análisis con el equipo RAMAN, permitiendo obtener un espectro característico de cada tipo de plástico, el cual fue utilizado posteriormente para la identificación de los tipos de microplásticos presentes en cada muestra del estudio (Tabla 2).

**Tabla 2.** Materiales de origen para la obtención de espectros de referencia

| Material de origen   | Polímero                         | Abreviatura      |
|----------------------|----------------------------------|------------------|
| Cuerda de nylon      | Poliamida                        | PA               |
| Tubo de agua         | Policloruro de vinilo            | PVC              |
| Esmalte de uñas      | Trifenil de fosfato              | TPP              |
| Silicona de barra    | Silicona                         | SI               |
| Suela de zapatos     | Caucho sintético                 | Caucho sintético |
| Tecnopor             | Poliestireno                     | PS               |
| Bolsas de mercado    | Polietileno de baja densidad     | PEBD             |
| Envase de lejía      | Polietileno de alta densidad     | HDPE             |
| Macetas color marrón | Polipropileno                    | CPP              |
| Esponjas de cocina   | Poliuretano                      | PUR              |
| Control de TV        | Acrilonitrilo butadieno estireno | ABS              |
| Botella descartable  | Tereftalato de polietileno       | PET              |
| Lentes de gafas      | Policarbonato                    | PC               |

### 3.5.2.2. Identificación del tipo de polímero

Para la identificación de microplásticos por método RAMAN constó de cuatro pasos, siendo:

- **Preparación de la muestra:** Realizado el paso anterior, se llevó las muestras de suelo al Laboratorio de Investigación. La placa con el papel filtro se coloca debajo del objetivo del estereoscopio, es donde se identificó dos a tres posibles microplásticos, en el cual sirvió para el siguiente paso.
- **Análisis con espectroscopia RAMAN:** El papel filtro donde se identificó los dos microplásticos, se trasladan al objetivo del RAMAN donde identifican el microplástico con referencia al paso anterior, procediendo a colocar uno a tres puntos de lecturas. Para la lectura se utiliza un láser para irradiar los puntos seleccionados (muestra), y un detector recoge la luz dispersada registrando el espectro de dispersión RAMAN resultante.
- **Adquisición de espectros RAMAN:** Durante el análisis, se adquirieron los espectros de dispersión RAMAN de la muestra. Esto implica recopilar información sobre la intensidad (potencia del láser) y la frecuencia de la luz dispersada. La duración del análisis puede

variar según la cantidad y la complejidad de los microplásticos seleccionados en cada punto de la muestra.

- **Procesamiento de datos y espectro:** Una vez recopilados los espectros RAMAN, se procesó los datos utilizando software propio del RAMAN. Este ayudó a realizar el análisis espectral, así mismo, comparó los patrones obtenidos con una base de datos de referencia que contiene los espectros RAMAN característicos de diferentes tipos de plástico. Este Software utiliza algoritmos y técnicas de análisis para identificar al microplástico y arrojarle como resultado el tipo con los espectros con mayor similitud.

### **3.5.3. Análisis de los efectos del microplástico en el suelo**

Mediante enfoque basado en referencias bibliográficas, se buscó comprender cómo los microplásticos pueden interactuar con el suelo y potencialmente afectar su funcionamiento y los organismos presentes en él. Se consideraron los diferentes microplásticos identificados en el suelo de La Muyuna y se analizaron los estudios existentes para obtener una visión integral de los posibles efectos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de la Concentración de partículas de microplásticos por muestra de suelo

Se tiene una descripción de cada uno de los nueve puntos de muestreo, evidenciando que el punto P4 presentaba la mayor cantidad de residuos plásticos, en contraste punto 6 mostraba escasa contaminación de residuos plásticos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Caracterización de los puntos de muestreo

| Punto | Caracterización                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Imagen                                                                                |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Se observaron residuos de carpintería (melamina), lozas, fierros oxidados, escombros de construcción, vidrios y residuos sólidos de menor tamaño en una cantidad no muy considerable. Estos residuos se encontraban incinerados.                                                                                           |   |
| 2     | En este punto se registró la presencia de bolsas plásticas, envoltorios de galletas, caramelos y otros residuos similares. Además, el suelo exhibe una coloración oscura debido a la incineración de los residuos. El terreno muestra una pendiente pronunciada, con vegetación de menor tamaño.                           |  |
| 3     | Se evidenció acumulación de diversos tipos de residuos en suelo, así como en la vegetación herbácea circundante. Es importante resaltar que algunos residuos plásticos se veían fragmentados. El terreno presenta una pendiente moderada.                                                                                  |  |
| 4     | Se constató la existencia de una alta cantidad de residuos plásticos de diversa índole, como envases descartables, bolsas de distintos tipos, plásticos gruesos, entre otros. El terreno presenta una pendiente suave, lo que dificulta el arrastre de los residuos hacia el río. Escasa presencia de vegetación en punto. |  |

| Punto | Caracterización                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Imagen                                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 5     | Se identificó una notable acumulación de escombros de concreto, mientras que la presencia de residuos fue escasa. Se observó una vegetación herbácea en mismo punto y arbórea a la orilla del río. Presenta una pendiente suave.                                                                                                                            |    |
| 6     | En este punto durante temporadas de lluvias, el río experimenta desbordamientos debido a la textura arenosa del suelo, y a la escasa presencia de residuos plásticos. Se observa una vegetación arbórea.                                                                                                                                                    |    |
| 7     | Compuesta por hierbas, arbustos y árboles con un tamaño variado. Se observó presencia de piedra chancada, como resultado de la trocha carrozable. En cuanto a los residuos, se registraron bolsas y envases de comida rápida. Textura de suelo arena fina y gruesa y piedra molida.                                                                         |   |
| 8     | Los residuos plásticos estaban enterrados bajo el suelo, evidenciado fragmentación y proceso de degradación. Al mismo tiempo, se constató la presencia de residuos sólidos cerca al punto. El suelo es de textura arcillosa.                                                                                                                                |  |
| 9     | En el punto a muestrear no hubo presencia de residuos plásticos, debido a la construcción de un muro de contención que previene desbordamiento del río hacia la trocha carrozable. A pocos metros del punto se visualizó residuos arrojados en gran cantidad. El suelo presentó una textura arenosa y la vegetación está compuesta por herbáceas y arbusto. |  |

En el estudio realizado por Van Emmerick et al. (2019), se encontró que las crecidas de los ríos tienen la capacidad de movilizar los plásticos acumulados en las riberas mediante el aumento de la velocidad del flujo y el nivel del agua (Treilles et al., 2022). Además, Hurley et al. (2018) señalan que los microplásticos identificados en las riberas del río, disminuyó a un 70% después de una inundación, lo que indica que las altas descargas en el río aumentan la movilización de los microplásticos. Asimismo, Roebroek et al. (2021) y Lebreton

et al. (2017) han cuantificado el impacto estacional de las descargas y eventos de flujo utilizando modelos de descargas mensual, precipitación y escorrentía, destacando que esto podría subestimar los efectos de las inundaciones en la movilización de los plásticos (Van Emmerick et al., 2023). Estos hallazgos se reflejan en el P6, que se encuentra ubicado en las orillas del río Huallaga, se observó la menor presencia de microplástico en el suelo, ya que en temporadas de lluvias se producían inundaciones por el desborde del río llevando consigo los microplásticos depositados en ese punto (Tabla 2).

Con lo mencionado al párrafo anterior, el punto P9 también se encontraba en las orillas del río Huallaga, pero a diferencia del P6, contaba con un muro de contención. Según el estudio de Roebroek et al. (2021) mencionan que las defensas contra inundaciones reducen gradualmente la movilización de los plásticos en los ríos. Sumándole a ello, Ponti et al. (2022) sugiere invertir en sistemas de contención capaces de limitar la movilización de los microplásticos durante eventos de inundación. Por otra parte, Van Emmerick et al. (2023) mencionan que el transporte de plásticos en el río se ve influenciado por la dinámica de retención y la infraestructura existente (Liro et al., 2020). En base a nuestros resultados, podemos inferir que los microplásticos fueron influenciados tanto por el muro de contención como por la dinámica de retención, lo cual explica las bajas concentraciones de microplásticos encontradas en el P9.

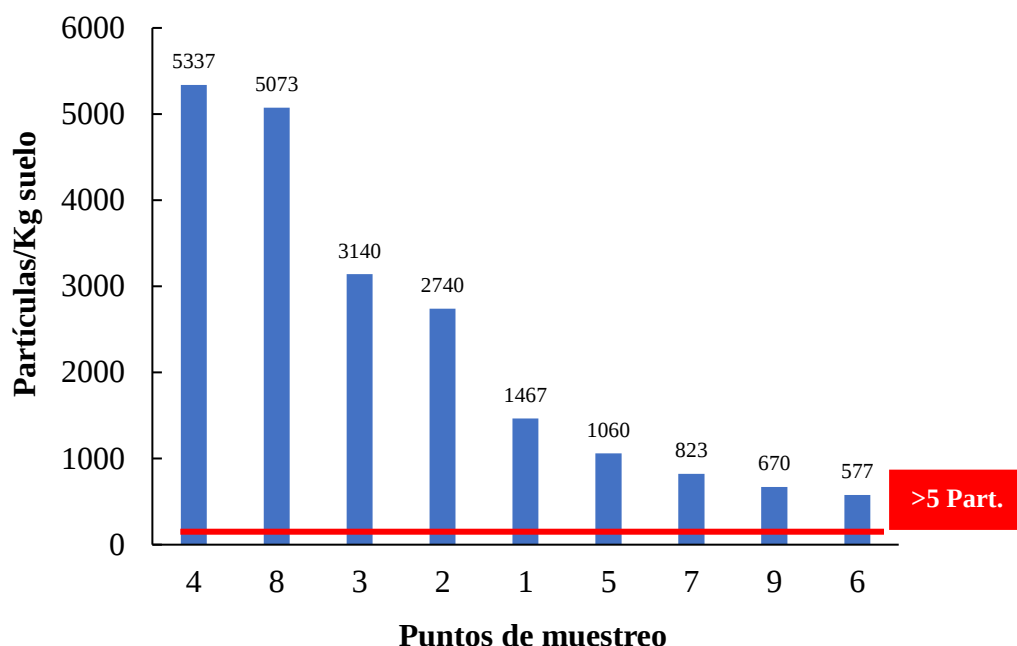
Cesarini y Scalici (2022), en su estudio, observaron una diferencia en la presencia de plásticos entre áreas con vegetación ribereña y áreas sin vegetación ribereña, lo que demuestra la influencia de la vegetación en la retención de plásticos, dichos plásticos retenidos pueden degradarse debido a factores ambientales como temperatura, presión, rayos UV y procesos biológicos. Según Van Emmerick et al. (2023), Liro et al. (2020) y Bruge et al. (2018), señalan que la vegetación ribereña actúa como trampa y sumidero de basura. Por otro lado, Xu et al. (2020) mencionan que las raíces de las plantas afectan a la migración de microplásticos, por lo que Huang et al. (2020) atribuyen que los suelos con vegetación presentan una mayor concentración de microplásticos debido a las sustancias pegajosas secretadas por las raíces, que adhiere los microplásticos permitiéndole su permanencia. En los resultados obtenidos se puede constatar lo mencionado, ya que el P3 fue el tercer punto con mayor concentración de microplástico, así mismo se encontraba con cobertura vegetal.

La incineración de residuos plásticos se considera una opción para la eliminación permanente de estos desechos. Sin embargo, aún quedan residuos no quemados en las cenizas de fondo, los cuales son pequeños residuos sólidos (Yang et al., 2021b). Además, la incineración de residuos plásticos es una de las principales causas de la generación de

microplásticos secundarios. Además, Castañeda et al. (2022) señalan que, durante el proceso de incineración, los residuos plásticos se someten a altas temperaturas y se descomponen en partículas más pequeñas (microplásticos). Estos microplásticos se liberan al medio ambiente a través de humo y cenizas resultantes de la incineración, lo que contribuye a la generación de residuos adicionales (Fernández, 2022; Conesa, 2020). En el presente estudio, se pudo observar que la presencia de microplásticos en proporciones menores en los puntos P1 y P2, a pesar de la incineración de los residuos vertidos. Este hallazgo es respaldado por el estudio de Yang et al. (2021b), lo cual mencionan que la incineración no elimina por completo los desechos plásticos, y que las cenizas de fondo pueden seguir siendo una fuente potencial de microplásticos, además los polímeros con mayor abundancia fueron el polipropileno (PP) y poliestireno (PS), por lo que en nuestro estudio (P2) se observó la presencia del poliestireno, constatando con el autor.

Los vertederos y otros depósitos han sido identificados como fuentes de partículas que pueden ser transportadas y depositadas en diferentes entornos (Rillig et al., 2012). Estas partículas pueden afectar de manera directa a las fuentes de agua y la calidad del aire, perjudicando en gran parte a los asentamientos cercanas a estos botaderos (Grijalva et al., 2020; Bernache, 2012). Khoo et al. (2021), destacan que este fenómeno se debe a la degradación del plástico, lo cual conlleva a la liberación de microplásticos secundarios que representan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana. En el caso del exbotadero La Muyuna, objeto de estudio en esta investigación, se ha constatado que funciona como una fuente de contaminación, liberando microplásticos tanto al aire como al río Huallaga. Esta afirmación está sujeta por la investigación de Lino (2022), quien encontró microplásticos en el agua y los sedimentos del río Huallaga, partículas que son originadas por residuos del entorno y por residuos plásticos llevados por el agua. Por otra parte, Huanaco (2019) identificó microplásticos en los sedimentos del río Rímac, causado por la contaminación de residuos sólidos arrojados al río (Olazabal, 2017). Estos hallazgos brindarían solidez a las afirmaciones de los autores mencionados al inicio.

La concentración de microplásticos que se encontró en los 9 puntos de muestreo presentó un rango variado. El punto 4 mostró la mayor concentración promedio con 5 337 partículas, a diferencia del punto 6 que registró la menor concentración promedio con 577 partículas por kilogramo de suelo (Figura 4), así mismo se estimó 17 612 320 microplásticos del área de 7 200 m<sup>2</sup> el cual abarca desde el punto 1 al punto 9.



**Figura 4.** Concentración total de microplástico por punto de muestreo

Estudios previos realizados en vertederos, como el de Mahesh et al. (2023), reportan concentraciones de microplásticos en un rango de 180 a 1 120 partículas por kg de suelo. De manera similar, Puthcharoen (2019) y Zhaleh et al. (2022) mencionan que obtuvieron valores de 1 458 y 1 807 partículas microplásticos por Kg de suelo. Por otro lado, el estudio de Su et al. (2019) registró una concentración de 12 000 partículas de microplásticos por Kg de suelo. En contraste, el estudio de Gowda et al (2022), mostraron una concentración más baja, con cantidades de 370 – 470 partículas/kg de suelo. En comparación con el estudio realizado, las concentraciones obtenidas variaron de 577 – 5 337 partículas por kg/suelo. Estas investigaciones sostienen el estudio realizado, validando lo propuesto en la hipótesis, superando la concentración de 5 partículas kg/ de suelo.

Las diferentes concentraciones de microplásticos encontradas en los estudios previos pueden atribuirse principalmente a la descarga de los residuos sólidos en los vertederos Gowda et al. (2022) y Wang et al. (2015), que se especula teóricamente actúan como un reservorio de microplásticos. Por ejemplo, el vertedero de Shanghai Laogang que recibe 12 000 toneladas de residuos urbanos al día, con un aumento anual del 10 % en plásticos (Su et al., 2019), del mismo modo el estudio Mahesh et al. (2022) señalaron que el vertedero informal de Mysore recibe más de 600 toneladas de desechos al día, estimando que alrededor del 50% de esa cantidad corresponde a plásticos. Así mismo el vertedero Nonthaburi recibe más de 200 toneladas de residuos sólidos ECEB (2019), de las cuales aproximadamente el 16,83% son plásticos de un solo uso (Puthcharonen, 2019). En comparación, el exbotadero La Muyuna, que

solía recibir 50 toneladas diarias de residuos sólidos, de las aproximadamente el 25% eran plásticos, según el estudio de caracterización de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado (MPLP, 2021), muestra una concentración alta de microplásticos, a pesar de que gran parte de los residuos sólidos eran transportados por el río Huallaga. Estos hallazgos evidencian la influencia significativa de la cantidad y el tipo de residuos depositados en los verteros.

Su et al. (2019) mencionan, que la falta de una clasificación sistemática de los desechos y el bajo relativo en reciclaje de productos plásticos contribuye a que los residuos sólidos terminen en un vertedero saturado de residuos de todo tipo, trayendo consigo microplásticos de toda forma y tamaño, contaminado sus entornos circundantes, y de seguir la mala gestión seguirá incrementado los residuos en los vertederos, Ssemugabo (2020) debido a que los hogares utilizan un solo depósito para almacenar todos los residuos sólidos, por eso recomienda realizar concientizaciones entre otras actividades para mejorar la gestión de residuos. De la cadena (2019) menciona que, la ciudad de Tingo María de acuerdo a la encuesta que aplicó determinó que todos los indicadores analizados califican que presentó una gestión municipal regular, Namuche (2021) en cuanto a los planes estratégicos institucionales presentó un bajo nivel de cumplimiento, Calero (2019) y contando con una relación directa y positiva entre la comunicación organizacional y la eficiencia de los colaboradores de la municipalidad. A pesar de los avances en el cierre del exbotadero La Muyuna, todavía persiste una brecha de -81,14 Ton/mes en la gestión de residuos inorgánicos entre los distritos de Rupa Rupa y Castillo Grande. Además, en los residuos sólidos mezclados se registra una brecha de -304,5 Ton/mes entre estos distritos, lo que indica una oferta excesiva en comparación con la demanda. Cabe destacar que solo Rupa Rupa cuenta con programa de segregación y recolección selectiva, mientras que Castillo Grande está en proceso de implementar dichos programas; pero aún no logra una cobertura total debido a limitaciones de recursos humanos, capacidad logística y presupuesto. Estas dificultades se ven agravadas por las actitudes no colaborativas de la población, según MPLP (2019).

Zhaleh et al. (2022) y Su et al. (2019) mencionan que en vertederos antiguos (mayores de 20 años), presentan una abundancia significativamente menor de microplásticos con respecto a vertederos de mediana edad (menores a 10 años). Además, Zhou et al., (2014) afirman que los residuos plásticos en vertederos representan 2,95% - 30%, y a medida que pasa los años este porcentaje va disminuyendo, siendo la principal causa que los mesoplásticos y macroplásticos son convertidos a microplásticos, por abrasión física, fragmentación y degradación (FAO, 2017). Por otro lado, Huerta Lwanga et al. (2017) y Souza Machado et al.

(2018) atribuyen como posible causa el tipo de plástico, el tiempo que se encuentran en el vertedero, la temperatura, la acidez y la alcalinidad, debido a que los microplásticos pueden absorber sustancias nocivas, metales pesados, contaminantes orgánicos y cambiar las propiedades físicas del suelo, como aumentar la porosidad. Lo que permitiría que ciertos microorganismos degradan los microplásticos (Andia y Pérez, 2020; Park y Kim, 2019) más lentamente que otros, y debido a su menor tamaño por su degradación facilita su transporte a niveles más inferiores del suelo (Ramos, 2021 y Su et al., 2019). Lo mencionado con los autores explicaría la menor concentración de microplásticos en los puntos de muestreo más alejados como P5, P6, P7 y P9 a excepción del P8, cabe indicar que aun en este punto se evidenciaba arrojado de residuos sólidos, a diferencia de los 4 primeros puntos (P1, P2, P3 y P4), debido a que los residuos sólidos arrojados en el exbotadero inicio desde la parte más alejada (P9), y conforme se iba acumulando los residuos en el exbotadero se iba trasladando más cerca de la asentamiento humano 9 de octubre.

He et al. (2019) afirmaron que los microplásticos encontrados en diversas muestras de suelo en vertederos, el 99,36 % son originados a partir de la fragmentación de residuos plásticos. Estos residuos se descomponen en partículas más pequeñas mediante procesos físicos, químicos y biológicos (Sajjad et al., 2022; Monkul y Özhan, 2021; He et al., 2019). Este proceso esta influenciado por diversos factores, como el tipo de polímero, la edad de los plásticos, y procesos ambientales, entre ellos se encuentra la meteorización, la acidez, la alcalinidad y la temperatura (Afrin, 2020; Akbay y Ozdemir, 2016). Por otro lado, Gowda et al. (2022) mencionan que los microplásticos en los suelos se generan como resultado de la erosión de la basura plástica en los vertederos. Es por ello, que los autores atribuyen a los vertederos como una fuente principal de microplásticos, asimismo, son capaces de almacenar, fragmentar y liberar mayor cantidad de microplásticos en el medio ambiente (Leitao et al., 2023; Wojnowska-Baryła et al., 2022b; Upadhyay, 2021; Puthcharoen 2019).

En la Tabla 4, existe diferencias significativas de concentraciones de microplásticos, entre los puntos de muestreo.

**Tabla 4.** ANOVA concentración de microplásticos en los puntos de muestreo

| Fuente de variación | SC                 | GL        | CM         | F     | Sig.   |
|---------------------|--------------------|-----------|------------|-------|--------|
| Puntos de muestreo  | 838 231,41         | 8         | 104 778,93 | 22,72 | <0,01* |
| Error aleatorio     | 83 015,33          | 18        | 4 611,96   |       |        |
| <b>Total</b>        | <b>921 246,741</b> | <b>26</b> |            |       |        |

\* Diferencia significativa al 99%

Su et al. (2019) en su estudio determinaron los patrones de distribución y la concentración de microplásticos en muestras de vertederos nuevos, jóvenes y viejos. Sus resultados en ANOVA sugirieron que la edad del vertedero afecta significativamente la distribución y concentración de los microplásticos, podemos inferir que los resultados obtenidos de este estudio se pueden tomar como significativos, ya que el ANOVA registró que tenemos diferencias significativas entre concentraciones de cada punto de muestreo

En la Tabla 5 se observa que los P6, P9, P7, P5 y P1 presentaron menores concentraciones de microplásticos estadísticamente similares, por otro lado, los P8 y P4 se caracterizaron por presentar mayores concentraciones de microplásticos.

**Tabla 5.** Prueba de comparación de medias (DUNCAN)

| Puntos      | Repeticiones | 1            | 2            | 3            |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 6           | 3            | 57,67        |              |              |
| 9           | 3            | 67,00        |              |              |
| 7           | 3            | 82,33        |              |              |
| 5           | 3            | 106,00       |              |              |
| 1           | 3            | 146,66       |              |              |
| 2           | 3            |              | 274,00       |              |
| 3           | 3            |              | 314,00       |              |
| 8           | 3            |              |              | 507,33       |
| 4           | 3            |              |              | 533,67       |
| <b>Sig.</b> |              | <b>0,190</b> | <b>0,480</b> | <b>0,641</b> |

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

#### 4.2. Identificación del tipo de microplásticos en el suelo en el tramo La Muyuna

En la Tabla 6 se presentan ejemplos concretos de los tipos de plásticos utilizados, los cuales fueron identificados en los distintos puntos de muestro analizados.

**Tabla 6.** Uso de los tipos de polímeros identificados en las muestras

| Micro plástico | Puntos     | Uso                                                                                                                                                                                                                       | Foto                                                                                  |
|----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| PS             | 1, 3,4,5,6 | Tapas cristalinas de Cds, micas, vasos de yogurt, cubetas de helados, envases de lavavajillas, cartones, charolas para carnes, charolas para servicio de alimentos, empaques para comidas rápida, aislamiento (Tecnopor). |  |

| Micro plástico | Puntos     | Uso                                                                                                                                                                                                                                                           | Foto                                                                                  |
|----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| HDPE           | 1, 2, 3, 4 | Envases (lejía, aceites automotores, shampoo, suavizante, lácteos, botellas de lácteos, detergentes líquidos, gaseosas. pintura, helados).                                                                                                                    |    |
| LDPE           | 2, 7       | Bolsas de todo tipo (supermercado, basura, pan, acolchado agrícola y base de pañales desechables, empaques de alimento, empaques de plástico de papel higiénico, empaques de detergentes, empaque de film), tuberías para riego, mangueras, tapas y juguetes. |    |
| PP             | 4          | Baldes, tinas, rafia, estuches negros de CD, tapas de bebidas, tapers, jarras, aislamiento para cables eléctricos. Se implementa para la producción de ropa e incluso productos sanitarios para absorber líquido (pañales y toallas higiénica).               |   |
| PA             | 4, 5       | Tuberías y mangueras para combustibles líquidos y gases, indumentaria, films para la preservación de alimentos.                                                                                                                                               |  |
| PVC            | 8, 4       | Revestimiento de vinilo, tarjeta de banda magnética, perfil de ventanas, tuberías de agua, tuberías de desagüe y eléctricas, tuberías y accesorios de fontanería y conductos, aislante de cable eléctrico, botellas.                                          |  |
| PTFE           | 9          | Purificación de aire, membranas impermeables y transpirables, equipos médicos, eléctricos, líneas de señal, prótesis, implantes, procedimientos quirúrgicos, batas, y sabanas, teflón, fuelles, mangueras, empaques.                                          |  |
| PET            | 9          | Botellas de aceite, botellas de bebidas, cojines, almohadillas, fibras para correa, cinchas, cajas rígidas, carcasas de tv, radio, cajas de CD, carcasa de electrodomésticos, retrovisores.                                                                   |  |

El poliestireno (PS) se utiliza en diversas aplicaciones, como la fabricación de envases de alimentos, bandejas para diferentes productos y embalajes para productos frágiles (Kim et al., 2021; Gutiérrez, 2019). En la presente investigación, se observa la presencia del poliestireno en los puntos P1, P3, P4, P5 y P6 en diversas formas, como tapas cristalinas de CDs, micas, vasos de yogurt, cubetas de helados, envases de lavavajillas, bandejas para carnes, charolas para servicios de alimentos, empaques para comidas rápidas, cajas y envases de Tecnopor (Tabla 6). Estos resultados concuerdan con el estudio de caracterización de residuos sólidos de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado (MPLP, 2021), difiriendo en las bandejas para carnes, charolas y empaques para comida rápidas. Además, los estudios realizados por Richard et al. (2023a) y Richard et al. (2021b) encontraron este mismo tipo de plástico, proveniente de envases de comidas y vasos térmicos, en vertederos.

Según el estudio de MPLP (2021), en la composición de plásticos polietileno de alta densidad (HDPE, PEHD o PEAD) se encontraron en bolsas de un solo uso, envases de lácteos, shampoo, detergente líquido, suavizante. Estos hallazgos se corroboraron en la presente investigación (P1, P2, P3 y P4), en adición de envases de detergentes, lejía, aceites automotores, gaseosas, pintura y botellas. Agregando a lo mencionado, Wani et al. (2020) afirman que este plástico es considerado seguro para envasar alimentos y bebidas, por lo cual, su aplicación es en artículos domésticos cotidianos, envases para aceite, lejía, pintura y botellas (CEMN, 2015). Por otra parte, la presencia del polietileno de alta densidad en los suelos tiene efectos negativos como en la germinación de las semillas de las plantas, también en el aumento de biomasa de las raíces, siendo un indicador de estrés en las plantas (Zhang et al., 2023). En cuanto a la presencia de lombriz presenta una pérdida de biomasa (Cheng et al., 2021). Y respecto al pH del suelo tiende a acidificarse a medida que se acumula este microplástico (Boots, 2019).

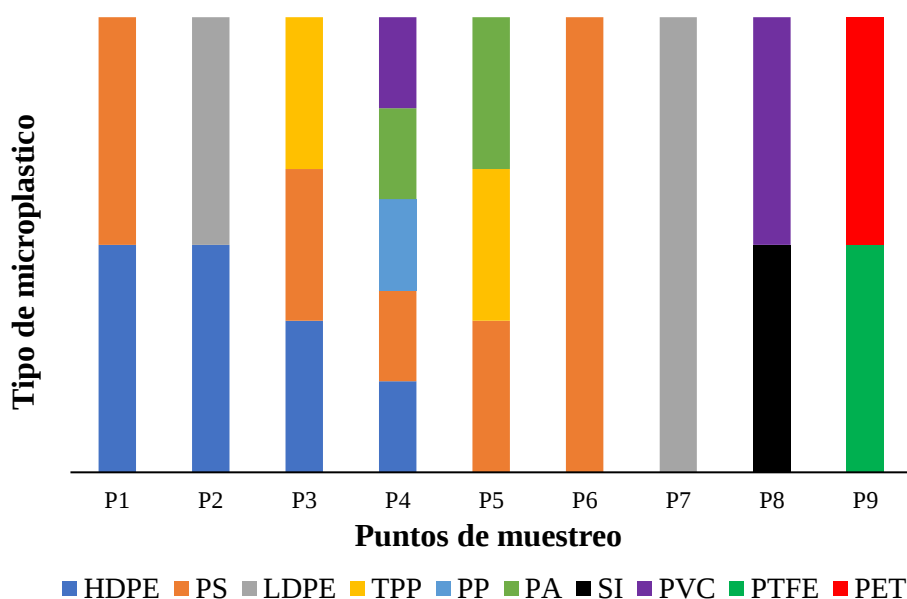
En las últimas décadas la producción desenfrenada de plástico ha generado una preocupante contaminación ambiental (Sajjad et al., 2022; Environment and Climate Change Canada [ECCC], 2020). De acuerdo con Plastics-Europe (2019), la producción mundial anual de plástico en 2018 fue de 359 millones de toneladas. Además, Monkul y Özhan (2021) mencionan que la producción mundial anual alcanza los 400 millones de toneladas. Sin embargo, solo se recicla entre el 6% y el 26% de estos materiales, lo que implica que el 74% al 79% termina en el vertedero (Sin et al., 2023; Monkul y Özhan, 2021; Geyer et al., 2017). Esta situación evidencia que los vertederos abundan microplásticos (Upadhyay, 2021). Además, Soltani et al. (2022) y la ECCC, (2020), señalan que la liberación significativa de microplásticos al medio ambiente es resultado de una gestión inadecuada de los desechos y un comportamiento humano inapropiado.

En la Tabla 7 se observa los tipos de microplásticos por cada punto de muestreo, en ellos se identificaron casi todos los plásticos más comunes como el poliestireno (PS) en cinco puntos siendo el más abundante, polietileno de alta densidad (HDPE) identificados en cuatro puntos, el polietileno de baja densidad (LDPE) y poliamida (PA) en dos puntos, mientras que el polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), politetrafluoroetileno (PTFE), y polietileno tereftalato (PET) solamente se identificaron en un punto.

**Tabla 7.** Cantidad del tipo de microplásticos por puntos muestreados

| P | Tipos de microplásticos |    |      |     |    |    |    |     |      |     |
|---|-------------------------|----|------|-----|----|----|----|-----|------|-----|
|   | HDPE                    | PS | LDPE | TPP | PP | PA | SI | PVC | PTFE | PET |
| 1 | X                       | X  |      |     |    |    |    |     |      |     |
| 2 | X                       |    | X    |     |    |    |    |     |      |     |
| 3 | X                       | X  |      | X   |    |    |    |     |      |     |
| 4 | X                       | X  |      |     | X  | X  |    | X   |      |     |
| 5 |                         | X  |      | X   |    | X  |    |     |      |     |
| 6 |                         | X  |      |     |    |    |    |     |      |     |
| 7 |                         |    | X    |     |    |    |    |     |      |     |
| 8 |                         |    |      |     |    |    | X  | X   |      |     |
| 9 |                         |    |      |     |    |    |    |     | X    | X   |

En la Figura 5, se tiene que el P4 se encontró la mayor diversidad de plásticos siendo HDPE, PS, PP, PA y PVC, seguido del P5 con HDPE, PS y TPP, de igual manera el P3 presentó tres tipos de plásticos PS, TPP y PA, a diferencia del punto P7 y P6 que solo se identificó un solo tipo de plástico.



**Figura 5.** Diversidad de microplásticos por punto de muestreo

En el estudio realizado por Tun et al. (2022), se evaluaron los tipos de microplásticos presentes en el suelo vertedero, de los seis muestreos realizados, encontró polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), cloruro de vinilo (PVC), metacrilato de polimetilo (PMMA), ftalato de polidialilo (PDADP), poliuretano (PUR) y resina epoxi (Epo). Estos resultados concuerdan con los polímeros identificados en el estudio de Monkul y Özhan (2021), a excepción del ácido poliláctico (PLA) en suelos de vertederos. Asimismo, Su et al. (2019) detectaron microplásticos en el suelo de verteros muy similar a los autores mencionados en adición al polímero etilenvinilacetato (EVA). En el presente estudio se pudo apreciar la presencia de polietileno, polipropileno, tereftalato de polietileno y cloruro de vinilo se pudo apreciar en el estudio (Tabla 6).

El poliestireno (PS) es un tipo de polímero comúnmente utilizado en la fabricación de plásticos duros, como envases para alimentos, recipientes, vasos, platos y artículos de laboratorio (Gutiérrez, 2019; Andía, 2022). Sin embargo, una vez que los desechos del poliestireno se liberan al ambiente, pueden fragmentarse fácilmente en pedazos más pequeños y ser transportados por el aire, el agua, y al suelo a distancias lejanas de su lugar de deposición (Monkul y Özhan, 2021). Además, este polímero es muy persistente en el suelo, logrando ingresar al suelo verticalmente. Kukharchyk y Chernyuk, (2020) en su estudio revelaron que este polímero, en las muestras de suelo se registró altas concentraciones en la superficie y profundidad (10 a 15 cm) del suelo. Es por ello, que en la presente investigación el poliestireno fue el plástico más predominante en las muestras de suelo (Tabla 6).

Ramos (2021) ha señalado que el transporte de microplásticos en el suelo es un proceso complejo, que puede involucrar pérdida por acción del viento, transporte vertical a estratos más profundos y desplazamiento por escorrentía superficial. Además, Pressler (2020) destaca la capacidad de migración de los microplásticos de un lugar a otro, y Luna (2020) enfatiza que este desplazamiento puede ocurrir aún más rápidamente en terrenos con pendiente, lo que permite que los microplásticos recorran distancias mayores. Cabe mencionar que la presencia de vegetación puede afectar este transporte, ya que Huang et al. (2020) y Xu et al. (2020) han demostrado que la vegetación tiene la capacidad de retener los microplásticos en el suelo. En el presente estudio, es importante recordar que durante el funcionamiento del exbotadero La Muyuna, los puntos de muestreo P1, P2 y P3 presentaban escasa o nula vegetación. Esto indica que la disminución de microplásticos en el suelo del exbotadero La Muyuna, viene siendo afectada por un desplazamiento hacia el río Huallaga, lo cual se sujeta que estos puntos se encontraban en las cercanías del río y presentaban pendientes pronunciadas.

En el estudio realizado por Wojnowska-Baryla et al. (2022a), se encontró que los plásticos HDPE, LDPE, PP, PET, PS y PVC representan aproximadamente el 48-60% de los residuos depositados en vertederos, y el consumo per cápita de HDPE es de 81 kg por habitante. Según el estudio de caracterización de la MPLP (2021), la composición total de plásticos es del 11,95%, siendo el HDPE un 3,36% de esa composición. Por otro lado, los estudios de Su et al. (2019) y Zhaleh et al. (2022) indican que en vertederos más antiguos se encuentra una menor abundancia de microplásticos en comparación con vertederos de mediana edad. En nuestros resultados, los puntos P1, P2, P3 y P4, que aún recibían residuos, mostraron la presencia del HDPE, constatando con lo señalado con los autores. El HDPE es resistente a la degradación química y puede tardar décadas en descomponerse por completo. Sin embargo, la exposición a la luz solar puede provocar fotooxidación y la degradación puede ocurrir debido a tensiones biológicas y mecánicas, lo que genera que los desechos del HDPE se vuelven quebradizos y se fragmentan gradualmente en partículas más pequeñas a nivel micrométrico. Estos factores explican la presencia del HDPE en las muestras tomadas a 10 cm de profundidad del suelo del vertedero Muyuna, asimismo, atribuye la predominancia de este microplástico.

#### 4.3. Análisis de los efectos del microplástico en el suelo

En la Tabla 8 se muestra los efectos en el suelo según los microplásticos identificados en el tramo La Muyuna en todos los puntos de muestreo. Estos hallazgos representan repercusiones significativas de los microplásticos en el medio terrestre y, por ende, en el ambiente general.

**Tabla 8.** Efectos en el suelo según la presencia de los microplásticos identificados en el tramo La Muyuna

| Microplástico identificado   | Abrev. | Efectos en el suelo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Poliestireno                 | PS     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afecta la respiración y el contenido de carbono orgánico (Xu et al., 2023b).</li> <li>- Altera los procesos bioquímicos y el ciclo de nutrientes a través de las comunidades y actividades microbianas (Xu et al., 2023b)</li> <li>- Afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Wang et al., 2022).</li> </ul> |
| Polietileno de alta densidad | HDPE   | <p>Según Boots (2019):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminuye en la germinación de semillas de las plantas, aumenta la biomasa en las raíz, siendo un indicativo de estrés en la planta.</li> <li>- Acumulación de este microplásticos, tiende acidificar al pH del suelo.</li> </ul>                                                                         |

| Microplástico identificado   | Abrev. | Efectos en el suelo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Polietileno de baja densidad | LDPE   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Afecta a la estructura de la red del suelo (Ya et al., 2022).</li> <li>- Afecta las propiedades fisicoquímicas, actividad enzimática, comunidad microbiana (Ya et al., 2022), comunidad funcional como el N (Rong et al., 2021).</li> </ul>                                                              |
| Polipropileno                | PP     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inhibe la estabilización de Cd durante su envejecimiento y aumenta su concentración de biodisponibilidad en el suelo (Cao et al., 2023 y Guo et al., 2023).</li> <li>- Disminuye el contenido de fosfato (Li y Lui, 2021).</li> </ul>                                                                    |
| Poliamida                    | PA     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- En suelo contaminado por perfluoroalquilos (PFAS), son adsorbidas por PA, desempeñando como vectores y transportadores a medios acuáticos (Mejías et al., 2022).</li> <li>- Presenta afinidad por metales divalentes (Cu, Zn, Ni) destacando su toxicidad en el ambiente (Tang et al., 2021).</li> </ul> |
| Policloruro de vinilo        | PVC    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presenta un efecto adverso sobre la aptitud de los organismos, siendo un riesgo en estos ecosistemas (Song et al., 2019).</li> </ul>                                                                                                                                                                     |
| Politetrafluoroetileno       | PTFE   | <p>Según Dong et al. (2019) y Dong et al. (2022):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las plantas en presencia de estas partículas sufren daño en la raíz, reduciendo el contenido de Fe y Mn, lo que afecta la transpiración y a las estomas.</li> <li>- En bajas concentraciones inhiben la adsorción de As (III).</li> </ul>          |
| Polietileno tereftalato      | PET    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las cianobacterias son las menos afectadas, así mismo, tienen la capacidad de adsorción de Cu (II) (Wang et al., 2022).</li> </ul>                                                                                                                                                                       |

En los resultados obtenidos el Poliestireno (PS) se identificó en cinco puntos de muestreos del suelo en el tramo La Muyuna a una profundidad de 10 cm (Tabla 8). Además, Castañeda et al. (2020) señalan que el poliestireno es comúnmente encontrado en vertederos y suelos, pero su estructura lo hace difícil de biodegradar (Xu et al., 2023b; Pazmiño, 2021; Kim et al., 2021). La presencia de este plástico en el suelo afecta la agregación del suelo, la respiración y el contenido de carbono orgánico, alterando los procesos bioquímicos y el ciclo de nutrientes a través de las comunidades y actividades microbianas (Xu et al., 2023b), también afecta las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Wang et al., 2022).

## **V. CONCLUSIONES**

1. Existe la presencia de microplástico en todo el tramo del exbotadero La Muyuna, contrastando la hipótesis planteada.
2. De los 9 puntos de muestreo en el exbotadero La Muyuna, aquel que presentó la mayor cantidad de residuos plástico, también registró la más alta concentración microplásticos con 5 337 partículas/Kg de suelo. Por otro lado, el punto ubicado a la altura de la primera cantera del exbotadero mostró la menor concentración de microplástico, con tan solo 577 partículas/Kg de suelo.
3. Se identificó diez tipos de microplásticos, siendo el polipropileno de alta densidad (HDPE), poliestireno (PS), polietileno de baja densidad (LDPE), polipropileno (PP), trifenilo de fosfato (TPP), poliamida (PA), silicona (SI), cloruro de polivinilo (PVC), politetrafluoroetileno (PTFE) y tereftalato de polietileno (PET).
4. La presencia de los microplásticos identificados en el suelo del tramo La Muyuna puede ocasionar efectos en el suelo, organismos presentes e incluso son transportados a otro medio de contaminación.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Continuar con la investigación, enfocándose en abordar el patrón de transporte y distribución de los microplásticos, así como su dispersión en diferentes medios.
2. Centros de investigación de las universidades y expertos dedicados al estudio de microplásticos en diferentes entornos, pueden establecer un procedimiento adecuado para la recolección y preparación de muestras, estableciendo un método simple y comprensible para el recuento y la identificación de los microplásticos en el suelo.
3. Llevar a cabo charlas de concientizaciones a la población a cargo de la Municipalidad Provincial de Leoncio prado, juntamente con las otras municipalidades como la Municipalidad de Castillo Grande, Municipalidad Distrital de Luyando entre otras, sobre el problema que conlleva el arrojo de residuos sólidos a los entornos naturales.
4. Realizar estudios con tesis y e investigadores de la Universidad Nacional Agraria de la Selva u otras Instituciones privadas o públicas en diferentes profundidades del suelo en el exbotadero La Muyuna, y sus alrededores, con la finalidad de obtener datos sobre su distribución en aguas subterráneas.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afrin, S., Uddin, M., & Kurasaki, M. (2020). Microplastics contamination in the soil from Urban Landfill site, Dhaka, Bangladesh. *Heliyon*, 6(11), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05572>.
- Akbay, İ., & Özdemir, T. (2016). Monomer migration and degradation of polycarbonate via UV-C irradiation within aquatic and atmospheric environments. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 53(6), 340–345, <https://doi.org/10.1080/10601325.2016.1165999>.
- Alshehrei, F. (2017). Biodegradation of Synthetic and Natural Plastic by Microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 5(1), 8–19. <https://doi.org/10.12691/jaem-5-1-2>.
- Andía, J. (2022). *Ecoaprovechamiento del poliestireno expandido y poliestireno extruido recuperados para la fabricación de concreto en Huancayo*. [Tesis doctorada, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18307>.
- Andia, Y., y Perez, R. (2020). *Eficiencia de la degradación de fragmentos plásticos de polietileno (PEBD) utilizando el hongo Aspergillus tubingensis en el suelo agrícola, Lurin - 2020*. [Tesis pregrado; Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86960>.
- Andrady, A. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 119(1), 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>.
- Anger, P., von der Esch, E., Baumann, T., Elsner, M., Niessner, R., & Ivleva, N. (2018). RAMAN microspectroscopy as a tool for microplastic particle analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 214–226. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.010>.
- Araújo, A., Da Luz, T., Gonçalves, S., Rajagopal, R., Rahman, M., Silva, D., & Malafaia, G. (2022). How can “my shoes” affect the amphibian health? A study of the toxicity of microplastics from shoe sole (Polyvinyl chloride acetate) on *Physalaemus cuvieri* tadpoles (Anura, Leptodactylidae). *Journal of Hazardous Materials*, 440(129847). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129847>.
- Basmage, O., & Hashmi, M. (2020). Plastic Products in Hospitals and Healthcare Systems. *Elsevier*, 1. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.11303-7>.
- Bayer, J., Granda, L., Méndez, J., Pèlach, M., Vilaseca, F., & Mutjé, P. (2017). Cellulose polymer composites (WPC). In M. Fan & F. Fu. (Eds.), *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. (pp. 115–139). Editorial ELSEVIER.
- Beltrán, M., Marcilla, A. (2012). Tecnología de polímeros, Procesados y propiedades. <https://bit.ly/3A0scc4>.
- Begum, S. A., Rane, A., & Kanny, K. (2020). Applications of compatibilized polymer blends in automobile industry. In *Elsevier eBooks* (pp. 563–593). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816006-0.00020-7>.
- Boots, B., Russell, C., & Green, D. (2019). Effects of microplastics in soil ecosystems: Above and below ground. *Environmental Science & Technology*, 53(19), 11496–11506. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>.
- Bruge, A., Barreau, C., Carlot, J., Collin, H., Moreno, C., & Maison, P. (2018). Monitoring Litter Inputs from the Adour River (Southwest France) to the Marine Environment.

- Journal of Marine Science and Engineering*, 6(1), 24.  
<https://doi.org/10.3390/jmse6010024>.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (2020). Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana De Química*, 37(3).  
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>.
- Calero, T. (2019). *La comunicación organizacional y la eficiencia de los colaboradores en la municipalidad provincial de Leoncio Prado* [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1947>.
- Cao, Y., Ma, X., Chen, N., Chen, T., Zhao, M., Li, H., Song, Y., Zhou, J., & Yang, J. (2023). Polypropylene microplastics affect the distribution and bioavailability of cadmium by changing soil components during soil aging. *Journal of Hazardous Materials*, 443.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130079>.
- Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (2020). Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana De Química*, 37(3).  
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>.
- Cesarini, G., & Scalici, M. (2022). Riparian vegetation as a trap for plastic litter. *Environmental Pollution*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118410>.
- Cheng, Y., Song, W., Tian, H., Zhang, K., Li, B., Du, Z., Zhang, W., Wang, J., Wang, J., & Zhu, L. (2021). The effects of high-density polyethylene and polypropylene microplastics on the soil and earthworm *Metaphire guillelmi* gut microbiota. *Chemosphere*, 267, 129219. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129219>.
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Conesa, J. (2020). *Plásticos y microplásticos en nuestra dieta: Cómo, cuántos y por qué*. Universidad de Alicante. pp. 1-24.  
<https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/104247/1/Microplasticos-en-mi-dieta-Juan-A-Conesa.pdf>.
- Crawford, C., & Quinn, B. (2017). Physiochemical properties and degradation. *Microplastic Pollutants* (pp. 57-100). Editorial ELSEVIER.
- Crawford, R. y Martin, P. (2020). *Plastics engineering, Plastics available to the designer*. Elsevier Science. pp. 8-19. <https://goo.su/vA3oAHb>.
- De La Cadena, I. (2019). *Caracterización del ciudadano y los niveles de percepción de la imagen en la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado*. [Tesis pregrado; Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1605>.
- Díaz, D., y Crespo, L. (2022). Optimización de la mezcla entre ldpe y pla para la caracterización de empaques plásticos de un solo uso. *Revista Metalnova*, 5(1).  
<https://doi.org/10.22022/metalnova.v5i1.5007>.
- Ding, G., Wang, Z., Chen, J., Wu, Q., & Zhou, Y. (2022). Comprehensive assessment of the ecological risk of exposure to triphenyl phosphate in a bioindicator tadpole. *Chemosphere*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136242>.

- Dong, Y., Bao, Q., Gao, M., Qiu, W., & Song, Z. (2022). A novel mechanism study of microplastic and As co-contamination on indica rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126694>
- Dong, Y., Gao, M., Liu, X., Qiu, W., & Song, Z. (2020). The mechanism of polystyrene microplastics to affect arsenic volatilization in arsenic-contaminated paddy soils. *Journal of Hazardous Materials*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122896>.
- Dong, Y., Gao, M., Song, Z., & Qiu, W. (2019). Adsorption mechanism of As(III) on polytetrafluoroethylene particles of different size. *Environmental Pollution*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.118>.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 290–293. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>.
- Du, H., Zhang, Y., Jiang, H., & Wang, H. (2022). Adsorption of rhodamine B on polyvinyl chloride, polystyrene, and polyethylene terephthalate microplastics in aqueous environments. *Environmental Technology and Innovation*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102495>
- Ebnesajjad, S. (2017). *Electrical and electronic applications of expanded PTFE*. In *Expanded PTFE Applications Handbook* (pp. 253–258). Editotial Elsevier.
- Elaborado por la Oficina Económica y Comercial de España en Bangkok [ECEB]. (2019). *Guia del pais Tailandia*. [bit.ly/3JGEtJp](https://bit.ly/3JGEtJp).
- Emblem, A. (2012). *Plastics properties for packaging materials*. In Elsevier eBooks (pp. 287–309). <https://doi.org/10.1533/9780857095701.2.287>.
- Environment and Climate Change Canada [ECCC] (2020). *Science Assessment of Plastic Pollution*.
- Eriksen, M., Thiel, M., & Lebreton, L. (2016). Nature of Plastic Marine Pollution in the Subtropical Gyres. *The Handbook of Environmental Chemistry*, 78, 135–162. [https://doi.org/10.1007/698\\_2016\\_123](https://doi.org/10.1007/698_2016_123).
- Fernández-Polanco, M. (2022). *Microplásticos en EDAR. Evaluación en la línea de aguas y de fangos*. [Tesis doctoral, Universidad de Valladolid]. Repositorio UVADOC. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/53086>.
- Forster, N., Tighe, M., & Wilson, S. (2020). Microplastics in soils of wilderness areas: What is the significance of outdoor clothing and footwear? *Geoderma*, 378. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114612>.
- Frias, J., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuatitativas, cualitativas y mixtas*. Editorial Mc Graw Hill Education.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>.
- Iannacone, J., Principe, F., Minaya, D., Panduro, G., Carhuapoma, M., & Alvarino, L. (2021). Microplásticos en peces marinos de importancia económica en Lima, Perú. *Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(2) <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20038>.

- Fuller, S., & Gautam, A. (2016). A Procedure for Measuring Microplastics using Pressurized Fluid Extraction. *Environmental Science & Technology*, 50(11), 5774–5780. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00816>.
- Gardiner, J. (2015). Fluoropolymers: Origin, Production, and Industrial and Commercial Applications. *Australian Journal of Chemistry*, 68(1), 13. <https://doi.org/10.1071/ch14165>.
- George, R., & Robert, M. (2018). Polymeric Geomembrane Components in Landfill Liners. In R. Cossu & R. Stegmann (Eds.), *Solid Waste Landfilling*. (pp. 313–341). Editorial ELSEVIER.
- Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>.
- Gobierno Regional de Huánuco [GOREHCO]. (2016). *Zonificación ecológica economía base para el ordenamiento territorial de la región Huánuco*. <https://bit.ly/3lGi4is>.
- González, F. (2019). *Distribución y abundancia de microplástico en cuencas Mediterráneas*. [Tesis Maestría, Universidad de Barcelona]. Repositorio UB. [http://www.ub.edu/fem/docs/treballs/TFM\\_FernandaGonzalez.pdf](http://www.ub.edu/fem/docs/treballs/TFM_FernandaGonzalez.pdf).
- Gowda, N., Kattimani, R., Triveni, R., Mahesh, S., & Sahana, M. (2022). Identification of Microplastics in Contaminated Urban Informal Landfill Soil With Removal Methods. *International journal of engineering research & technology*, 10(11). <https://doi.org/10.17577/IJERTCONV10IS11117>.
- Grijalva, A., Jiménez Heinert, E., & Ponce Solórzano, X. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. Análisis Del Comportamiento de Las Líneas de Crédito a Través de La Corporación Financiera Nacional y Su Aporte al Desarrollo de Las PYMES en Guayaquil 2011-2015. 4(4), 79–93. <https://doi.org/10.26820/recimundo/4>.
- Guía de Muestreo de Suelos. (2014). *Técnicas de muestreo*. <https://bit.ly/3lxxK7l>.
- Guo, J., Li, F., Xiao, H., Liu, B., Feng, L., Yu, P., Meng, C., Zhao, H., Feng, N., Li, Y., Cai, Q., Xiang, L., Mo, C., & Li, Q. X. (2023). Polyethylene and polypropylene microplastics reduce chemisorption of cadmium in paddy soil and increase its bioaccessibility and bioavailability. *Journal of Hazardous Materials*, 449. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130994>.
- Guo, Q., Huang, Y., Xu, M., Huang, Q., Cheng, J., Yu, S., Zhang, Y., & Xiao, C. (2022). PTFE porous membrane technology: A comprehensive review. *Journal of Membrane Science*, 664. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.121115>.
- Gutiérrez, V. (2019). *"Modificación de Diseño del Cushion Bottom Da69-01593a para la mejora de estabilidad de empaquetado en el área de refrigeradores"*. [Tesis pregrado, Tecnológico Nacional de México]. Repositorio tuxtla.
- He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y., & Lei, L. (2018). Microplastics in soils: Analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *Trends in Analytical Chemistry*, 109, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006>.
- He, P., Chen, L., Shao, L., Zhang, H., & He, P. (2019). Municipal solid waste (MSW) landfill: A source of microplastics? -Evidence of microplastics in landfill leachate. *Water Research*, 159, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.04.060>.

- Hidalgo, V., Gutow, L., Thompson, R., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6). <https://doi.org/10.1021/es2031505>.
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>
- Huanaco, H. (2019). *Diagnóstico de la presencia de microplástico en sedimentos laterales en la cuenca baja del río Rímac*. [Tesis de maestría, Pontifica Universidad Católica del Perú]. <https://bit.ly/3hIB8vq>.
- Huang, Y., Xiao, X., Xu, C., Perianen, Y., Hu, J., & Holmer, M. (2020). Seagrass beds acting as a trap of microplastics - Emerging hotspot in the coastal region?. *Environmental Pollution*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113450>.
- Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., van der Ploeg, M., Besseling, E., Koelmans, A., & Geissen, V. (2016). Microplastics in the Terrestrial Ecosystem: Implications for *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environmental Science & Technology*, 50(5), 2685–2691. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05478>.
- Hurley, R., Woodward, J., & Rothwell, J. (2018). Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nature Geoscience*, 11(4), 251–257. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0080-1>.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo [INSST]. (2016). *CLORURO DE POLIVINILO (PVC) Fracción respirable*. (pp.1-7). <https://www.insst.es/documents/94886/289981/DLEP+105.pdf/8b1ac9ad-eb47-40b8-851d-a1c062de654f>.
- Karami, A., Golieskardi, A., Choo, C., Romano, N., Ho, Y., & Salamatinia, B. (2017). A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish. *Science of The Total Environment*, 578, 485–494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.213>.
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Walker, T. R., & Cole, M. (2018). *Occurrence, sources, human health impacts and mitigation of microplastic pollution*. *Environmental Science and Pollution*.
- Khoo, K., Ho, L., Lim, H., Leong, H., & Chew, K. (2021). Plastic waste associated with the COVID-19 pandemic: Crisis or opportunity? *Journal of Hazardous Materials*, 417(126108). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126108>.
- Kim, H., Jo, J., Kim, Y., Le, T., Cho, C., Yun, C., Chi, W., & Yeom, S. (2021). Biodegradation of polystyrene by bacteria from the soil in common environments. *Journal of Hazardous Materials*, 416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126239>.
- Kim, N., Kim, S., Lee, S., & Lee, E. (2023). Adsorption behavior of polyamide microplastics as a vector of the cyanotoxin microcystin-LR in environmental freshwaters. *Journal of Hazardous Materials*, 446. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130683>.
- Kole, P., Löhr, A., Van Belleghem, F., & Ragas, A. (2017). Wear and Tear of Tyres: A Stealthy Source of Microplastics in the Environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1265. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101265>.
- Kukharchyk, T., & Chernyuk, V. (2020). *Microplastic of polystyrene in soil and water: fluxes study from industrial site*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-4829>.

- Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, D. C., Gupta, J., Khan, E., Harrad, S., Hou, D., Ok, Y., & Bolan, N. (2020). Microplastics as pollutants in agricultural soils. *Environmental Pollution*, 265, 114980. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114980>.
- Kumar, N., Ukey, P., Francis, V., Singh, R., & Sahu, S. (2022). Plastic pellets. In J. Izdebska-Podsiadly, *Polymers for 3D Printing: Methods, Properties, and Characteristics*. (pp. 307–323). Editorial ELSEVIER.
- Lebreton, L., Van Der Zwet, J., Damsteeg, J., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>.
- Leitão, I., Van Schaik, L., Ferreira, A., Alexandre, N., & Geissen, V. (2023). The spatial distribution of microplastics in topsoils of an urban environment - Coimbra city case-study. *Environmental Research*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114961>.
- Li, H., & Liu, L. (2022). Short-term effects of polyethylene and polypropylene microplastics on soil phosphorus and nitrogen availability. *Chemosphere*, 291. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132984>
- Li, J., Song, Y., & Cai, Y. (2020). Focus topics on microplastics in soil: Analytical methods, occurrence, transport, and ecological risks. *Environmental Pollution*, 257, 113570. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113570>.
- Li, K., Zhang, M., Jia, W., Xu, L., & Huang, Y. (2023). Deciphering the effects of LDPE microplastic films on diversity, composition and co-occurrence network of soil fungal community. *Applied Soil Ecology*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104716>.
- Li, Q., Wu, J., Zhao, X., Gu, X., & Ji, R. (2019). Separation and identification of microplastics from soil and sewage sludge. *Environmental Pollution*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113076>.
- Licari, J., & Swanson, D. (2011). Chemistry, Formulation, and Properties of Adhesives. In *Adhesives Technology for Electronic Applications: Materials, Processing, Reliability*. (pp. 75–141). Editorial ELSEVIER.
- Lino, L. (2022). *Microplástico en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2180>.
- Liro, M., van Emmerik, T., Wyżga, B., Liro, J., & Mikuś, P. (2020). Macroplastic storage and remobilization in rivers. *Water*, 12(7), 2055. <https://doi.org/10.3390/w12072055>.
- Liu, M., Lu, S., Song, Y., Lei, L., Hu, J., Lv, W., Zhou, W., Cao, C., Shi, H., Yang, X., & He, D. (2018). Microplastic and mesoplastic pollution in farmland soils in suburbs of Shanghai, China. *Environmental Pollution*, 242, 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.051>.
- Luna, A. (2020). *La era del plástico, una nueva amenaza para la conservación de la naturaleza*. PP. 1-50. <https://goo.su/K4kHI>.
- Luo, H., Liu, C., He, D., Sun, J., Zhang, A., Li, J., & Pan, X. (2022). Interactions between polypropylene microplastics (PP-MPs) and humic acid influenced by aging of MPs. *Water Research*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118921>.
- Mahesh, S., Gowda, N., & Mahesh, S. (2023). Identification of microplastics from urban informal solid waste landfill soil; MP associations with COD and chloride. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 87(1), 115–129. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.412>

- Manrique, R. (2019). *Microplástico en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <https://bit.ly/3zi98EN>
- Mario, R., Marianthi, G., & Gavin, P. (2018). *13th International Symposium on Process Systems Engineering (PSE 2018)*. Editorial ELSEVIER.
- Marset, D. (2022). *Desarrollo y optimización de formulaciones de poliamida de origen renovable con comportamiento ignífugo*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de València]. Repositorio UPV. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/185134>
- Mejías, C., Martín, J., Santos, J. E., Aparicio, I., & Alonso, E. (2023). Adsorption of perfluoroalkyl substances on polyamide microplastics: Effect of sorbent and influence of environmental factors. *Environmental Research*, 216, 114834. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114834>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). *Microplástico*. <https://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/que-son-los-microplasticos/>
- Mohan, L., Cherian, E., & Jayasree, T. (2022). Emerging issues and challenges for plastic bioremediation. In J.Ahmad (Ed.), *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation* (pp. 589–600). Editorial Elsevier.
- Moller, J., Löder, M., & Laforsch, C. (2020). Finding Microplastics in Soils: A Review of Analytical Methods. *Environmental Science & Technology*, 54(4), 2078–2090. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04618>.
- Monkul, M., & Özhan, H. (2021). Microplastic contamination in soils: A review from geotechnical engineering view. *Polymers*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/polym13234129>.
- Monzó, M. (2015). “*Investigación de la influencia del tipo de gas utilizado en el plasma atmosférico, en la modificación superficial del polipropileno*”. [Tesis doctoral, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio UPV. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/58776>.
- Municipalidad Provincial de Leoncio Prado [MPLP]. (2019). *Plan Provincial de Gestión de residuos sólidos Municipales de la Provincia Leoncio Prado 2021-2025*. 1-107.
- Municipalidad Provincial de Leoncio Prado [MPLP]. (2021). “*Estudio de caracterización de residuos sólidos para el expediente definitivo, mejoramiento y ampliación del servicio de limpieza y disposición final de los residuos sólidos en los 5 Distritos de la Provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco*”. 14-20.
- Muriel, A. (2020). *Detección y monitoreo de microplásticos en sedimentos costeros de marismas de la costa norte del estuario de bahía blanca*. [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica Nacional]. <https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/4633>.
- Namuche, H. (2021). *Nivel de cumplimiento del plan estratégico en las municipalidades de la provincia de Leoncio Prado*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2146>.
- Oladele, S., Ojokole, W., & Oladele, B. (2023). Microplastics in agricultural soil: Polystyrene fragments inhibit soil microbial and enzymatic activities but promote nutrient concentration of Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100263>.

- Olaya, M. (2020). *Evaluación de la distribución de microplásticos y microplásticos mediante sistema de monitoreo en la playa Cauchiche ubicada en la isla Puná*. [Tesis de maestría, Universidad Agraria del Ecuador]. <https://bit.ly/2XGIBnP>.
- Olazabal, F. (2017). *Acumulación de residuos sólidos en las aguas del río Rímac n la vulneración del principio precautorio en los Municipios de Lima - 2017*. [Tesis para optar Título, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19928>.
- Olesik, P., Godzierz, M., Kozioł, M., Jała, J., Szeluga, U., & Myalski, J. (2021). Structure and Mechanical Properties of High-Density Polyethylene Composites Reinforced with Glassy Carbon. *Materials*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/ma14144024>.
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Los microplasticos e los sectores de pesca y acuicultura*. <https://www.fao.org/3/ca3540es/ca3540es.pdf>.
- Ortega, D., & Cortés-Arriagada, D. (2023). Atmospheric microplastics and nanoplastics as vectors of primary air pollutants - A theoretical study on the polyethylene terephthalate (PET) case. *Environmental Pollution*, 318. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120860>
- Paladhi, A., Vallinayagam, S., Rajendran, S., Rathinam, V., & Sharma, V. (2022). Microalgae: a promising tool for plastic degradation. In J.Ahmad (Ed.), *Microbes and Microbial Biotechnology for Green Remediation* (pp. 575–587). Editorial Elsevier.
- Park, S., & Kim, C. (2019). Biodegradation of micro-polyethylene particles by bacterial colonization of a mixed microbial consortium isolated from a landfill site. *Chemosphere*, 222, 527–533. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.159>.
- Pazmiño, M. (2021). *Caracterización molecular y evaluación de la capacidad de degradación de microplástico de insectos del género Hermetia originarios del cantón Puerto Quito*. [Trabajo de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. Repositorio DspaceCara. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/25685>.
- Pencik, O., Molnarova, K., Durdakova, M., Kolackova, M., Klofac, D., Kucsera, A., Capal, P., Svec, P., Bytesnikova, Z., Richtera, L., Brtnický, M., Adam, V., & Huska, D. (2023). Not so dangerous? PET microplastics toxicity on freshwater microalgae and cyanobacteria. *Environmental Pollution*, 329. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121628>.
- Pérez, N., Garnica, P., Pérez, A., Juárez, R., y Castro, F. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido*. Publicación Técnica No. 476. 1-79.
- Plastics-Europe (2019). *Plastics – the Facts 2019 An analysis of European plastics production, demand and waste data*. pp.1-42. <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/10/2019-Plastics-the-facts.pdf>.
- Ponti, M., Allen, D., White, C., Bertram, D., & Switzer, C. (2022). A framework to assess the impact of flooding on the release of microplastics from waste management facilities. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100105>.
- Pressler, L. (2020). *Impact of microplastics on soil health: soil-water retention, Shrinkage, and holding properties*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Texas]. <https://core.ac.uk/reader/333658940>.
- Puthcharoen, A., & Leungprasert, S. (2019). Determination of microplastics in soil and leachate from the landfills. *Thai Environmental Engineering Journal*, 33(3), 39-46.

- Radulovic, L., & Wojcinski, Z. (2014). PTFE (Polytetrafluoroethylene; Teflon®). In I.Chief (Ed.), *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 1133–1136). Editorial Academic Press.
- Ramos, L. (2021). *Interacciones entre plaguicidas, plásticos agrícolas, suelo y aire en los sistemas hortícolas*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional de General Sarmiento]. Repositorio UNGS. <https://goo.su/NuEz5>.
- Rani, M., Meenu, & Shanker, U. (2023). The role of nanomaterials in plastics biodegradability. In A. Sarkar, B. Sharma & S. Shekhar. (Eds.). *Biodegradability of Conventional Plastics* (pp. 283–308). Editorial ELSEVIER.
- Rengifo, E. (2019). *Determinación de la presencia de microplásticos en miel artesanal e industrial*. [Tesis de investigación, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18017>.
- Richard, E., Zapata, D., & Angeoletto, F. (2023a). Geofagia y plasticofagia en *Coragyps atratus*. *Ecosistemas*, 32(1), 2482. <https://doi.org/10.7818/ecos.2482>.
- Richard, E., Zapata, D., y Angeoletto, F. (2021b). Consumo incidental de plástico y otros materiales antropogénicos por parte de *Coragyps atratus* (Bechstein, 1793) en un vertedero de basura de Ecuador. *Revista Peruana De Biología*, 28(4). <https://doi.org/10.15381/rpb.v28i4.21627>.
- Rillig, M. (2012). *Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? Environmental Science & Technology*, 46(12), 6453–6454. <https://doi.org/10.1021/es302011r>.
- Rillig, M., & Lehmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. *Science*, 368(6498), 1430–1431. <https://doi.org/10.1126/science.abb5979>.
- Roebroek, C., Alfieri, L., Van Emmerik, T., Baugh, C., Eilander, D., Prudhomme, C., & Pappenberger, F. (2021). Plastic in global rivers: are floods making it worse? *Environmental Research Letters*, 16(2). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd5df>.
- Rong, L., Zhao, L., Zhao, L., Cheng, Z., Yao, Y., Yuan, C., Wang, L., & Zhang, P. (2021). LDPE microplastics affect soil microbial communities and nitrogen cycling. *Science of the Total Environment*, 773, 145640. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145640>
- Sajjad, M., Huang, Q., Khan, S., Khan, M., Yin, L., Wang, J., Lian, F., Wang, Q., & Guo, G. (2022). Microplastics in the soil environment: A critical review. *Environmental Technology and Innovation*, 27, 102408. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102408>.
- Salmah, H., Romisuhani, A., & Akmal, H. (2011). Properties of low-density polyethylene/palm kernel shell composites: Effect of polyethylene co-acrylic acid. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 26(1), 3–15. <https://doi.org/10.1177/0892705711417028>.
- Sathicq, M., Sabatino, R., Di Cesare, A., Eckert, E., Fontaneto, D., Rogora, M., & Corno, G. (2022). PET particles raise microbiological concerns for human health while tyre wear microplastic particles potentially affect ecosystem services in waters. *Journal of Hazardous Materials*, 429. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128397>
- Saviour, A., Moses, S., & Viswanathan, S. (2022). Other synthetic polymers. In *Polymeric Materials in Corrosion Inhibition: Fundamentals and Applications* (pp. 541–563). Editorial ELSEVIER.
- Schettler, T. (2020). *El policloruro de vinilo en la atención de la salud*. (pp.1-10).
- Senousy, H., Khairy, H., El-Sayed, H., Sallam, E., El-Sheikh, M., & Elshobary, M. (2023). Interactive adverse effects of low-density polyethylene microplastics on marine

- microalga Chaetoceros calcitrans. *Chemosphere*, 311. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137182>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. [SENAMHI]. (2022). *Datos meteorológicos a nivel nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>.
- Shah, A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. (2008). Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 26(3), 246–265. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.005>.
- Shi, C., Wang, C., Zeng, L., Peng, Y., Li, Y., Hao, H., Zheng, Y., Chen, C., Chen, H., Zhang, J., Xiang, M., Huang, Y., & Li, H. (2023). Triphenyl phosphate induced reproductive toxicity through the JNK signaling pathway in *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Hazardous Materials*, 446, 130643. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130643>.
- Shi, Z., Wen, M., & Ma, Z. (2022). Effects of polyethylene, polyvinyl chloride, and polystyrene microplastics on the vermitoxicity of fluoranthene in soil. *Chemosphere*, 298(134278). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134278>.
- Silva, T., Girardclos, S., Stutenbecker, L., Bakker, M., Costa, A., Schlunegger, F., Lane, S. N., Molnar, P., & Loizeau, J. (2018). The sediment budget and dynamics of a delta-canyon-lobe system over the Anthropocene timescale: The Rhone River delta, Lake Geneva (Switzerland/France). *Sedimentology*, 66(3), 838–858. <https://doi.org/10.1111/sed.12519>.
- Sin, L., & Tueen, B. (2023). Eco-profile of plastics. In L. Sin & B. Tueen (Eds.), *Plastics and Sustainability: Practical Approaches*. (pp. 45–89). Editorial ELSEVIER.
- Soledad, R. (2021). *Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del río de la Plata (Franja Costera Sur)*. [Tesis doctoral Universidad Nacional de La Plata]. Repositorio UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116621>.
- Soltani, Z., Cheraghi, M., Jaafarzadeh, N., & Tavakkoli, H. (2022). Microplastics and Microrubbers in Soils Around Two Landfills and a Municipal Solid Waste Transfer Station in Ahvaz Metropolis, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 10(4), 279–290. <https://doi.org/10.32598/jaehr.10.4.1234>.
- Song, Y., Cao, C., Qiu, R., Hu, J., Liu, M., Lu, S., Shi, H., Raley-Susman, K. M., & He, D. (2019). Uptake and adverse effects of polyethylene terephthalate microplastics fibers on terrestrial snails (*Achatina fulica*) after soil exposure. *Environmental Pollution*, 250, 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.066>.
- Souza Machado, A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405–1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>.
- Su, Y., Zhang, Z., Wu, D., Zhan, L., Shi, H., & Xie, B. (2019). Occurrence of microplastics in landfill systems and their fate with landfill age. *Water Research*, 164. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114968>.
- Tang, S., Lin, L., Wang, X., Yu, A., & Sun, X. (2021). Interfacial interactions between collected nylon microplastics and three divalent metal ions (Cu(II), Ni(II), Zn(II)) in aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123548>.
- Tin, L., & Soo, B. (2023). Plastics and environmental sustainability issues. In *Plastics and Sustainability: Practical Approaches*, (pp.1-43). Editorial ELSEVIER.

- Treilles, R., Gasperi, J., Tramoy, R., Dris, R., Gallard, A., Partibane, C., & Tassin, B. (2022). Microplastic and microfiber fluxes in the Seine River: Flood events versus dry periods. *Science of the Total Environment*, 805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150123>.
- Tun, T., Kunisue, T., Tanabe, S., Prudente, M., SubRAMANian, A., Sudaryanto, A., Viet, P., & Nakata, H. (2022). Microplastics in dumping site soils from six Asian countries as a source of plastic additives. *Science of the Total Environment*, 806(4). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150912>.
- Turner, A. (2020). Foamed Polystyrene in the Marine Environment: Sources, Additives, Transport, Behavior, and Impacts. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10411–10420. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03221>.
- Upadhyay, K., & Bajpai, S. (2021). Microplastics in Landfills: A Comprehensive Review on Occurrence, Characteristics and Pathways to the Aquatic Environment. *Nature Environment and Pollution Technology*, 20(5). <https://doi.org/10.46488/nept.2021.v20i05.009>.
- Van Emmerik, T., Frings, R., Schreyers, L., Hauk, R., de Lange, S., & Mellink, Y. (2023). River plastic transport and deposition amplified by extreme flood. *Nature Water*, 1(6), 514–522. <https://doi.org/10.1038/s44221-023-00092-7>.
- Van Emmerik, T., Tramoy, R., Van Calcar, C., Alligant, S., Treilles, R., Tassin, B., & Gasperi, J. (2019). Seine Plastic Debris Transport Tenfolded During Increased River Discharge. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00642>.
- Wan, Y., Wu, C., Xue, Q., & Hui, X. (2019). Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil. *Science of The Total Environment*, 654, 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.123>.
- Wang, F., Wang, Q., Adams, C., Sun, Y., & Zhang, S. (2022). Effects of microplastics on soil properties: Current knowledge and future perspectives. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127531. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127531>.
- Wang, X., Shi, Y., Ni, M., & Cai, N. (2015). Mechanistic modeling of NO electrochemical reduction in a micro-tubular cell: Effects of CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O components and electrochemical promotion. *Chemical Engineering Journal*, 280, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.05.108>.
- Wani, N., Pasha, N., Poddar, N., & Balaji, H. (2020). A Review on the use of High Density Polyethylene (HDPE) in Concrete Mixture. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(5). <https://doi.org/10.17577/ijertv9is050569>.
- Wei, W., Chen, X., Peng, L., Liu, Y., Bao, T., & Ni, B. (2021). The entering of polyethylene terephthalate microplastics into biological wastewater treatment system affects aerobic sludge digestion differently from their direct entering into sludge treatment system. *Water Research*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116731>.
- Wojnowska-Baryła, I., Bernat, K., & Zaborowska, M. (2022b). Plastic Waste Degradation in Landfill Conditions: The Problem with Microplastics, and Their Direct and Indirect Environmental Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13223. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013223>.
- Wojnowska-Baryła, I., Kulikowska, D., & Bernat, K. (2020a). *Effect of Bio-Based Products on Waste Management. Sustainability*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12052088>.
- Wu, X., Tan, Z., Liu, R., Liao, Z., & Ou, H. (2023). Gaseous products generated from polyethylene and polyethylene terephthalate during ultraviolet irradiation: Mechanism,

- pathway and toxicological analyses. *Science of the Total Environment*, 876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162717>
- Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M., & Li, F. (2020a). Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment?. *Journal of Hazardous Materials*, 400. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123228>.
- Xu, M., Xu, Q., Wang, G., Du, W., Zhu, J., Yin, Y., Ji, R., Wang, X., & Guo, H. (2023b). Elevated CO<sub>2</sub> aggravated polystyrene microplastics effects on the rice-soil system under field conditions. *Environmental Pollution*, 316, 120603. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120603>.
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., & Miao, A. (2020b). Microplastics in aquatic environments: Occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of the Total Environment*, 703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>
- Ya, H., Xing, Y., Zhang, T., Lv, M., & Tu, S. (2022). LDPE microplastics affect soil microbial community and form a unique plastisphere on microplastics. *Applied Soil Ecology*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104623>.
- Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., & Wu, C. (2021a). Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources. *Science of The Total Environment*, 754, 141948. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141948>.
- Yang, Z., He, P., Zhang, H., Wang, W., Shao, L., Ye, J., & He, P. (2021b). Is incineration the terminator of plastics and microplastics?. *Journal of Hazardous Materials*, 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123429>.
- Zettler, E., Mincer, T., & Amaral-Zettler, L. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology*, 47(13), 7137–7146. <https://doi.org/10.1021/es401288x>.
- Zhaleh, S., Mahboobeh, C., Neamatollah, J., & Haman, Tavakkoli. (2022a). Microplastics and microrubbers in soils around two landfills and a municipal solid waste transfer station in Ahvaz Metropolis, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 10(4), 279–290. <https://doi.org/10.32598/jaehr.10.4.1234>.
- Zhang, H., Sun, J., Yang, H., Dong, L., Hua, Z., Han, H., & Chen, Z. (2023). [Effects of Microplastic High-density Polyethylene on Cotton Growth, Occurrence of Fusarium wilt, and Rhizosphere Soil Bacterial Community]. *PubMed*, 44(5), 2955–2964. <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202205332>.
- Zhang, K., Su, J., Xiong, X., Wu, X., Wu, C., & Liu, J. (2016). Microplastic pollution of lakeshore sediments from remote lakes in Tibet plateau, China. *Environmental Pollution*, 219, 450–455. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.048>.
- Zhang, M., Chen, J., Li, Y., Li, G., & Zhang, Z. (2022). Sub-chronic ecotoxicity of triphenyl phosphate to earthworms (*Eisenia fetida*) in artificial soil: Oxidative stress and DNA damage. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113796>
- Zheng, J., Li, C., & Zheng, X. (2022). Toxic effects of polystyrene microplastics on the intestine of *Amphioctopus fangsiao* (Mollusca: Cephalopoda): From physiological responses to underlying molecular mechanisms. *Chemosphere*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136362>.
- Zhou, C., Fang, W., Xu, W., Cao, A., & Wang, R. (2014). Characteristics and the recovery potential of plastic wastes obtained from landfill mining. *Journal of Cleaner Production*, 80, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.083>.

Zhou, Y., Liu, X., & Wang, J. (2019). Characterization of microplastics and the association of heavy metals with microplastics in suburban soil of central China. *Science of The Total Environment*, 694, 133798.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133798>

## **ANEXOS**

## Anexo A. Detalle de los microplásticos identificados

**Tabla 9.** Cantidad de microplásticos por punto de muestreo

| Puntos | Rep | Fibras | Fragmentos | Esferas | Films | Subtotal | < 1 mm | Total < 1mm | 1 - 5 mm | Total |
|--------|-----|--------|------------|---------|-------|----------|--------|-------------|----------|-------|
| 1      | 1   | 12     | 6          | -       |       | 18       | 72     | 302         | 48       | 138   |
|        | 2   | 20     | 30         | -       | 1     | 51       | 102    |             | 38       |       |
|        | 3   | 7      | 25         | -       |       | 32       | 128    |             | 52       |       |
| 2      | 1   | 9      | 53         | -       | 2     | 64       | 256    | 704         | 33       | 118   |
|        | 2   | 12     | 72         | -       | 6     | 90       | 180    |             | 29       |       |
|        | 3   | 5      | 59         | -       | 3     | 67       | 268    |             | 56       |       |
| 3      | 1   | 38     | 57         | -       | 8     | 103      | 206    | 746         | 57       | 196   |
|        | 2   | 25     | 43         | -       |       | 68       | 272    |             | 77       |       |
|        | 3   | 13     | 51         | -       | 3     | 67       | 268    |             | 62       |       |
| 4      | 1   | 9      | 105        | 2       | 5     | 121      | 484    | 1396        | 82       | 205   |
|        | 2   | 9      | 132        | 1       | 4     | 146      | 438    |             | 49       |       |
|        | 3   | 7      | 146        | -       | 5     | 158      | 474    |             | 74       |       |
| 5      | 1   | 4      | 26         | -       |       | 30       | 90     | 282         | 14       | 36    |
|        | 2   | 1      | 13         | -       | 2     | 16       | 64     |             | 11       |       |
|        | 3   | 5      | 26         | -       | 1     | 32       | 128    |             | 11       |       |
| 6      | 1   | 5      | 5          | -       | 2     | 12       | 48     | 140         | 11       | 33    |
|        | 2   | 2      | 16         | 1       |       | 19       | 76     |             | 7        |       |
|        | 3   | -      | 3          | -       | 1     | 4        | 16     |             | 15       |       |
| 7      | 1   | 11     | 11         | 3       |       | 25       | 100    | 240         | 0        | 7     |
|        | 2   | 9      | 12         | -       | 9     | 30       | 120    |             | 2        |       |
|        | 3   |        | 3          | -       | 2     | 5        | 20     |             | 5        |       |
| 8      | 1   | 3      | 39         | -       | 123   | 165      | 495    | 1164        | 124      | 358   |
|        | 2   | 2      | 20         | 1       | 31    | 54       | 216    |             | 100      |       |

|   |   |   |    |   |    |     |     |     |     |    |
|---|---|---|----|---|----|-----|-----|-----|-----|----|
|   | 3 | 2 | 68 | - | 81 | 151 | 453 |     | 134 |    |
| 9 | 1 | 1 | 3  | 1 | 3  | 8   | 32  | 184 | 2   | 17 |
|   | 2 | 8 | 4  | - | 7  | 19  | 76  |     | 4   |    |
|   | 3 | 7 | 6  |   | 6  | 19  | 76  |     | 11  |    |

## Anexo B. Identificación de los tipos de polímeros en las muestras



### Laboratorio Central de Investigación - LCI Área de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-007

#### Interesado(a):

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

#### Muestra:

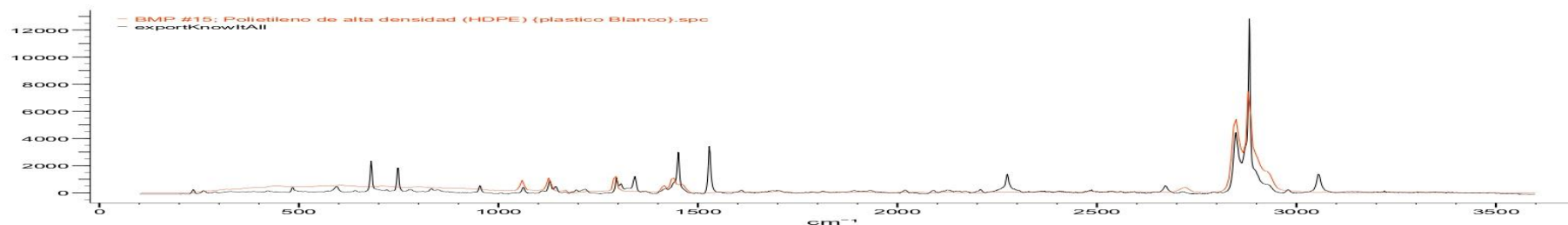
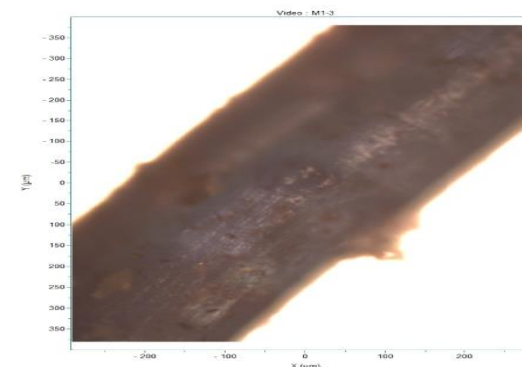
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M1 - 3 R1

#### Equipo:

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

#### Programación:

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                         | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|--------------------------------------------------------------|----------|
| 83.05 | 1.00   | BMP | 15 | Polietileno de alta densidad (HDPE)<br>{plastico Blanco}.spc |          |

Ing. Christopher A. Del Aguila Melendez  
Especialista espectroscopia RAMAN y FTIR  
LCI - UNAS

Dr. Melchor Soriano Turri  
Director Laboratorio Central de Investigación  
LCI - UNAS



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-008

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

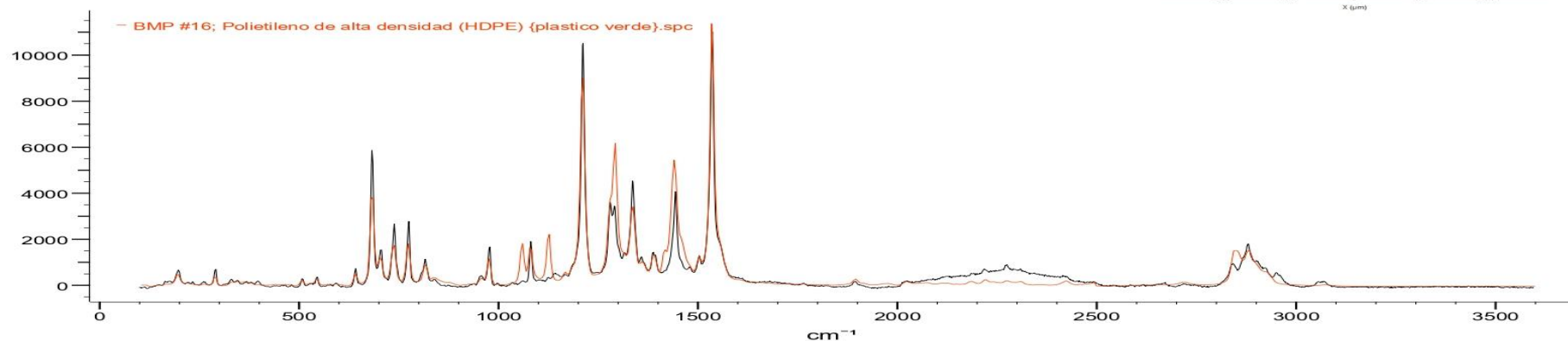
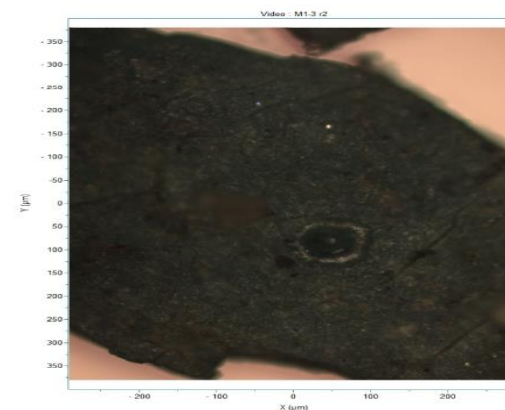
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M1 - 3 R2

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                        | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------------------------|----------|
| 91.54 | 1.00   | BMP | 16 | Polietileno de alta densidad (HDPE)<br>{plastico verde}.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-009

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

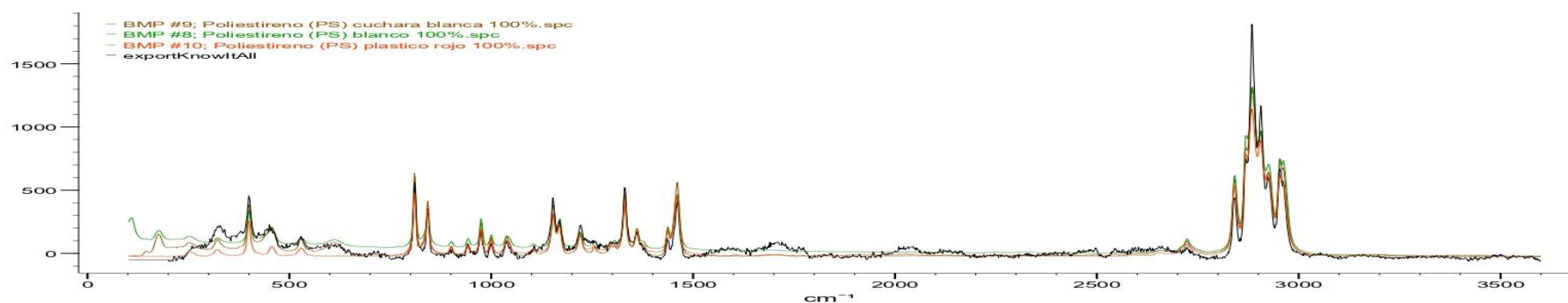
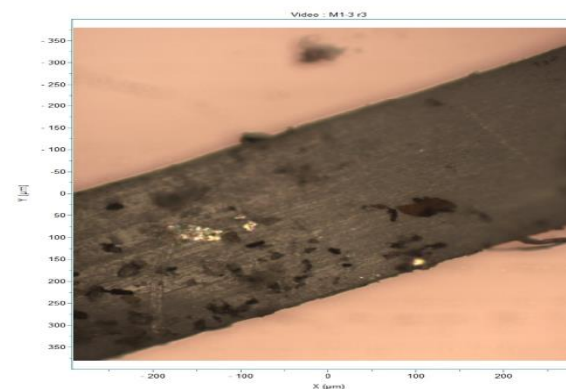
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M1 - 3 R3

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                      | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------|----------|
| 92.58 | 1.00   | BMP | 9  | Poliestireno (PS) cuchara blanca 100%.spc |          |
| 90.69 | 1.00   | BMP | 8  | Poliestireno (PS) blanco 100%.spc         |          |
| 90.09 | 1.00   | BMP | 10 | Poliestireno (PS) plastico rojo 100%.spc  |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-010

#### Interesado(a):

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

#### Muestra:

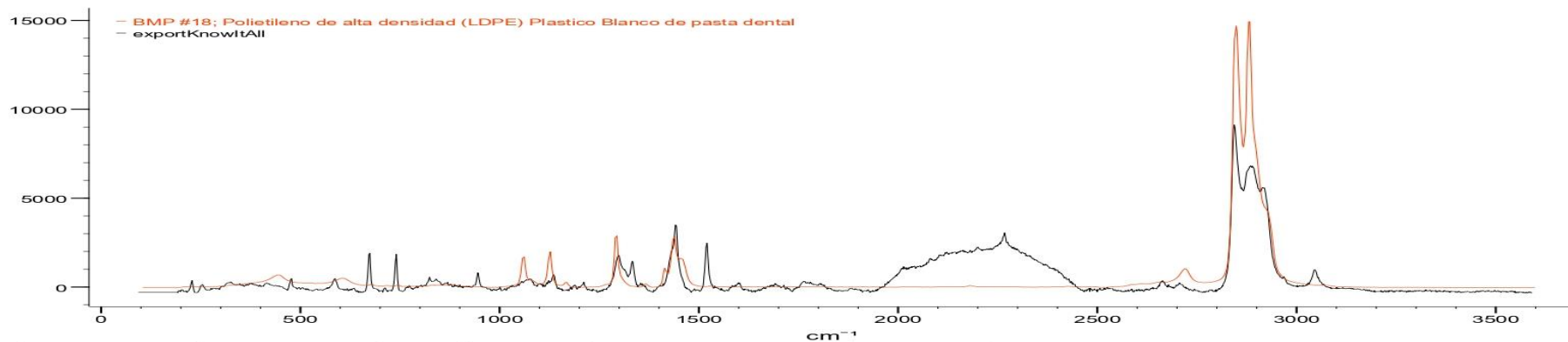
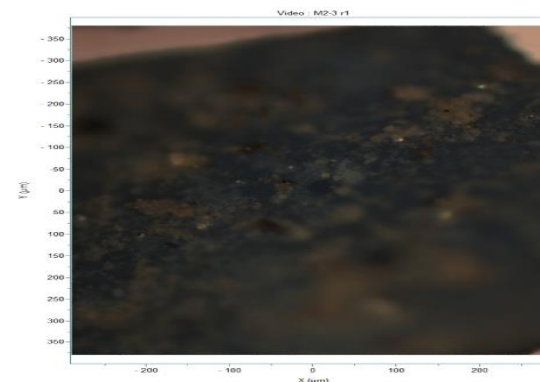
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M2 - 3 R1

#### Equipo:

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

#### Programacion:

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                                   | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|------------------------------------------------------------------------|----------|
| 69.75 | 1.00   | BMP | 18 | Polietileno de alta densidad (LDPE)<br>Plastico Blanco de pasta dental |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-011

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

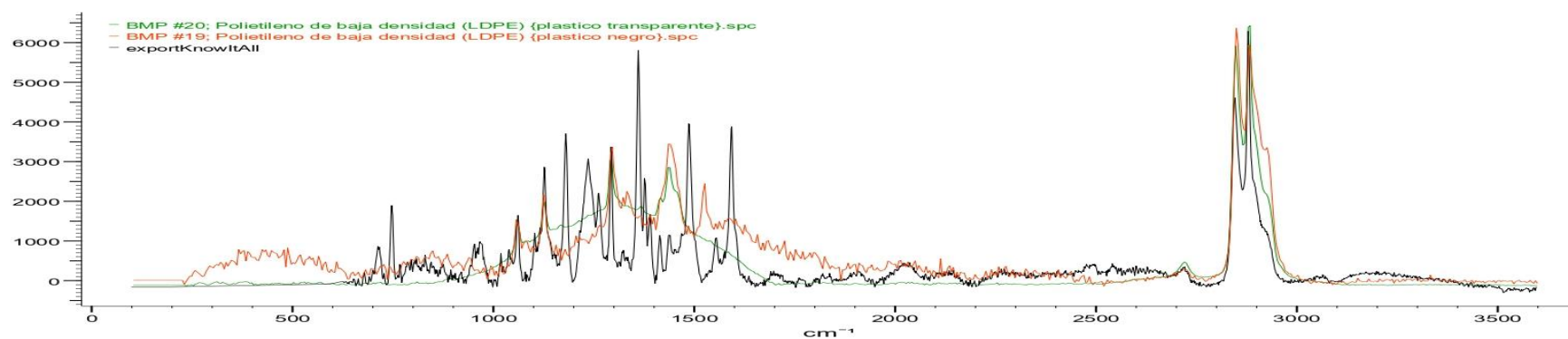
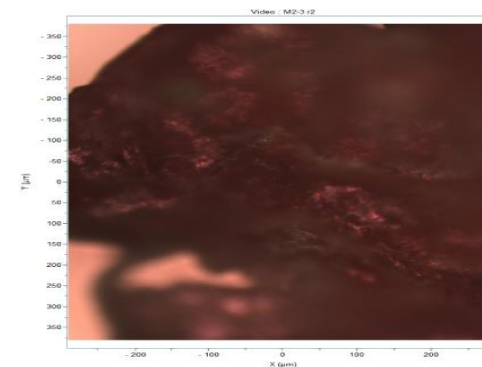
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M2 - 3 R2

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | Exclude | rectific | DB  | ID | Name                                                            | Spectrum |
|-------|--------|---------|----------|-----|----|-----------------------------------------------------------------|----------|
| 72.79 | 1.00   |         |          | BMP | 20 | Polietileno de baja densidad (LDPE) (plastico transparente).spc |          |
| 70.30 | 1.00   |         |          | BMP | 19 | Polietileno de baja densidad (LDPE) (plastico negro).spc        |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-012

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

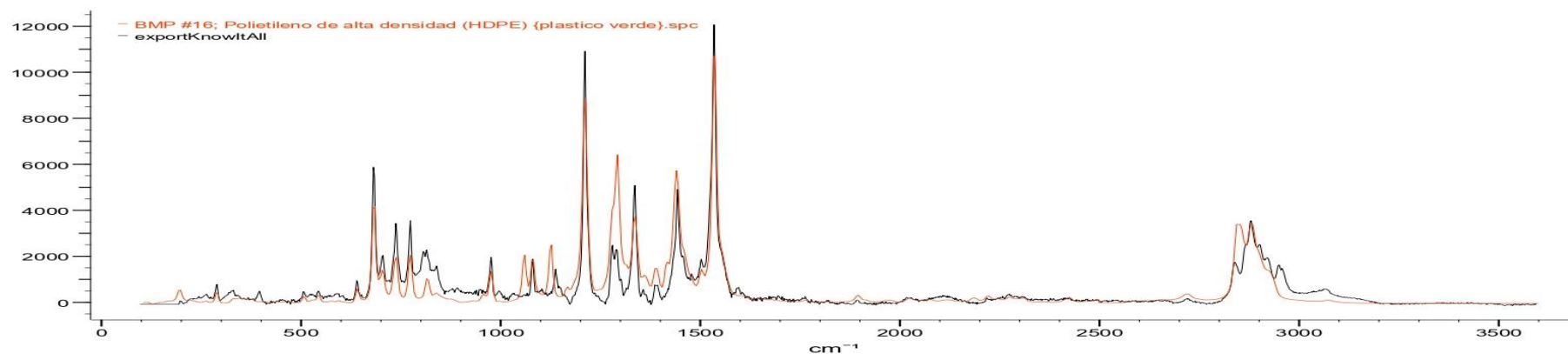
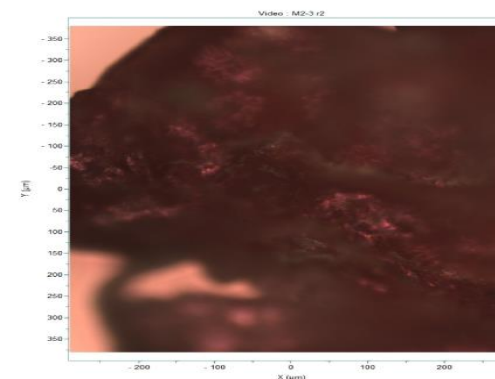
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M2 - 3 R3

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                        | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------------------------|----------|
| 83.53 | 1.00   | BMP | 16 | Polietileno de alta densidad (HDPE)<br>{plastico verde}.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-013

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
 Calidad: Tesista pregrado UNAS  
 Recibo Nro:

**Muestra:**

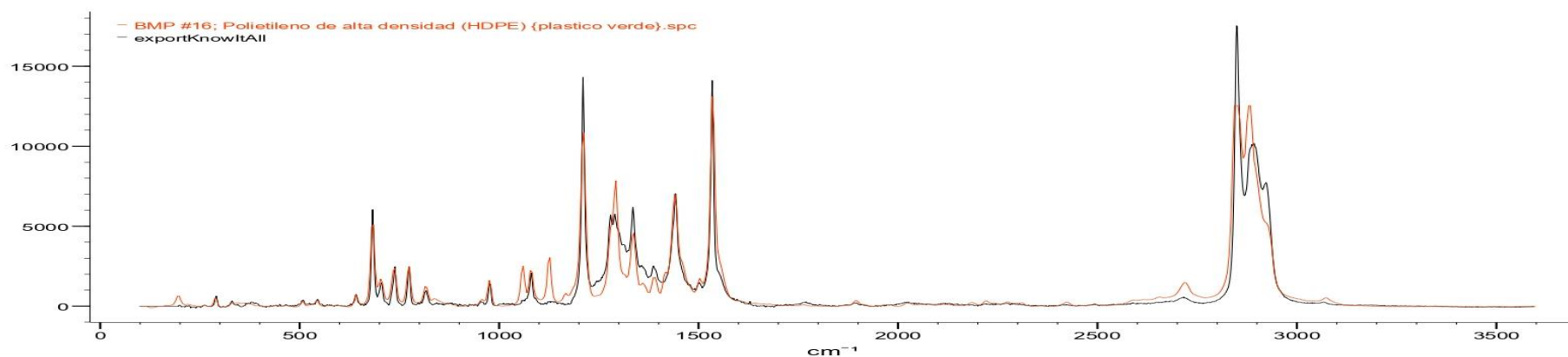
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
 Hora de recepción: 9:00 am  
 Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
 Identificación de la muestra: M3 - 1 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
 Modelo: Xplora plus  
 Marca: Horiba Scientific  
 País: Francia

**Programación:**

Objetivo: ☐ x10  
 Laser: ☐ 638 nm  
 Filtro: 50%  
 Grating: 1200  
 Rango: 100 - 3600  
 Acq Time: 33  
 Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                        | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------------------------|----------|
| 93.31 | 1.00   | BMP | 16 | Polietileno de alta densidad (HDPE)<br>{plastico verde}.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-014

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

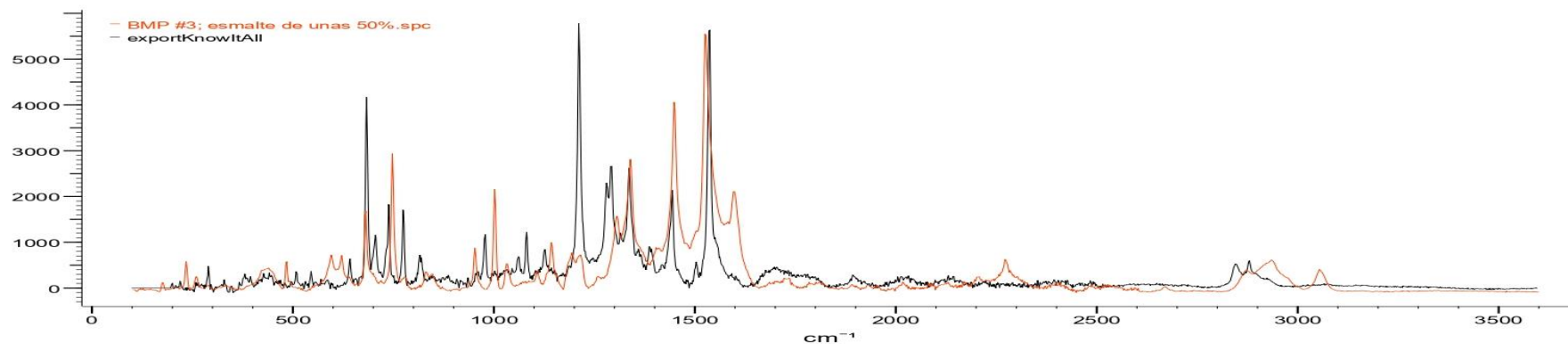
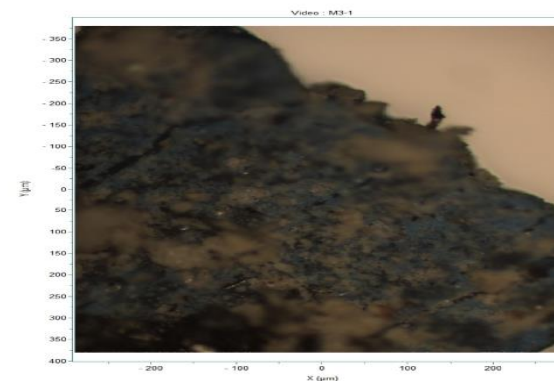
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M3 - 1 R2

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                    | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------|----------|
| 48.86 | 1.00   | BMP | 3  | esmalte de unas 50%.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-015

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

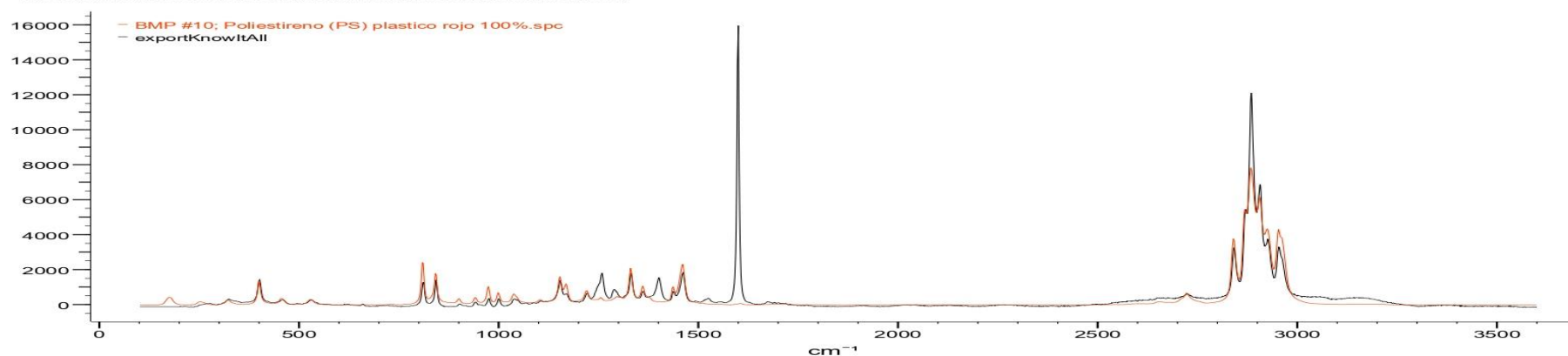
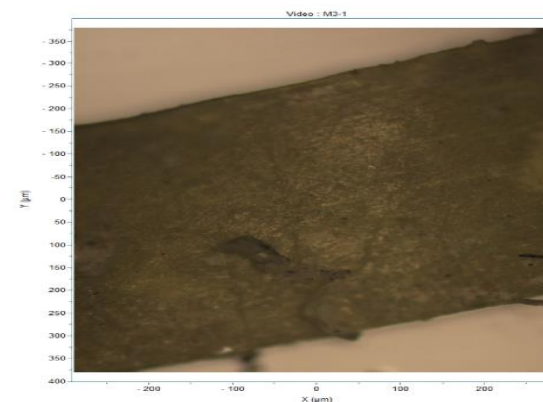
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M3 - 1 R3

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 100%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                     | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|------------------------------------------|----------|
| 81.94 | 1.00   | BMP | 10 | Poliestireno (PS) plastico rojo 100%.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-016

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

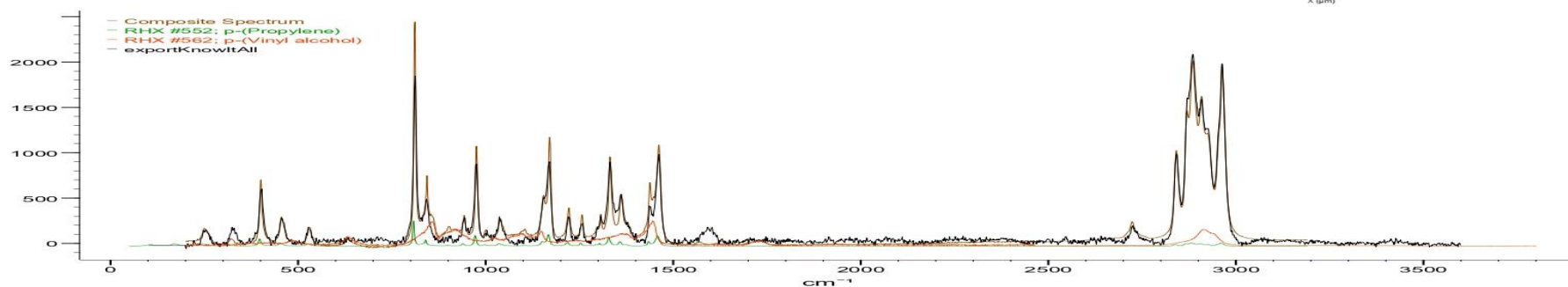
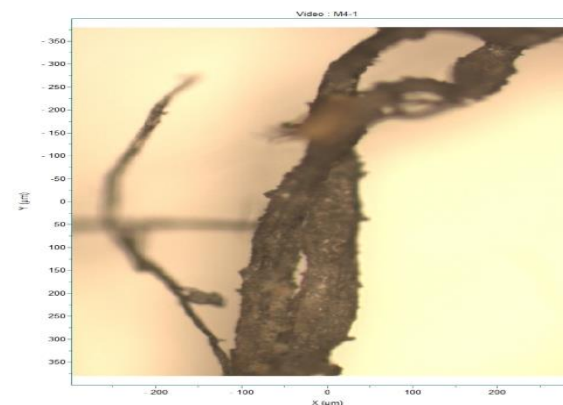
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M4 - 1 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID  | Name               | Chemical Structure | Spectrum |
|-------|--------|-----|-----|--------------------|--------------------|----------|
| 97.10 | N.A.   |     |     | Composite Spectrum |                    |          |
|       | 0.69   | RHX | 552 | p-(Propylene)      |                    |          |
|       | 0.31   | RHX | 562 | p-(Vinyl alcohol)  |                    |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-017

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

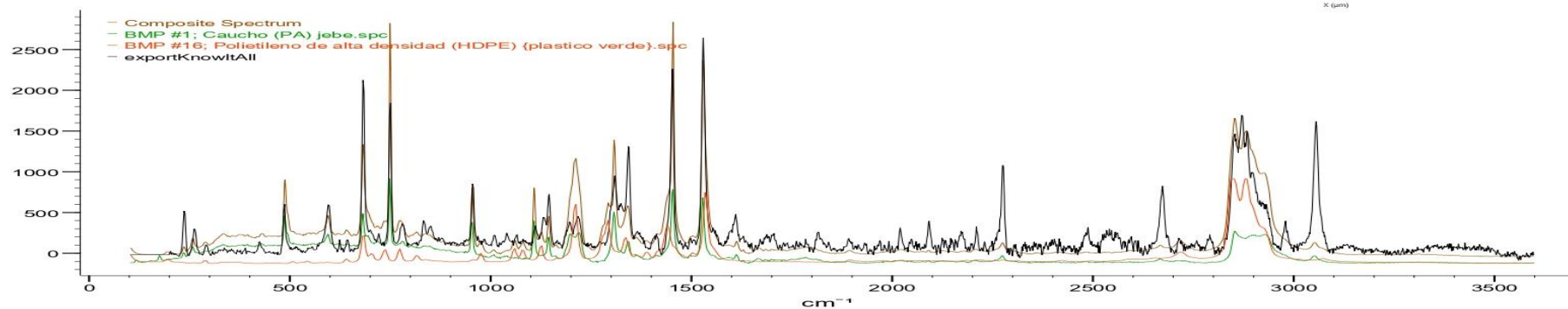
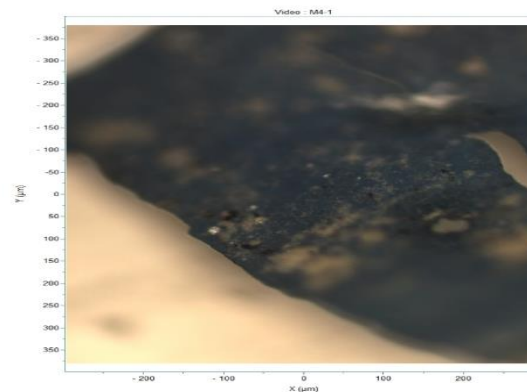
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M4 - 1 R2

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programación:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 25%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                     | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|----------------------------------------------------------|----------|
| 76.82 | N.A.   |     |    | Composite Spectrum                                       |          |
|       | 0.77   | BMP | 1  | Caucho (PA) jebe.spc                                     |          |
|       | 0.23   | BMP | 16 | Polietileno de alta densidad (HDPE) (plastico verde).spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-018

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

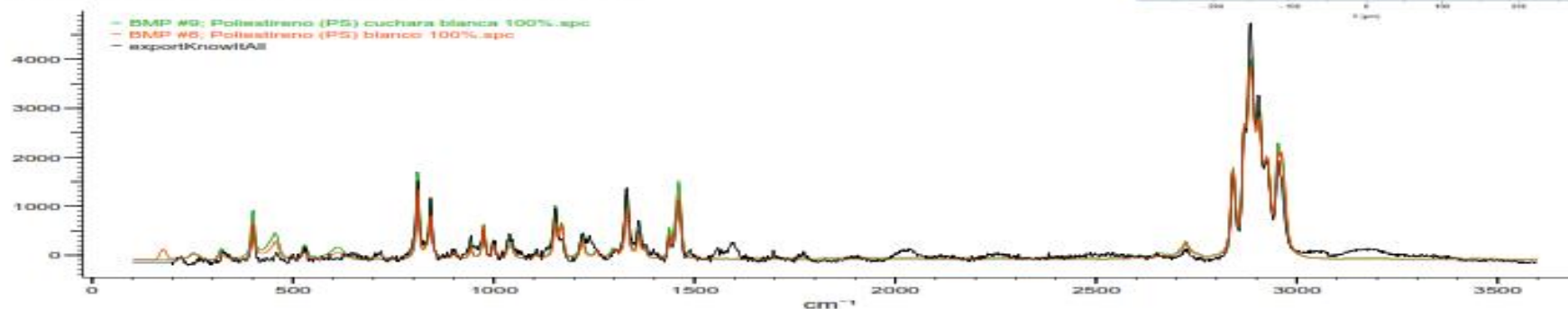
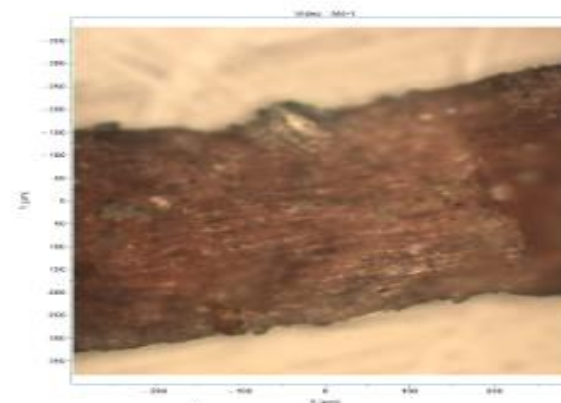
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M4 - 1 R3

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programación:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                      | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------|----------|
| 95.17 | 1.00   | BMP | 9  | Poliestireno (PS) cuchara blanca 100%.spc |          |
| 94.57 | 1.00   | BMP | 5  | Poliestireno (PS) blanco 100%.spc         |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-019

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

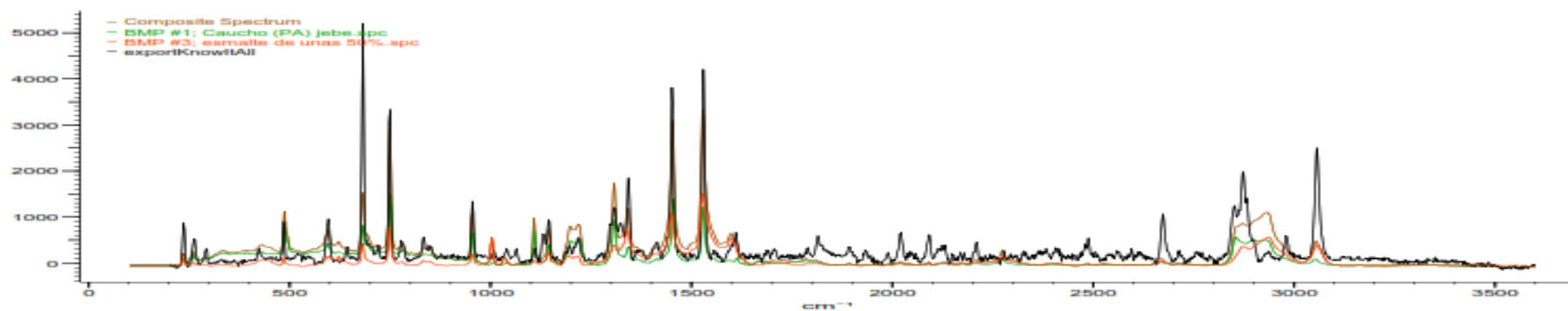
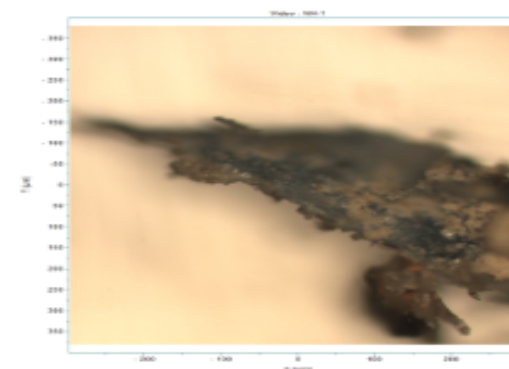
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M5 - 2 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 10%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | Exclude | rectific | DB  | ID | Name                    | Spectrum |
|-------|--------|---------|----------|-----|----|-------------------------|----------|
| 70.12 | N.A.   |         |          |     |    | Composite Spectrum      |          |
|       | 0.61   |         |          | BMP | 1  | Caucho (PA) jebe.spc    |          |
|       | 0.39   |         |          | BMP | 3  | esmalte de unas 50%.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-020

#### Interesado(a):

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

#### Muestra:

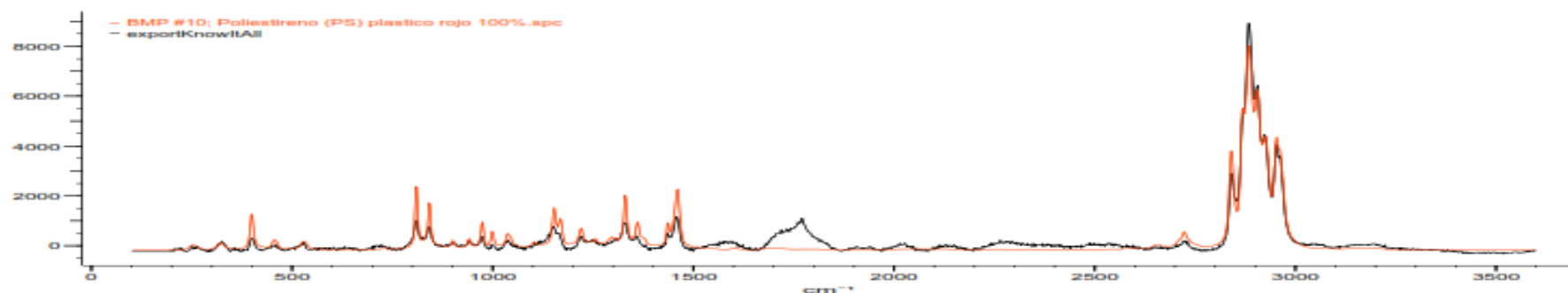
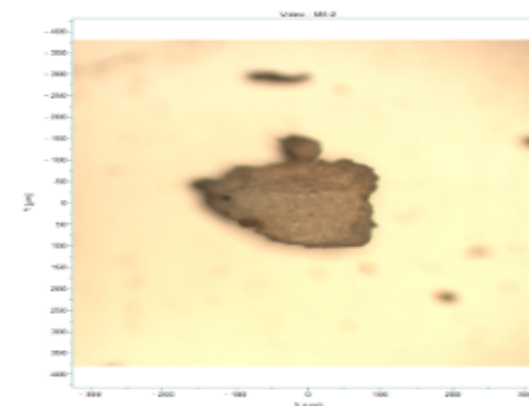
Fecha de recepcion: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepcion: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplasticos  
Identificacion de la muestra: M5 - 2 R2

#### Equipo:

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

#### Programacion:

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 100%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 22  
Accumulation: 7



| HOI   | Weight | DB  | ID | Name                                     | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|------------------------------------------|----------|
| 94.17 | 1.00   | BMP | 10 | Poliestireno (PS) plastico rojo 100%.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-021

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

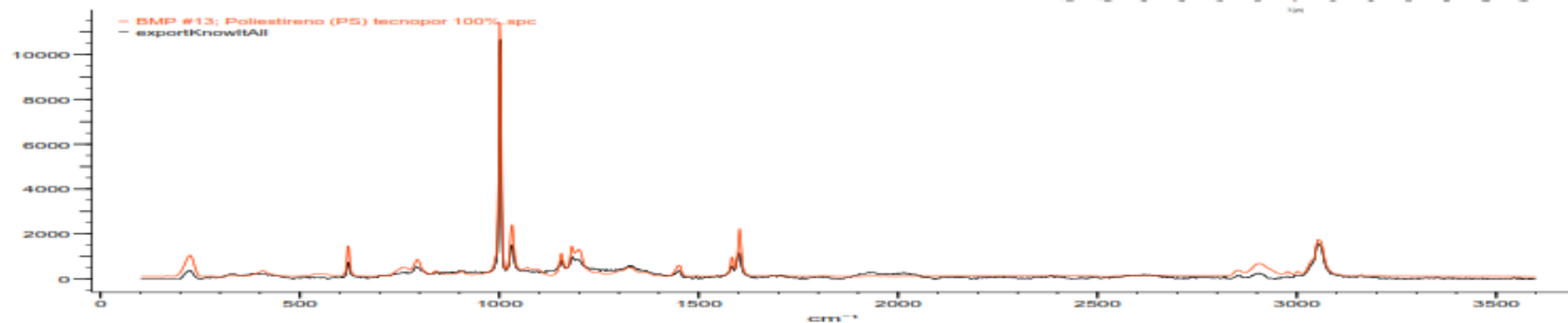
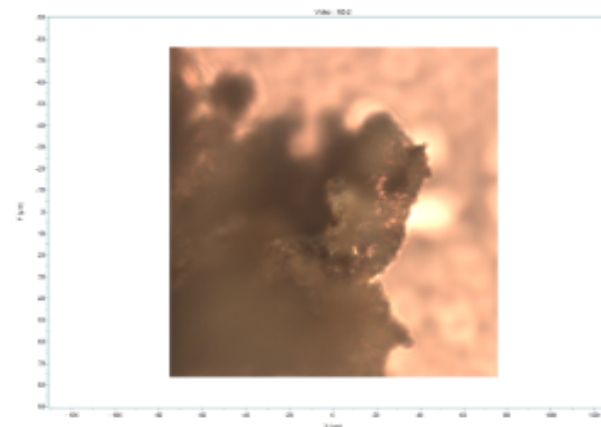
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M5 - 2 R3

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programación:**

Objetivo: ☐ x50  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 22  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------|----------|
| 94.07 | 1.00   | BMP | 13 | Poliestireno (PS) tecnopor 100%.apc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-022

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

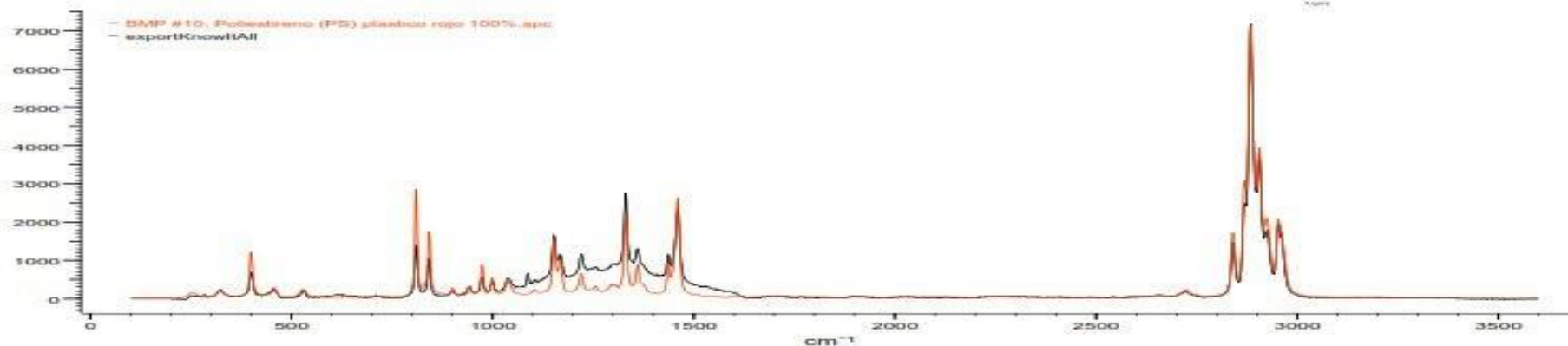
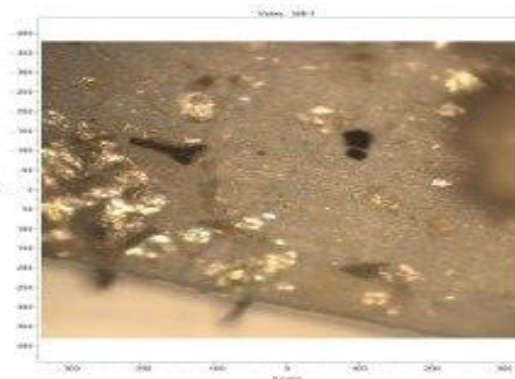
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M6 - 1 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programación:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 100%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 22  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | Exclude | rectific | DB  | ID | Name                                     | Spectrum |
|-------|--------|---------|----------|-----|----|------------------------------------------|----------|
| 91.97 | 1.00   |         |          | BMP | 10 | Poliestireno (PS) plastico rojo 100%.apc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-023

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

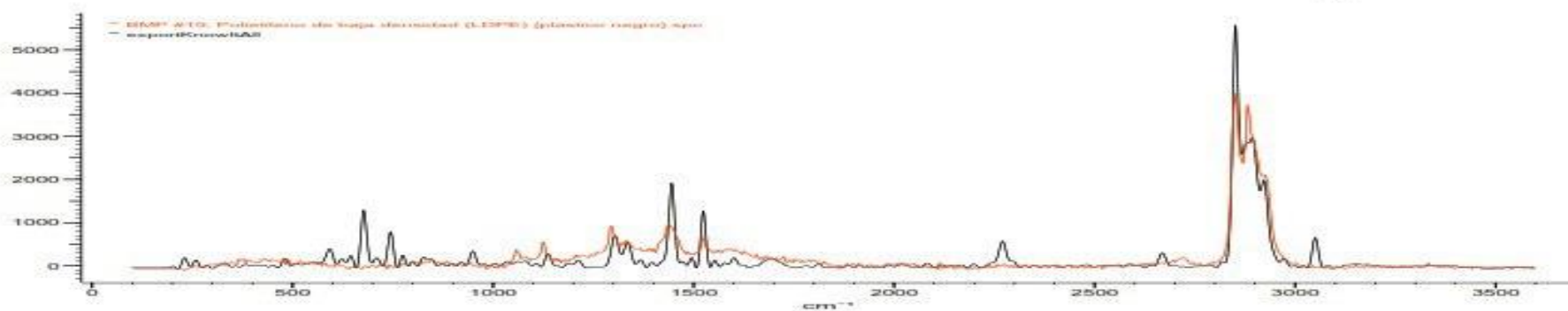
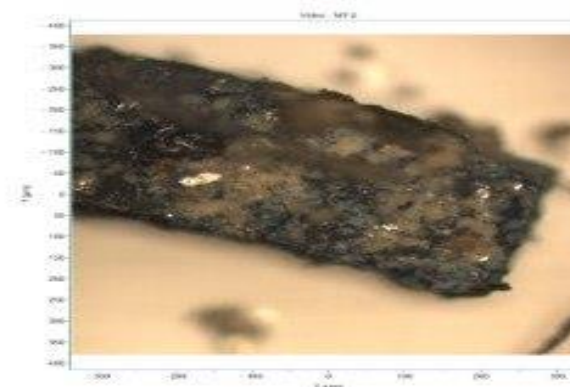
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M7 - 1 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 22  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                     | Chemical Structure | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|----------------------------------------------------------|--------------------|----------|
| 57.57 | 1.00   | BMP | 19 | Poliétileno de baja densidad (LDPE) (plástico negro).apc |                    |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



Reporte 2022-11-R-024

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

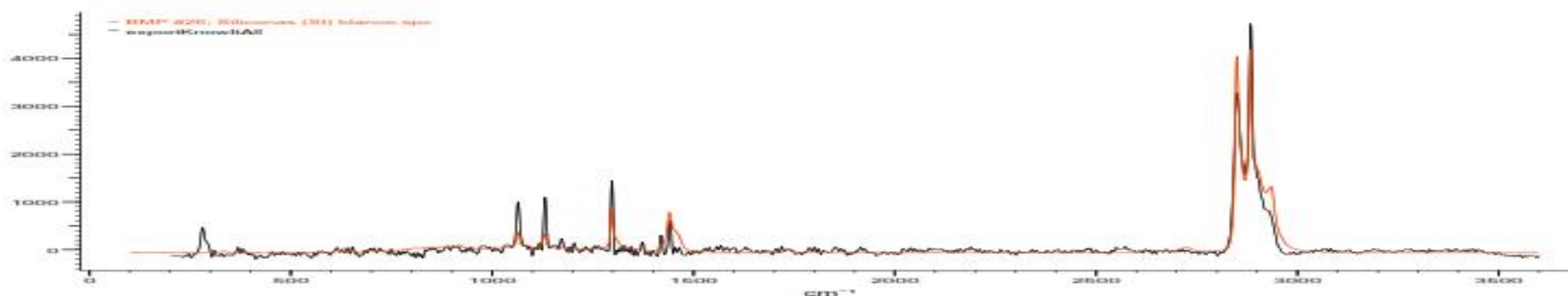
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M8 - 2 R1

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 25%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                      | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|---------------------------|----------|
| 90.70 | 1.00   | BMP | 26 | Siliconas (SI) blanco.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



### Reporte 2022-11-R-025

**Interesado(a):**

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

**Muestra:**

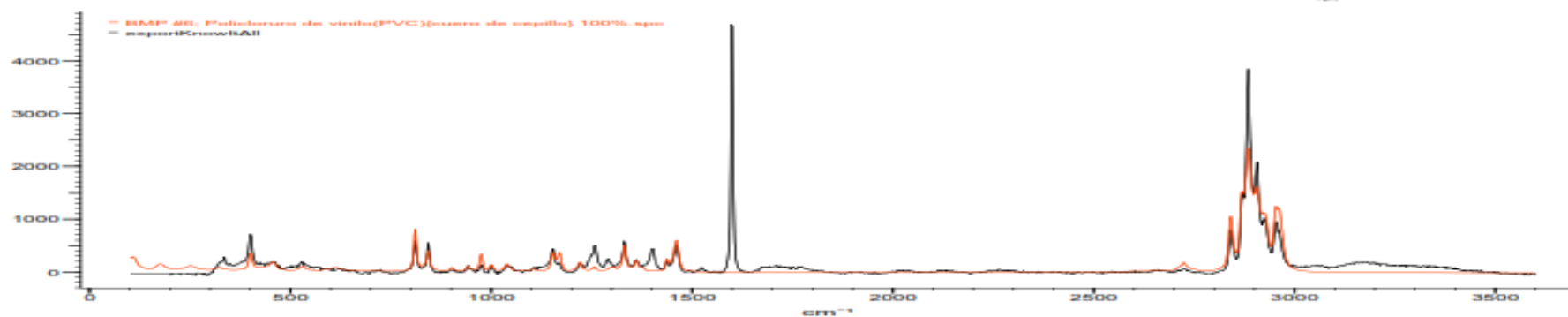
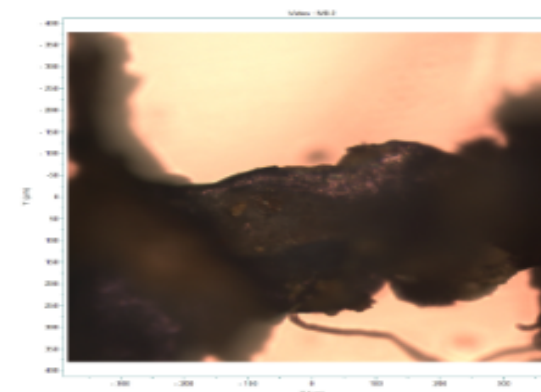
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M8 - 2 R2

**Equipo:**

Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
Pais: Francia

**Programacion:**

Objetivo: ☐ x50  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: ☐ 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 33  
Accumulation: 7



| HOI   | Weight | DB  | ID | Name                                                  | Spectrum |
|-------|--------|-----|----|-------------------------------------------------------|----------|
| 76.61 | 1.00   | BMP | 6  | Policloruro de vinilo(PVC)(cuero de cepillo) 100%.spc |          |



## Laboratorio Central de Investigación - LCI

### Area de espectroscopia RAMAN



#### Reporte 2022-11-R-026

##### Interesado(a):

Nombre: Ever Silva Silva  
Calidad: Tesista pregrado UNAS  
Recibo Nro:

##### Muestra:

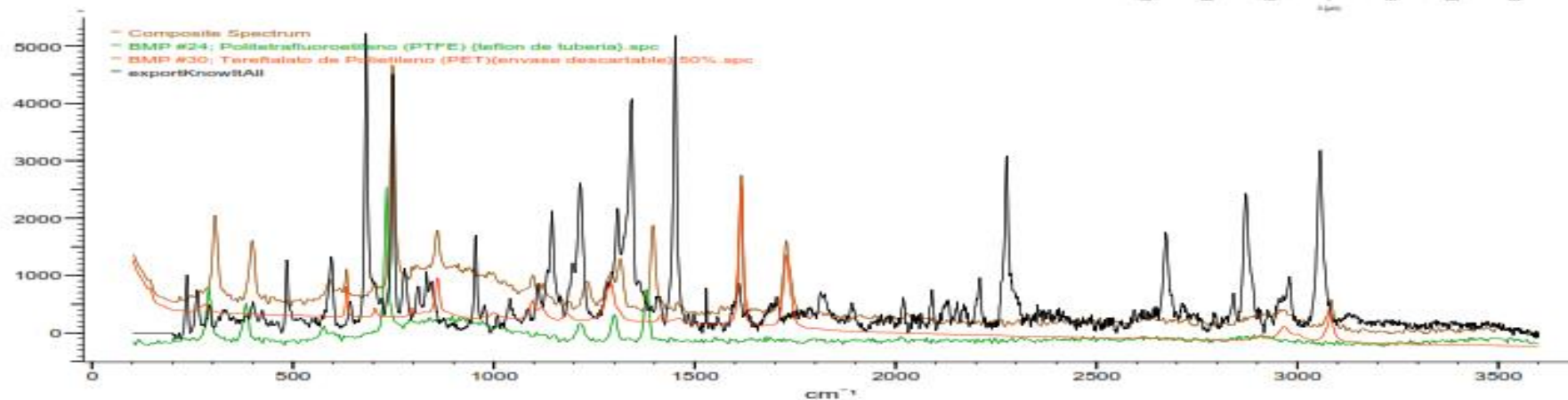
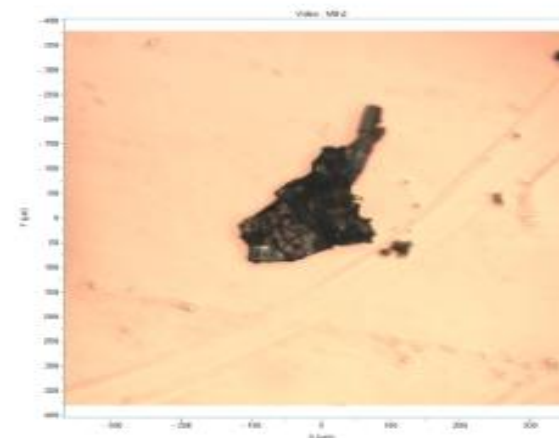
Fecha de recepción: 30 de octubre de 2022  
Hora de recepción: 9:00 am  
Tipo de muestra: Filtros con presuntos microplásticos  
Identificación de la muestra: M9 - 2 R1

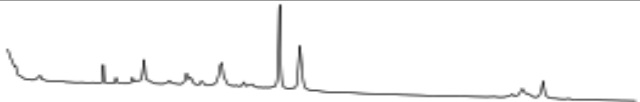
##### Equipo:

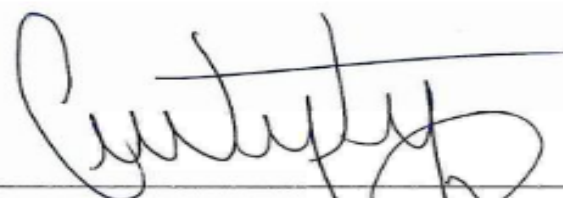
Nombre: Espectrometro Raman  
Modelo: Xplora plus  
Marca: Horiba Scientific  
País: Francia

##### Programacion:

Objetivo: ☐ x10  
Laser: ☐ 638 nm  
Filtro: 50%  
Grating: 1200  
Rango: 100 - 3600  
Acq Time: 22  
Accumulation: 7



| HQI   | Weight | DB  | ID | Name                                                         | Spectrum                                                                            |
|-------|--------|-----|----|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 41.78 | N.A.   |     |    | Composite Spectrum                                           |  |
|       | 0.62   | BMP | 24 | Politetrafluoroetileno (PTFE) (teflon de tubería).spc        |  |
|       | 0.38   | BMP | 30 | Tereftalato de Polietileno (PET)(envase descartable) 50%.spc |  |



**Ing. Cristopher A. Del Aguila Meléndez**  
Especialista espectroscopia RAMAN y FTIR  
LCI- UNAS



**Dr. Melchor Soria Iturri**  
Director Laboratorio Central de Investigación  
LCI - UNAS

### Anexo C. Panel fotográfico



**Figura 6.** Ubicación del punto 1



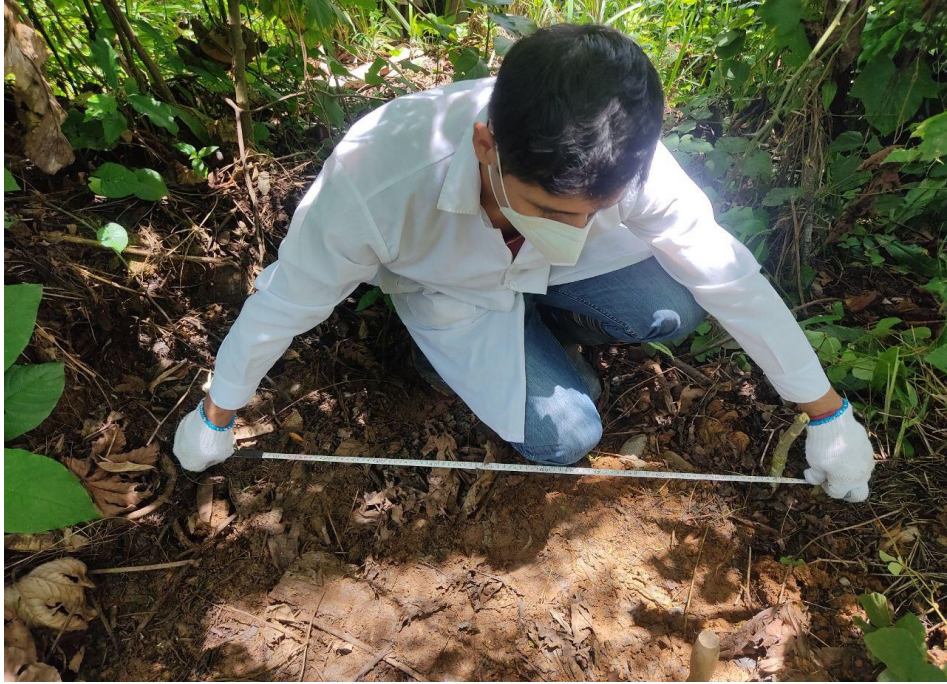
**Figura 7.** Limpiando el área a muestrear



**Figura 8.** Profundidad de la muestra extraída



**Figura 9.** Tres muestras por punto



**Figura 10.** Medición del 1m<sup>2</sup> en el punto



**Figura 11.** Preparando el testigo en laboratorio



**Figura 12.** Vertiendo el suelo del muestreo a fuente de aluminio



**Figura 13.** Pesado de la muestra



**Figura 14.** Tamizado del suelo



**Figura 15.** Agregando peróxido de hidrogeno al 30%

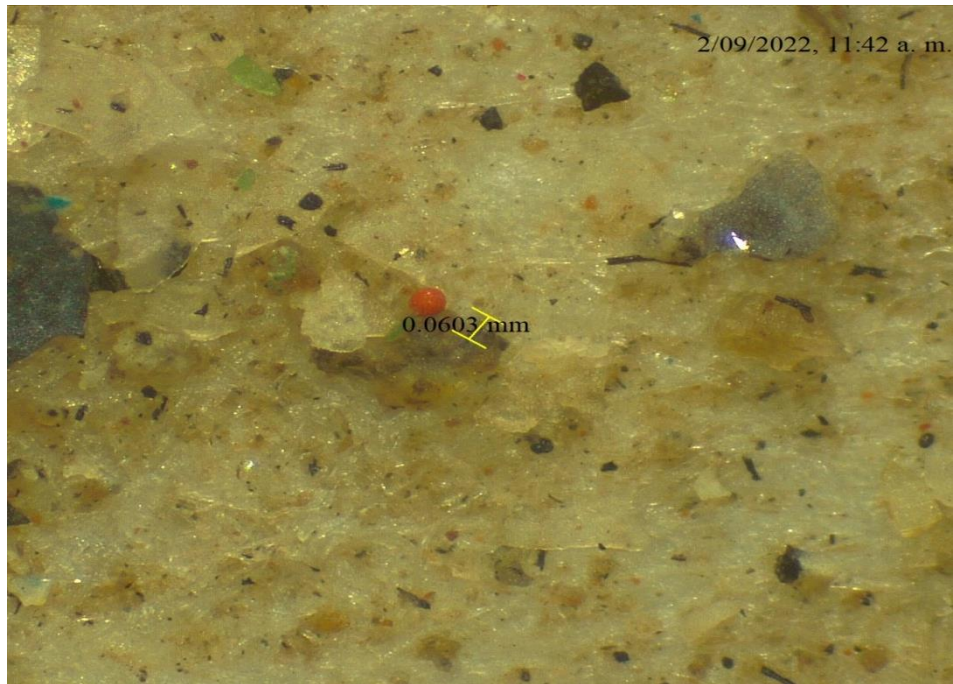


**Figura 16.** Agitación de las muestras

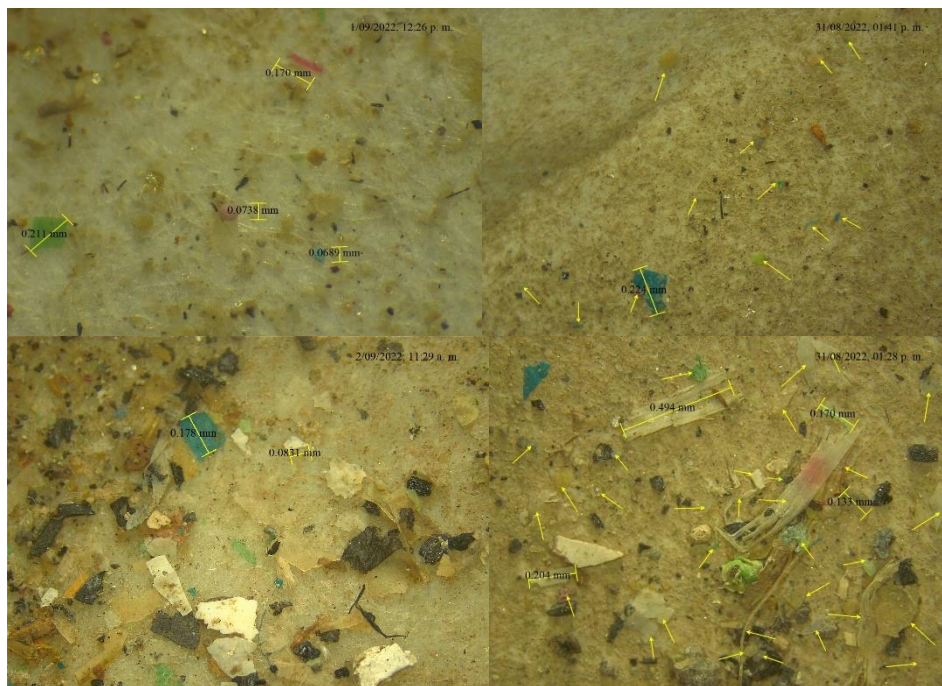


**Figura 17.** Retención de los microplásticos en el papel filtro

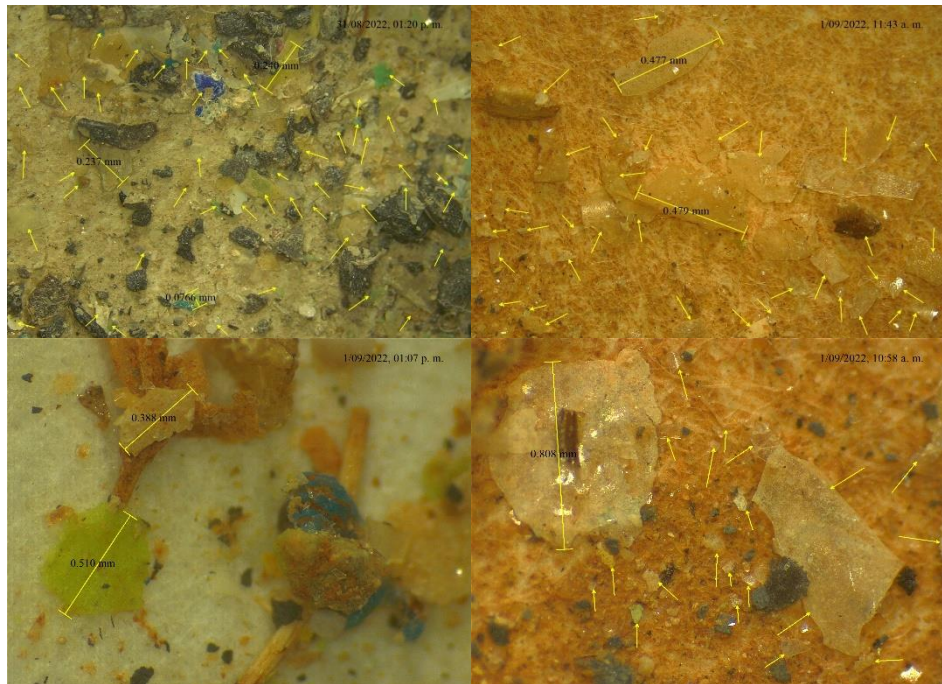




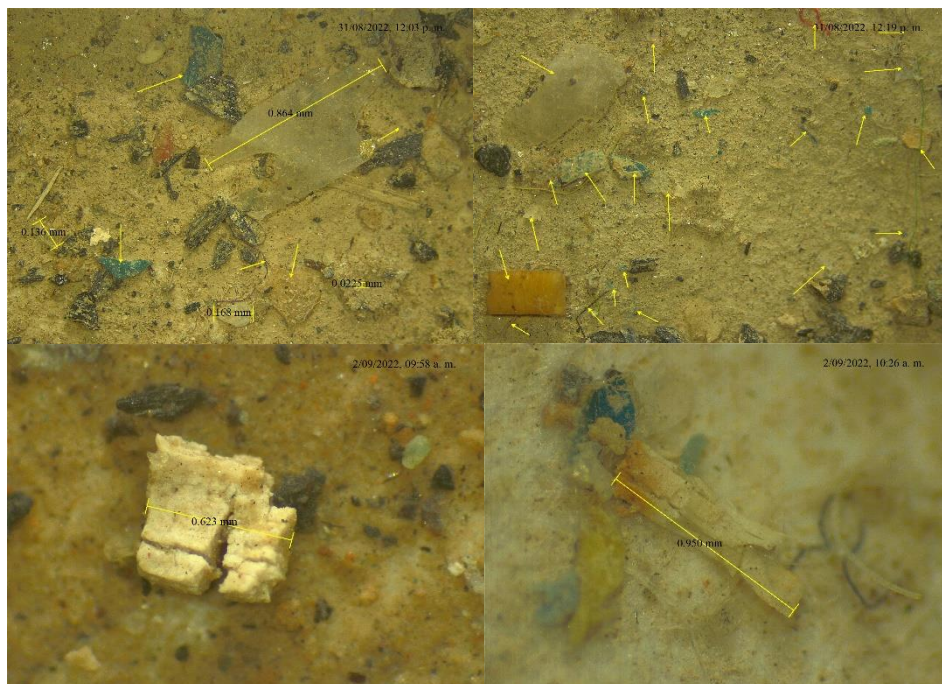
**Figura 20.** Microplástico en forma de esfera



**Figura 21.** Microplásticos de diferentes formas en el punto 4



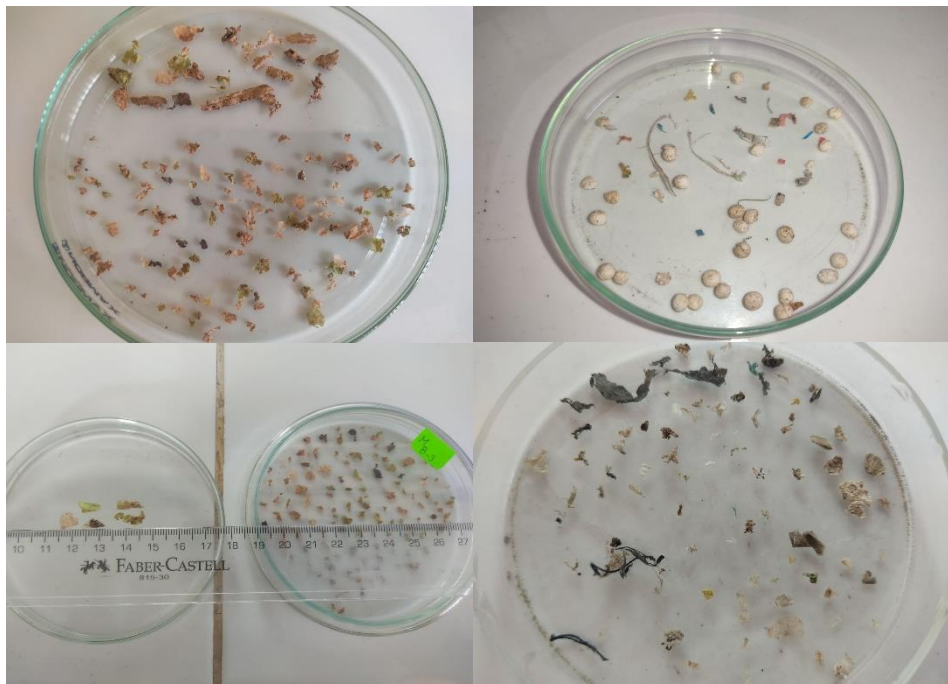
**Figura 22.** Microplásticos en el punto 8



**Figura 23.** Fragmentos y filamentos en el punto 3

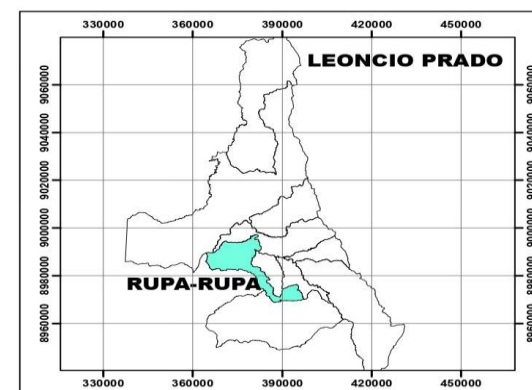
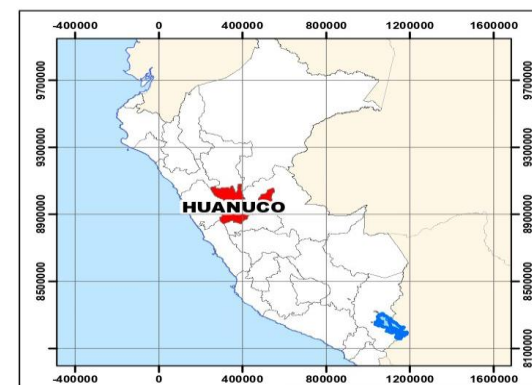
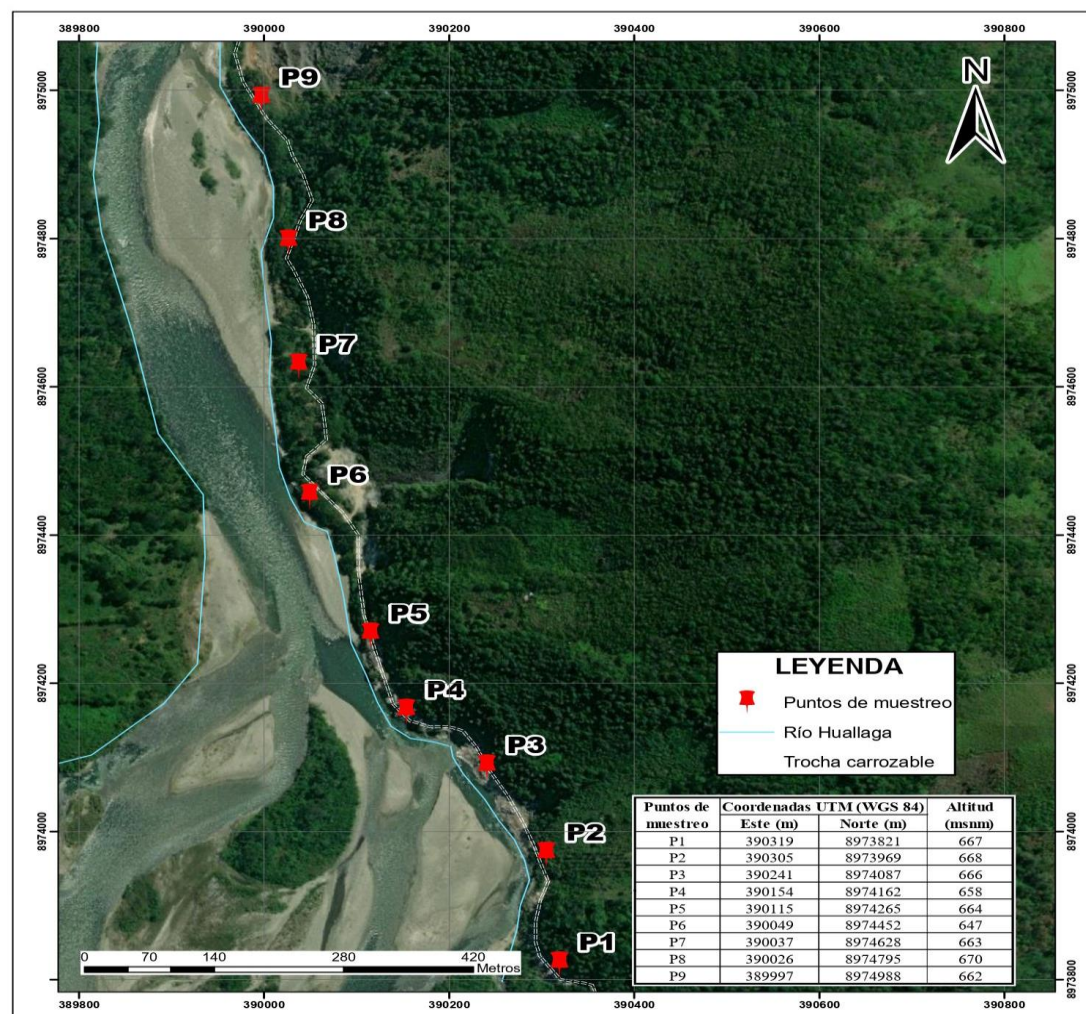


**Figura 24.** Conteo de los microplásticos mayores de un 1 mm



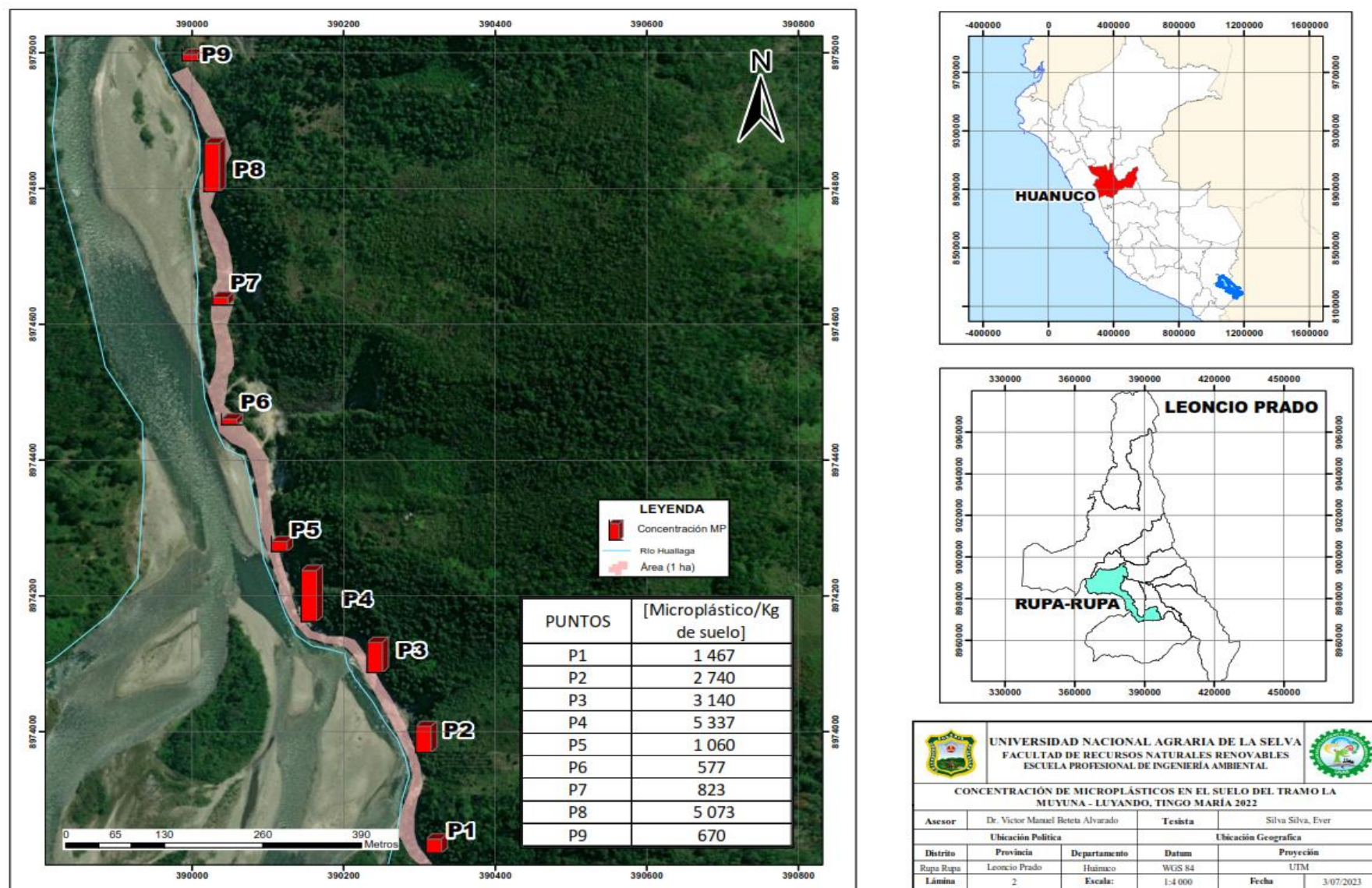
**Figura 25.** Separación de microplásticos mayores de 5 mm y 1 mm

## Anexo C. Mapa de ubicación



|                                                                                   |                                   |                                                                                                                                             |                      |                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-----------|
|                                                                                   |                                   | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA</b><br>FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES<br>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL |                      |                   |           |
| <b>MICROPLÁSTICOS EN EL SUELO DEL TRAMO LA MUYUNA - LUYANDO, TINGO MARÍA 2022</b> |                                   |                                                                                                                                             |                      |                   |           |
| Asesor                                                                            | Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado |                                                                                                                                             | Tesista              | Silva Silva, Ever |           |
| Ubicación Política                                                                |                                   |                                                                                                                                             | Ubicación Geográfica |                   |           |
| Distrito                                                                          | Provincia                         | Departamento                                                                                                                                | Datum                | Proyección        |           |
| Rupa Rupa                                                                         | Leoncio Prado                     | Huánuco                                                                                                                                     | WGS 84               | UTM               |           |
| Lámina                                                                            | 1                                 | Escala:                                                                                                                                     | 1:4 000              | Fecha             | 3/07/2023 |

**Figura 26.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



**Figura 27.** Mapa concentración de microplásticos en los puntos de muestreo en el área de estudio