



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



“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS
EN LOS UROS Y SU BIOACUMULACIÓN EN TRUCHA ARCOÍRIS
(Oncorhynchus mykiss) PUNO - 2022”

Bach. Flor Digna Espetia Turpo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

ASESOR:

M.Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca - Perú
2024



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



“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS
EN LOS UROS Y SU BIOACUMULACIÓN EN TRUCHA ARCOÍRIS
(Oncorhynchus mykiss) PUNO - 2022”

Bach. Flor Digna Espetia Turpo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

ASESOR:

M.Sc. Hugo Apaza Aquino



Juliaca - Perú
2024

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



“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS
EN LOS UROS Y SU BIOACUMULACIÓN EN TRUCHA ARCOÍRIS
(*Oncorhynchus mykiss*) PUNO – 2022”

Bach. Flor Digna Espetia Turpo

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

ASESOR:

M.Sc. Hugo Apaza Aquino

Juliaca, Perú

2024

Espetia-Turpo, F. (2024) *Determinación de la presencia de microplásticos en los Uros y su bioacumulación en Trucha Arcoíris (Oncorhynchus mykiss) Puno – 2022*, (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Flor Digna Espetia Turpo

TÍTULO: Determinación de la presencia de microplásticos en los Uros y su bioacumulación en Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) Puno – 2022.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (116 pp)

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

CÓDIGO: 01-000036-01/E85

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: M.Sc. Hugo Apaza Aquino

PALABRAS CLAVE:

Agua superficial, bioacumulación, microplásticos, microscopía Raman, *Oncorhynchus mykiss*.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL Y FORESTAL

**“DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LOS UROS Y
SU BIOACUMULACIÓN EN TRUCHA ARCOÍRIS (*Oncorhynchus mykiss*) PUNO –
2022”**

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

Presentada por:

Bach. Flor Digna Espetia Turpo

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro

PRESIDENTE DE JURADO



M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

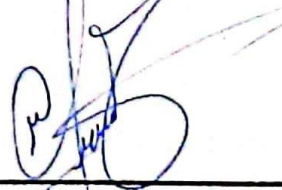
JURADO (secretario)



2° MIEMBRO

M.Sc. Milton Quispe Tisnado

JURADO (vocal)



3° MIEMBRO

M.Sc. Hugo Apaza Aquino

ASESOR DE TESIS



NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE
MICROPLÁSTICOS EN LOS UROS Y SU BI
OACUMULACIÓN EN TRUCHA ARCOÍRIS
(**

AUTOR

Flor Digna Espetia Turpo

RECUENTO DE PALABRAS

24675 Words

RECUENTO DE CARACTERES

138454 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

116 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.4MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 20, 2024 10:59 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 20, 2024 11:01 AM GMT-5**● 6% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)



Resumen

DEDICATORIA

A mis amados padres Eloy y Marlene, que son mi inspiración y la fuente principal de mis alegrías.

A mis hermanos Betzabé, Adams, Josué y Elhí, que siempre han estado motivándome en cada aspecto de mi vida.

A Neftalí, mi hermana por siempre.

A Sandra, mi luz, mi alma.

Flor Digna Espetia Turpo

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Juliaca, mi alma máter, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal por haberme acogido en sus aulas y contribuir en mi formación profesional.

Al M.Sc. Hugo Apaza Aquino, un gran mentor, por compartirme sus conocimientos, por asesorarme en cada etapa de la realización de esta tesis, por sus consejos de vida y por motivarme a ser mejor le estaré eternamente agradecida.

A los miembros del jurado, al Dr. Wile Mamani Navarro, a la M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras y al M.Sc. Milton Quispe Tisnado, grandes profesionales y personas extraordinarias, por compartirme sus conocimientos en la etapa universitaria y por todas sus orientaciones y aportes brindados en la redacción de esta tesis les estaré siempre agradecida.

Flor Digna Espetia Turpo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Identificación del problema	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.2.1. Problema general:	3
1.2.2. Problemas específicos:.....	3
1.3. Objetivos de investigación.....	4
1.3.1. Objetivo general:	4
1.3.2. Objetivos específicos:	4
1.4. Justificación	4
CAPÍTULO II	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. A nivel internacional	6
2.1.2. A nivel nacional	8
2.1.3. A nivel regional.....	10
2.2. Marco teórico.....	10
2.2.1. Microscopía Raman.....	10
2.2.2. Muestra integrada y método de arrastre	11
2.2.3. Bioacumulación	11
2.2.4. Contaminación por plásticos	11
2.2.5. Microplásticos.....	12
2.2.6. Estado situacional de los MP a nivel mundial	15
2.2.7. Contaminación de fuentes de agua.....	16
2.2.8. Microplásticos en aguas superficiales	17
2.2.9. Dinámica de contaminación de los microplásticos	17
2.2.10. Transferencia de los microplásticos en la cadena trófica	18
2.2.11. Impacto del consumo de peces contaminados.....	19
2.2.12. Producción de trucha	20
2.2.13. Efectos de los microplásticos sobre la Trucha Arcoíris	20
2.2.14. Lago Titicaca.....	21
2.2.15. Normativa nacional sobre el microplástico.....	22
CAPÍTULO III.....	24

MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ámbito de estudio	24
3.2. Población y muestra	25
3.3. Tipo y diseño de investigación	25
3.4. Hipótesis de investigación	26
3.4.1. Hipótesis general:	26
3.4.2. Hipótesis específicas:	26
3.5. Equipos y materiales	26
3.5.1. Equipos	26
3.5.2. Materiales	27
3.5.3. Reactivos	27
3.6. Metodología	27
3.6.1. Caracterización del agua de las islas flotantes de los Uros	27
3.6.2. Determinación de microplásticos en el agua de las islas flotantes de los Uros	28
3.6.3. Determinación del nivel de bioacumulación de microplásticos en Trucha Arcoíris	30
3.7. Análisis de datos	32
CAPÍTULO IV	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Caracterización del agua de las islas flotantes los Uros, en el lago Titicaca	33
4.2. Determinación de microplásticos en el agua de los Uros del lago Titicaca	35
4.2.1. Abundancia de microplásticos	36
4.2.2. Características morfológicas de los microplásticos	38
4.2.3. Categorización de polímeros	41
4.3. Determinación del nivel de bioacumulación de microplásticos en Trucha Arcoíris	43
4.3.1. Abundancia de microplásticos	43
4.3.2. Características morfológicas de los microplásticos	44
4.3.3. Categorización de polímeros	47
CAPÍTULO V	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales polímeros reportados como microplásticos.	14
Tabla 2 Abundancia de microplásticos en lagos a nivel internacional.	22
Tabla 3 ECA de los parámetros a evaluar en el Lago Titicaca.	23
Tabla 4 Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.	25
Tabla 5 Calidad de agua en las islas flotantes de los Uros.	33
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos del agua en las islas flotantes de los Uros.	35
Tabla 7 Número de partículas microplásticas según su forma en el agua.	38
Tabla 8 Número microplásticos según su forma en la Trucha Arcoíris.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> El número anual de publicaciones sobre temas de MP desde 1990 hasta 2020.	16
<i>Figura 2.</i> Producción de pescado en Perú desde 2010 a 2019.	19
<i>Figura 3.</i> Área de estudio y puntos de muestreo.	24
<i>Figura 4.</i> Concentraciones de MP en las islas flotantes de los Uros.	36
<i>Figura 5.</i> Actividades económicas en las islas flotantes de los Uros.	37
<i>Figura 6.</i> Fotografías de MP encontrados en las islas flotantes de los Uros.	39
<i>Figura 7.</i> Distribución de color de MP en las islas flotantes de los Uros.	40
<i>Figura 8.</i> Espectros Raman de polímeros en agua (a) polietileno, (b) nylon.	41
<i>Figura 9.</i> Espectros Raman de polímeros en agua (c) polibutadieno, (d) poliestireno.	42
<i>Figura 10.</i> Abundancia de microplásticos en Trucha Arcoíris	43
<i>Figura 11.</i> Distribución de color de MP en la Trucha Arcoíris	46
<i>Figura 12.</i> Espectros Raman de polímeros en TGI (a) polietileno, (b) nylon.	47
<i>Figura 13.</i> Muestreo por arrastre con red de plancton.	73
<i>Figura 14.</i> Conservación y traslado de muestras.	73
<i>Figura 15.</i> Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las islas flotantes de los Uros.	74
<i>Figura 16.</i> Piscigranjas en las islas flotantes de los Uros.	74
<i>Figura 17.</i> Evidencia de contaminación por plásticos en las islas flotantes de los Uros.	75
<i>Figura 18.</i> Tamizado de agua y preparación de reactivo.	76
<i>Figura 19.</i> Digestión de muestras con peróxido de hidrógeno al 30%.	76
<i>Figura 20.</i> Preparación de TGI de Trucha Arcoíris.	77
<i>Figura 21.</i> Digestión de TGI, se evidencia el cambio de color en el tiempo.	77
<i>Figura 22.</i> Equipo de filtración en el laboratorio de residuos sólidos, UNAJ.	78
<i>Figura 23.</i> Proceso de filtrado y almacén de muestra.	78
<i>Figura 24.</i> Observación de forma y color de las muestras en el laboratorio de residuos sólidos, UNAJ.	79
<i>Figura 25.</i> Partículas identificadas en el punto 1, en agua.	80
<i>Figura 26.</i> Partículas identificadas en el punto 2, en agua.	82
<i>Figura 27.</i> Partículas identificadas en el punto 3, en agua.	84
<i>Figura 28.</i> Partículas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 1.	84
<i>Figura 29.</i> Partículas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 2.	85
<i>Figura 30.</i> Partículas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 3.	86
<i>Figura 31.</i> Partículas analizadas con Raman.	87

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Toma de muestras.....	73
ANEXO 2. Preparación de muestras de agua y trucha.	76
ANEXO 3. Análisis de muestras.	79
ANEXO 4. Partículas identificadas.	80
ANEXO 5. Informe técnico del análisis de laboratorio.	88
ANEXO 6. ECAs de agua.	97
ANEXO 7. Análisis fisicoquímico del agua de las islas flotantes de los Uros.	99
ANEXO 8. Cadena de custodia	101

LISTA DE ACRÓNIMOS

MINAM	: Ministerio del ambiente
PCM	: Presidencia del consejo de ministros
DIGESA	: Dirección general de salud ambiental
DIRCETUR	: Dirección regional de comercio exterior y turismo
INEI	: Instituto nacional de estadística e informática
PNUD	: Programa de las naciones unidas
ECA	: Estándares de calidad ambiental
LMP	: Límites máximos permisibles
PBI	: Producto bruto interno
OD	: Oxígeno disuelto
pH	: Potencial de hidrógeno
CO ₂	: Dióxido de carbono
MP	: Microplástico
KOH	: Hidróxido de potasio
H ₂ O ₂	: Peróxido de hidrógeno
PE	: Polietileno
PET	: Tereftalato de polietileno
PB	: Polibutadieno
PP	: Polipropileno
PS	: Poliestireno

RESUMEN

Los microplásticos son contaminantes ubicuos que causan gran preocupación ambiental, su presencia en agua representa una gran amenaza ya que se pueden acumular en el sedimento, transferirse en la cadena trófica y actuar como vectores de sustancias tóxicas y microorganismos patógenos; esta investigación tiene como objetivo determinar la presencia de microplásticos en las islas flotantes de los Uros y su bioacumulación en Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), para ello se procedió según el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, haciendo uso del método de muestra integrada, aplicando el método de arrastre para agua superficial y adquiriendo las Truchas Arcoíris de las piscigranjas. Se realizó inspección microscópica observando características como forma, color y tipo de polímero (con Raman). Se verificó la normalidad y homogeneidad mediante la prueba de Shapiro-Wilks y Levene, y la diferencia significativa entre los puntos fueron analizadas mediante ANOVA unidireccional. En la caracterización fisicoquímica se obtuvo: aceites y grasas <1.3 mg/L, cianuro libre <0.01 mg/L, color <5, DBO₅ <2.0mg/L, fósforo total <0.02 mg/L, sulfuros <0.05 mg/L y nitratos 0.41 mg/L. En agua, el promedio de MP fue 5.76 ± 1.92 partículas/m³, en forma resaltaron 76.7% fibras y 14% fragmentos, en el color predominó celeste 34.9% y azul 26.4%, y en tipo de polímero se observaron polietileno, polibutadieno, poliestireno y nylon. En Trucha Arcoíris, la abundancia de MP fue 7.89 ± 2.38 partículas/individuo, en forma resaltaron fibras 81.7% y espumas 12.7%, en el color predominaron rojo 33.8% y azul 28.2%; en cuanto al polímero se identificaron polietileno y nylon. Finalmente se concluye que el agua, así como la Trucha Arcoíris evidencian presencia de variedad de microplásticos, siendo estos sobre todo de origen secundario, teniendo como fuentes principales las aguas residuales, la degradación de residuos sólidos y artículos relacionados a la acuicultura.

Palabras clave: Agua superficial, bioacumulación, microplásticos, microscopía Raman, *Oncorhynchus mykiss*.

ABSTRACT

Microplastics are ubiquitous contaminants that cause great environmental concern. Their presence in water represents a great threat since they can accumulate in the sediment, be transferred in the food chain and act as vectors of toxic substances and pathogenic microorganisms; This research aims to determine the presence of microplastics on the floating islands of the Uros and their bioaccumulation in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*), to do so we proceeded according to the national protocol for monitoring the quality of surface water resources, making use of the integrated sample method, applying the trawl method for surface water and acquiring Rainbow Trout from fish farms. Microscopic inspection was carried out observing characteristics such as shape, color and type of polymer (with Raman). Normality and homogeneity were verified using the Shapiro-Wilks and Levene test, and the significant difference between points was analyzed using one-way ANOVA. In the physicochemical characterization, the following were obtained: oils and fats <1.3 mg/L, free cyanide <0.01 mg/L, color <5, BOD₅ <2.0 mg/L, total phosphorus <0.02 mg/L, sulfides <0.05 mg/L and nitrates 0.41 mg/L. In water, the average MP was 5.76 ± 1.92 particles/m³, in shape 76.7% fibers and 14% fragments stood out, in color light blue 34.9% and blue 26.4% predominated, and in polymer type polyethylene, polybutadiene, polystyrene were observed. and nylon. In Rainbow Trout, the abundance of MP was 7.89 ± 2.38 particles/individual, in form fibers stood out 81.7% and foams 12.7%, in color red 33.8% and blue 28.2% predominated; As for the polymer, polyethylene and nylon were identified. Finally, it is concluded that water, as well as Rainbow Trout, show the presence of a variety of microplastics, these being mainly of secondary origin, with wastewater, the degradation of solid waste and articles related to aquaculture as main sources.

Keywords: Bioaccumulation, microplastics, *Oncorhynchus mykiss*, Raman microscopy, Surface water.

INTRODUCCIÓN

El incremento de producción y uso de plásticos han elevado su nivel de contaminación llegando a ser un serio problema ambiental (Wang et al., 2022). Se considera microplástico (MP) a las partículas de plástico con tamaños menores a 5 mm (Liu et al., 2019), estos se pueden originar de forma industrial (MP primario) como también de la fragmentación de plásticos grandes (MP secundario) (Xu, Ma, Ji, Pan, & Miao, 2020). En medios acuáticos los microplásticos más reportados son polietileno, polipropileno y poliestireno (Cassola et al., 2019; Xu et al., 2020) inclusive en ambientes de agua dulce (Wang et al., 2022).

En el medio acuático, los MP se distribuyen en diferentes partes del cuerpo de agua (superficie, columna y sedimentos) dependiendo de la forma y densidad de las partículas (Cole et al., 2011; Thompson et al., 2009), siendo biodisponibles para plancton (Hu, Zhang, & Shen, 2020) y peces (Galafassi et al., 2021). Las partículas de MP son capaces de adsorber contaminantes y liberar aditivos químicos, afectar toxicológicamente a los organismos y alterar su reproducción, crecimiento y comportamiento (Wu et al., 2023).

Los peces son capaces de ingerir MP de forma directa como también a través de una presa contaminada (de Sá et al., 2018), en ambos casos la inhalación e ingestión de MP ocasiona estrés oxidativo, daño celular, daño al ADN, reacciones inflamatorias e inmunes en los organismos (Yong et al., 2020). Cuando los mamíferos consumen peces contaminados, sufren estrés oxidativo y un cambio en el metabolismo energético y de los lípidos ya que los MP contenidos en el pescado tienden a bioacumularse en los intestinos, riñones y en el hígado (Deng et al., 2017).

En la actualidad el lago Titicaca es receptora de contaminantes plásticos provenientes de actividades como acuicultura, turismo, agricultura y descarga de aguas residuales (MINAM, 2013); por tanto, la Trucha Arcoíris se encuentra en un entorno contaminado con MP, razón por la cual, en esta investigación se determina la presencia de microplásticos en las islas flotantes de los Uros y su bioacumulación en Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Teniendo en cuenta que la bioacumulación de MP en la red trófica plantearía una amenaza potencial para los humanos (Xiang et al., 2022).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

A nivel mundial en 2019, la industria del plástico generó 368 millones de toneladas (Europe Plastics, 2020); la contaminación plástica es un problema en constante crecimiento, debido a que la gestión y mitigación de la contaminación plástica no ha sido impulsado junto con el crecimiento de producción de plásticos (Felismino et al., 2021). Hoy en día, representan gran preocupación científica y pública a nivel mundial (Xu et al, 2020) debido a su presencia en variedad de medios abióticos y seres vivos (Singh & Bhagwat, 2022), incluyendo especies destinadas para consumo humano (Rist et al, 2018).

En América Latina, desafortunadamente se han reportado MP en diversos ecosistemas como en océanos, agua dulce, glaciares e incluso en agua mineral embotellada (González Pleiter et al., 2020; Schymanski et al., 2018; Shiu et al., 2021; Yuan et al., 2019); en los medios de agua dulce los MP se transforman en un peligro ecológico (Bharath K et al., 2021) ya que por su tamaño similar a sedimentos y al plancton, son biodisponibles para una variedad de organismos acuáticos (Azizi, Khoshnamvand, & Nasser, 2021), los resultados de su ingestión provocan riesgos de daño físico y tóxico en los organismos como cáncer y trastornos endocrinos, gracias a la liberación de contaminantes como monómeros y aditivos plásticos (Wright et al., 2013).

En el Perú se utilizan 30 kg de plástico por persona al año, en cuanto a los residuos, a nivel nacional los plásticos representan 5.3% de los residuos sólidos municipales (MINAM, 2017b), los cuales se disponen en su gran mayoría en botaderos, seguido de incineración, reciclaje y disposición en relleno sanitario (INEI, 2020). Por otro lado, en el país, en los últimos años se han realizado estudios y reportes de MP en agua de mar y sedimentos (De la Torre et al., 2020; Perez Venegas et al., 2020), así mismo, en glaciares, aguas residuales, ríos y recursos hidrobiológicos (Coronel, 2023; León, 2023; Mio-Diaz & Álvarez, 2023; Tapia & Sequeiros, 2023), mostrando la extensión de este contaminante de todo tipo de ecosistemas.

Hoy en día, el lago Titicaca soporta contaminación generalizada de plásticos proveniente de actividades como la acuicultura extendida, turismo permanente, agricultura y descarga de aguas residuales. Por otro lado, en las islas flotantes de los Uros se desarrolla la acuicultura de la Trucha Arcoíris que es una de las especies de mayor consumo de la zona (Dircetur, 2020). Los efectos mecánicos del consumo de MP podrían ser la saciedad falsa y sus consecuencias fisio-toxicológicas (Jakubowska et al. 2022), además, los MP ingeridos pueden atascarse en los intestinos debido a la finura (Xiong et al. 2019). Otros efectos de los MP sobre la salud de las truchas son el impacto negativo en el desarrollo de células B (Zwollo et al., 2021), aumento de los impactos negativos de los clorpirifos en trucha sobre todo en las branquias (Karbalaee et al., 2021), llegando a afectar tejidos como branquias, hígado y riñones de *Oncorhynchus mykiss* (Hodkovicova et al., 2021). La ingestión de MP en peces no solo ocasiona un daño intestinal estructural, sino que también expone a estos organismos a sustancias químicas dañinas como disruptores endocrinos, genotóxicos o que provocan depresión inmunológica (Montero et al., 2022).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general:

¿Cuáles serán los microplásticos presentes en las islas flotantes de los Uros y cómo es su bioacumulación en la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca?
- ¿Cuál será la composición de los microplásticos de las muestras de agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca?
- ¿Cuál será el nivel de bioacumulación de microplásticos en las muestras de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*)?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo general:

Determinar la presencia de microplásticos en las islas flotantes de los Uros y su bioacumulación en Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) Puno – 2022.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca.
- Determinar la composición de los microplásticos del agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca.
- Determinar el nivel de bioacumulación de microplásticos en las muestras de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

1.4. Justificación

El lago Titicaca se enfrenta a una gran amenaza gracias a la contaminación extendida de microplásticos (PNUD, 2019). Este lago juega un rol importante en el desarrollo de la ecología, turismo, acuicultura y agricultura (Dircetur, 2020) en la región. Por otro lado, las islas flotantes de los Uros son uno de los atractivos turísticos más importantes de Puno; sin embargo, hasta el día de hoy no hay conciencia y acciones políticas que se adopten para manejar la contaminación plástica que se está generando debido a factores como el crecimiento urbano, deficiente gestión de las aguas residuales, transporte constante en el lago, la acuicultura y agricultura intensiva que además provocan eutrofización, a todo ello se suma la deficiente gestión ambiental y reducida aplicación de tecnología.

En los últimos años, la acuicultura ha estado en crecimiento gracias a la demanda de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y disponibilidad de cuerpos hídricos, resaltando que hasta el 2020 el 52% de concesiones de acuicultura estaban situados en el lago Titicaca (Coela, 2020). En Puno, la Trucha Arcoíris es un recurso significativo para las poblaciones locales, siendo producida por crianza de forma extendida en piscigranjas, estanques y sobre todo jaulas flotantes, ocupando el primer lugar en producción acuícola

a nivel nacional durante el 2019 (MINAM, 2021), por esta razón se seleccionó a este organismo como bioindicador.

Los microplásticos son contaminantes extendidos a nivel mundial, presentes en todos los componentes ambientales, por tanto las personas se encuentran expuestas a estos contaminantes por vías como ingestión, inhalación y contacto dérmico (Prata et al., 2020). La presencia de MP en lagos cercanos a poblaciones urbanas y rurales que desarrollan actividades en el lago y orillas de este, es razón suficiente para que se implementen acciones para el manejo residuos de plástico con el objetivo de proteger los servicios ecosistémicos que brinda el lago (Egessa et al., 2020).

Hasta la actualidad sólo se ha realizado un estudio sobre el estado de los MP en el lago Titicaca (Paredes et al., 2019), a pesar de que algunas regiones a nivel internacional han establecido regulaciones para tratar este problema e incrementar el nivel de conciencia (Kurniawan et al., 2021). Por estas razones es necesario generar evidencia para que las autoridades puedan tomar acciones pertinentes en cuanto a la gestión de residuos sólidos plásticos y gestión de recursos hídricos, resguardando la calidad de vida de los habitantes de las islas flotantes de los Uros y la ciudad de Puno.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacional

Borah et al., (2024) realizaron un estudio en Loktak, el único lago flotante del mundo, donde recolectaron y analizaron muestras de peces, donde obtuvieron presencia de MP en 91% de los peces. Se detectaron polímeros como poliamida (PA), poliestireno (PS), policarbonato (PC) y carboximetilcelulosa (CMC). Las concentraciones variaron de 4 a 27 artículos/pez. Se identificó tres morfotipos: fragmentos (82.2%), fibras (15.8%) y películas (2%).

Akter et al., (2024) investigaron la contaminación por microplásticos en diecisiete especies de peces de agua dulce recolectadas en la región suroeste de Bangladesh, obteniendo un total de 142 partículas con un promedio de 1.13 ± 0.84 partículas/individuo, los microplásticos estuvieron dominados por el color negro (60.6%) y la forma de fibra (94.4%). El polietileno (73.08%), el polipropileno (21.15%) y el poliestireno (5.77%) fueron los más prevalentes.

Boateng et al., (2024) Examinaron la abundancia y distribución de microplásticos del lago Volta en Ghana. De 130 individuos examinados, 112 (86%) han ingerido al menos un microplástico. La abundancia osciló entre 1 y 9 artículos/individuo con un promedio de 3.7 ± 1.6 artículos/individuo. Las microfibras representaron el 74%, los fragmentos 20% y películas 8%, la composición de los polímeros sintéticos fue: PP (26%), PP (22%), PES (20%), PS (17%), PA (8), celofán (5%) y PC (3%).

Buteler et al., (2023), investigaron MP en aguas superficiales de lagos patagónicos, en el que obtuvieron una concentración media de MP/MF de 1.57 ± 0.81 MP/m³; en cuanto al color el negro dominó en los MP/MF (48.40%), azul (33.51%) y rojo (12.87%); por otro lado en el muestreo de arrastre osciló entre 0.89 y 3.30 MP/MF/m³.

Pandey et al., (2023), examinaron la contaminación por MP en tejidos comestibles y no comestibles de peces de agua dulce ampliamente consumidos en la India, donde encontraron una abundancia de MP en TGI para *Channa punctatus*, *Labeo rohita* y *Labeo bata* es de 2.49 ± 0.64 , 1.63 ± 0.39 y 1.14 ± 0.21 artículos/individuo. Los MP se clasificaron según su forma 73.30% (fibra), 21.95% (fragmentos) y 4.74% (gránulos).

Forgione et al., (2023), investigaron la presencia, abundancia y naturaleza química de los MP en el sur de Italia, donde se encontró una abundancia media de MP/MF/individuo en *Salmo trutta* (4.33 ± 3.54). Según su forma fueron 34.86% fragmentos, película y espuma (MP) y 65.14% fibras (MF). La concentración de MP respecto a MF para *Salmo trutta* oscilaron entre 44.64% y 64.10%. Respecto al color para MP fue negro > blanco y para MF fue negro > azul.

Parvin et al., (2022), investigaron la abundancia de MP en aguas superficiales y sedimentos subyacentes de varios lagos y ríos periféricos de la ciudad de Dhaka, Bangladesh, donde encontraron una concentración media de 36000 ± 32 MP/m³; respecto a la forma, las espumas constituyeron el 50%, fragmentos 25% y fibras 21%; el color blanco destacó seguido de transparentes y azules, respecto al tipo de polímeros se identificaron: tereftalato de polietileno, polietileno de baja densidad, nailon, polipropileno, polietileno de alta densidad, etileno-acetato de vinilo, acrilonitrilo butadieno estireno y poliestireno.

Jeevanandam et al., (2022), identificaron la presencia, distribución y tipo de MP en el lago Hawassa, Etiopía, donde reportaron una distribución promedio de MP que oscila entre 11 y 74 partículas/m³; una distribución de colores en orden: blanco > negro > rojo > azul > verde > amarillo > gris; y en cuanto a la forma se clasificó en tres grupos: fibra 90%, fragmentos irregulares 5% y gránulos 5%. En cuanto a composición polimérica fueron observados poliéster 82%, seguido de polietileno 15% y poliestireno 3%.

Xiong et al., (2022), en un estudio que realizaron en el lago Flathead, encontraron que las densidades de MP variaron entre $8.00 \cdot 10^4$ y $4.22 \cdot 10^5$ partículas/Km² con un valor medio de $1.89 \cdot 10^5$ partículas/Km², y en cuanto a concentración volumétrica oscilaron entre 0.32 y 1.69 partículas/m³; respecto a la forma, la fibra dominó,

oscilando entre 55.20% y 98.50% con promedio de 79.60%; y respecto al tipo de polímero se identificaron el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el PET y el cloruro de polivinilo (PVC).

Yin et al., (2022), investigaron MP en el lago Chao donde reportaron una abundancia media de MP en el TGI que oscilaba entre 2.85 ± 1.96 a 8.38 ± 7.13 partículas/individuo, en cuanto a los morfotipos se observaron fibra 83.5%, fragmento 9.7%, película 6.3% y microesfera 0.5%. En cuanto a colores se detectaron negro 35.6%, azul 23.5%, transparente, blanco, gris, rojo y verde; los polímeros más representativos fueron el PP 45.9% y el PET 26.1%.

Parvin et al., (2021), realizaron un estudio en peces de agua dulce donde obtuvieron una concentración de MP que oscilaba entre 0.5 a 9 partículas/individuo; en cuanto a morfotipos se reportó fibras 75%, fragmentos 19%, espuma 5% y filamento 1%; respecto a los colores se identificaron: transparente, rojo, rosa, azul, verde, violeta, marrón, blanco y negro, predominando el transparente, seguido del azul y rojo; los polímeros identificados fueron HDPE (Polietileno de alta densidad), PP/PE (copolímero de polipropileno-polietileno) y EVA (Etileno-acetato de vinilo).

2.1.2. A nivel nacional

Canchari and Iannacone (2022), han estudiado los microplásticos en canales de riego en Perú, donde determinaron la abundancia y características de MP en sedimentos superficiales de canales de tierra para riego en el centro poblado de Madeán, Lima; obtuvieron una abundancia en CM (111.11 ± 19.25), CY1 (566.67 ± 88.19) y CY2 (66.66 ± 0.00 partículas/kg), en cuanto al color el azul fue dominante seguido del negro, verde y rojo, respecto a la forma, predominó el fragmento seguido de la fibra y las películas, no se encontraron gránulos y espumas, lo que indica que todos los MP hallados en este estudio provienen de fuentes secundarias.

De la Torre et al., (2020), determinaron el estado actual de la contaminación por microplásticos en cuatro populares playas arenosas de la costa de Lima, Perú, donde registraron un total de 2089 partículas, con una abundancia general entre 16.67 ± 4.26 y 489.7 ± 143.5 partículas/m², en cuanto a la forma el 78.30% del total fueron espumas y 17.38% fragmentos, resaltándose así los MP secundarios, respecto al

color, el 84.80% fueron blancos, 4.0% azul, 2.60% rojo, 2.20% verde, 2.0% amarillo y 3.20% otros colores.

Lara et al., (2020) analizaron microplásticos en las aguas de la laguna de Piuray, donde obtuvieron un promedio 164 microplásticos/campo, de los cuales 76% fueron fragmentos y 24% fibras. En este estudio no encontraron tipologías de films, gomas ni esferas.

Perez Venegas et al., (2020), monitorearon la ocurrencia de ingestión de microplásticos en otáridos a lo largo de las costas peruanas y chilenas donde en la costa peruana de Punta San Juan, encontraron un 64% de fibras y 14% de fragmentos, predominando los colores azul, blanco y rojo, además el 81.5% estos MP fueron de origen antropogénico, siendo algodón 51.5% y polímeros (PET y nylon) 30%.

Ory et al., (2018), examinaron el contenido intestinal de 292 peces planctívoros, de cuatro familias (Atherinopsidae, Clupeidae, Engraulidae y Scombridae) capturados a lo largo de la costa del Pacífico sureste, donde encontraron MP en 2.1% de 292 peces analizados: *Odontesthes regia* (11.10%), *Scomber japonicus* (3.30%), *Opisthonema libertate* (2.50%), *Cetengraulis mysticetus* (2.50%) y *Engraulis ringens* (0.80%). Fueron hallados 2 fibras verdes y 3 fragmentos duros (1 azul, 1 negro y 1 rojo anaranjado). En cuanto al tipo de MP fueron identificados polietileno PE (3 partículas) y polipropileno PP (2 fibras), ambos polímeros son muy usados.

Purca y Henostroza (2017), estudiaron microplásticos en cuatro playas arenosas de la costa peruana entre 2014 y 2015 donde la abundancia fue de 40 partículas/m² en la Playa Vesique, 4.67 partículas/m² en la playa Albúfera, 463.33 partículas/m² en la playa Costa Azul y 11.33 partículas/m² en la Playa El Chaco. Respecto al tipo fueron 89% plástico duro, 7% estireno y 2% gránulos negros, 1% de otras espumas, 1% polímero, 1% fibra y 1% láminas transparentes, en cuanto al tipo de polímero se reportaron poliuretano, estireno, polipropileno, en este estudio se reportó en gran medida el plástico duro lo que sugiere nuevas fuentes de ingreso de MP.

2.1.3. A nivel regional

Chambi y Yanes, (2023) investigaron la presencia de microplásticos en las playas de Chifron, Chatuma y Juli del lago Titicaca, obteniendo un total de 158 partículas con tamaños de 1-5 mm, identificando colores: negro 25%, blanco 18%, amarillo 13%, azul 12%, transparente 9%, verde 8% y rojo 8%. Y formas como fragmento, fibra, hojuela, esfera y película. Además, identificaron polímeros como: polietileno 39%, polipropileno 23%, poliestireno 15%, polietileno de alta densidad 15%, y el tereftalato de polietileno 8%.

Paredes et al., (2019), realizaron una caracterización de microplásticos en los Recursos Hidrobiológicos del Lago Titicaca encontrando una abundancia media de 175916.67 partículas/m³, respecto a la forma se encontró fibra 100%, en cuanto a los colores predominó el transparente 32.65%, seguido del azul 22.24%, rojo 17.84%. Por otro lado, para los organismos estudiados la abundancia media fue 25.41 ± 6.92 partículas/individuo para (*Orestias luteus*) y 33.32 ± 7.98 partículas/individuo para (*Odontesthes bonariensis*), respecto a la forma para ambas especies el 99.89% fueron fibras y 0.11% fragmentos, en cuanto al color para ambas especies predominó el transparente con 38.03%, azul 23.01%, rojo 13.40%, negro 10.95% y verde 3.35%.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Microscopía Raman

Los métodos comunes de detección de microplásticos son el análisis visual con microscopio estereoscópico y el microscopio electrónico de barrido - espectrómetro de energía (SEM-EDS), por otro lado están la cromatografía de gases por pirólisis - espectrometría de masas (GC-MS), espectroscopia fotoacústica, espectroscopia elástica fototérmica y tecnologías como la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y espectrometría Raman (Yang et al., 2024). Esta última (la espectroscopia Raman) es más conveniente para el análisis de detección de microplásticos gracias a su facilidad en la preparación de muestras, que es casi nula, su rápida velocidad de detección, no existe contacto, no destruye la muestra y su capacidad para la detección de muestras en medios líquidos (Chakraborty et al., 2023). Además, de que tiene una amplia cobertura espectral y no se altera por moléculas de agua durante la detección. Sin embargo, el espectro Raman obtenido al

detectar microplásticos puede tener una fuerte interferencia de la señal de fluorescencia, sobre todo en aquellas partículas con tamaños muy pequeños, algunos picos característicos de Raman están casi dentro de la señal de fluorescencia (Xue et al., 2024) lo que lo que obstaculiza la detección de la partícula de microplástico.

2.2.2. Muestra integrada y método de arrastre

El muestreo integrado se caracteriza por la toma de muestras simultaneas en distintos puntos o lo más próximas posibles (MINAGRI, 2016), el método de arrastre consiste en sumergir la totalidad de la abertura de la red de arrastre, manteniéndolo en la superficie del agua, este método permite una eficaz recolección de microplásticos (Bharath et al., 2021; Bourdages et al, 2024).

2.2.3. Bioacumulación

La bioacumulación consiste en que sustancias orgánicas se disuelvan y acumulen en las fases orgánicas de animales y plantas, la bioacumulación es el resultado de un equilibrio dinámico entre absorción y eliminación de una sustancia contaminante y el grado en que este ocurre, determina el nivel de los efectos tóxicos (Chojnacka y Mikulewicz, 2024). Cabe resaltar que la absorción de un contaminante por un organismo, no resulta en bioacumulación automática, el organismo puede modificar el contaminante, como también existen sustancias que son más solubles en agua, los cuales son eliminados del cuerpo, cada organismo muestra respuestas diferentes a diversas sustancias químicas (Borga, 2013).

2.2.4. Contaminación por plásticos

La presencia generalizada de residuos antropogénicos en centenares de organismos, además del peligro tóxico que conlleva los componentes de estos, ha causado preocupación (Rochman et al., 2015); los plásticos son usados de forma extendida gracias a su flexibilidad, dureza, resistencia a la temperatura y estabilidad química (Herbort et al., 2018), así mismo, gracias a factores como buen rendimiento, bajos precios y producción conveniente; por otro lado, en los últimos años se ha elevado el consumo y producción de plásticos gracias al incremento de desarrollo económico, lo que provoca impactos ambientales considerables (Chen et al., 2021).

Una amenaza a nivel mundial es la mala gestión y eliminación de los residuos plásticos que conducen a la contaminación creciente de los ecosistemas, peor aun siendo el plástico un material que puede degradarse hasta ser micro y nanopartícula, logrando transportarse en los componentes agua, aire y suelo, como nanoplástico es muy complicada su detección (Alimi et al., 2018). Los MP están presentes en todos los mares, en consecuencia productos como las sales marinas están contaminados con estos (Yang et al., 2015). La introducción al medio ambiente de micro y nanoplásticos está causando mayor preocupación; sin embargo, los productores de plástico elaboran una variedad de nuevos recipientes que buscan reemplazar materiales como el papel por más que un sector de la población promueve la disminución del uso del plástico (Hernandez et al., 2019).

2.2.5. Microplásticos

Los microplásticos (MP) en términos generales son todas aquellas partículas de plástico con tamaños menores a 5 mm (Abbasi, 2021; Colzi et al., 2022), cabe resaltar que los MP pueden contener sustancias químicas peligrosas como monómeros, aditivos y subproductos químicos (Parvin et al., 2021). Estos MP se clasifican según sus formas como películas, fibras aquellas partículas alargadas parecidas a hilos, gránulos aquellas partículas de forma circular definida, fragmentos aquellas partículas de forma plana irregular (GESAMP, 2019) y espumas que son definidas como plástico celular expandido, poroso y liviano utilizado generalmente en la industria del empaque (Parvin et al., 2022).

Las fuentes de microplásticos en el medio ambiente son dos, el primero son los MP que se producen en la industria cosmética como las microperlas, que forman parte de exfoliantes faciales y de manos, así también los gránulos que se utilizan para la producción de otros plásticos, además de las bolas de espuma de poliestireno expandido usados en juguetes y bolsas de algunos cereales como el frijol (Cole et al., 2011; Petrella et al., 2020; Ramli et al., 2019) que son considerados microplásticos primarios; por otro lado, los MP generados a partir de la degradación de residuos plásticos se consideran microplásticos secundarios (Schymanski et al., 2018). Los microplásticos secundarios más comunes son los fragmentos y fibras (Saad et al., 2022).

La presencia de varios tipos de MP en fuentes de agua dulce proviene de diversas fuentes, por ejemplo, la presencia de MP de tipo fibra proviene generalmente del vertimiento de aguas residuales y lavadoras (Alfonso et al., 2020; Dusaucy et al., 2021), como también de efluentes industriales y de escorrentía urbana (Lebreton et al., 2017) además también son fuentes las redes de pesca, la contaminación doméstica, descarga de residuos sólidos y escorrentía agrícola (Lenaker et al., 2019). Adicionalmente, la presencia de fibra se puede considerar como MP de fuente secundaria debido a que principalmente se originan de productos y subproductos textiles como la ropa (Park et al., 2020). Las microfibras MF, pueden tener origen sintético (poliésteres, poliamidas, poliacrilonitrilo), mixto o natural (como la celulosa, el algodón o la lana), sin embargo, MF naturales también pueden contener colorantes, lo que los convierte también en antropogénicos (Buteler et al., 2023).

La fuente de los MP de tipo fragmento y gránulo es la fragmentación de mesoplásticos y su reducido proceso de transporte (Zobkov y Esiukova, 2017), además los fragmentos también se puede considerar como MP de fuente secundaria debido a que se generan de la desintegración de plásticos más grandes (Cole et al., 2011). Así mismo, los MP de tipo espuma y película pueden provenir de la desintegración de plásticos desechados en el agua (Parvin et al., 2021).

El origen de los MP según el tipo de polímero es muy diverso ya que existe una infinidad de materiales producidos con polímeros, por ejemplo, los MP de poliéster derivan sobre todo de las industrias textiles, por otro lado, la existencia de polietileno en lagos resulta generalmente de la actividad pesquera (Jeevanandam et al., 2022), como también pueden provenir de bolsas, botellas, tapas y demás materiales de empaque (Singh et al., 2020) que se desechan alrededor y en el interior del lago en el desarrollo de actividades turísticas (Europe Plastics, 2020). Otro MP de interés es el polietileno de alta densidad, este polímero tiene un uso extendido en la vida cotidiana ya que se encuentra en botellas (de leche, jugo, champú, productos químicos y detergentes), tuberías agrícolas rígidas y bolsas de congelación (Parvin et al., 2021).

En cuanto a los colores, el color azul proviene de redes y cuerdas de pesca ya que son ampliamente usados en esos materiales (Lusher et al., 2015), por otro lado el negro procede sobre todo de abrasivos, bolsas de plástico y neumáticos (Andrady, 2011). Los MP negros y azules resultan más atractivos para ser capturados por los

peces (Ory et al., 2018) ya que se asemejan al color natural de sus presas, por tanto existe más posibilidad de que sean ingeridos (Yin et al., 2022).

Respecto al tipo de polímero, los MP más reportados son tereftalato de polietileno (PET), polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policarbonato (PC), policloruro de vinilo (PVC), poliamida (PA), etileno-acetato de vinilo (EVA) y fibras sintéticas (Goveas et al., 2023; J. Shen et al., 2023).

Tabla 1

Principales polímeros reportados como microplásticos.

Polímero	Aplicación
Tereftalato de polietileno (PET)	Se usa sobre todo en la fabricación de bolsas de embalaje y botellas.
Polipropileno (PP)	Se usa generalmente para producir recipientes, cubos y demás productos.
Poliestireno (PS)	Su aplicación más conocida es la vajilla desechable tales como vasos y platos, además de ello, también se emplea como aislante acústico y térmico.
Policloruro de vinilo (PVC)	Es un material económico utilizado generalmente en la fabricación de tuberías y cajas de plástico.
Policarbonato (PC)	Ambos tienen buena durabilidad y aislamiento, por ello son generalmente usados en materiales de construcción, maquinaria, industria electrónica y automotriz.
Poliamida (PA)	
Polietileno de alta densidad (HDPE)	Se utilizan generalmente en la fabricación de contenedores de almacenamiento
Polietileno de baja densidad (LDPE)	Su principal aplicación son las envolturas y bolsas de plásticos.

Fuente: Adecuado de Jin et al. (2023).

2.2.6. Estado situacional de los MP a nivel mundial

Hasta la actualidad, los MP han sido reportados en todo tipo de ecosistemas que van desde los glaciares inhóspitos, hasta los lagos más alejados de poblaciones, en agua subterránea, en sangre humana e incluso en líquido amniótico de seres humanos (González et al., 2020; Jian et al., 2020; Lu et al., 2019; Pastorino et al., 2021). Al presente, existe información limitada acerca de la aparición, distribución y riesgos ecológicos que conllevan los residuos plásticos en ecosistemas de agua dulce (Egessa et al., 2020). Con respecto a la sorción de otros contaminantes en los microplásticos, existen numerosos tipos de sustancias contaminantes presentes en el medio ambiente que se absorben en los MP, a parte de los agregados intencionalmente en éstos (Sun et al., 2021). Un caso son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) que son sustancias químicas hidrófobas que pueden adherirse a los MP, lo cual afecta su interacción con los organismos y su ciclo (Bussolaro et al., 2019), por otro lado en el tratamiento de aguas residuales con cloro y UV, la presencia de MP disminuye la eficiencia de desinfección, esto ocurre porque los MP restringen gran parte del contacto entre el desinfectante y los microorganismos (M. Shen et al., 2021).

Los microplásticos, al estar presente en prácticamente todos los medios ecosistémicos, han resultado de interés y preocupación para investigadores y población en general ya que son persistentes en los organismos vivos y en el medio ambiente. El interés por este contaminante emergente se empieza a notar a partir del año 1990, año desde el cual se ha reportado MP en diferentes países y el número de reportes se ha incrementado en gran manera.

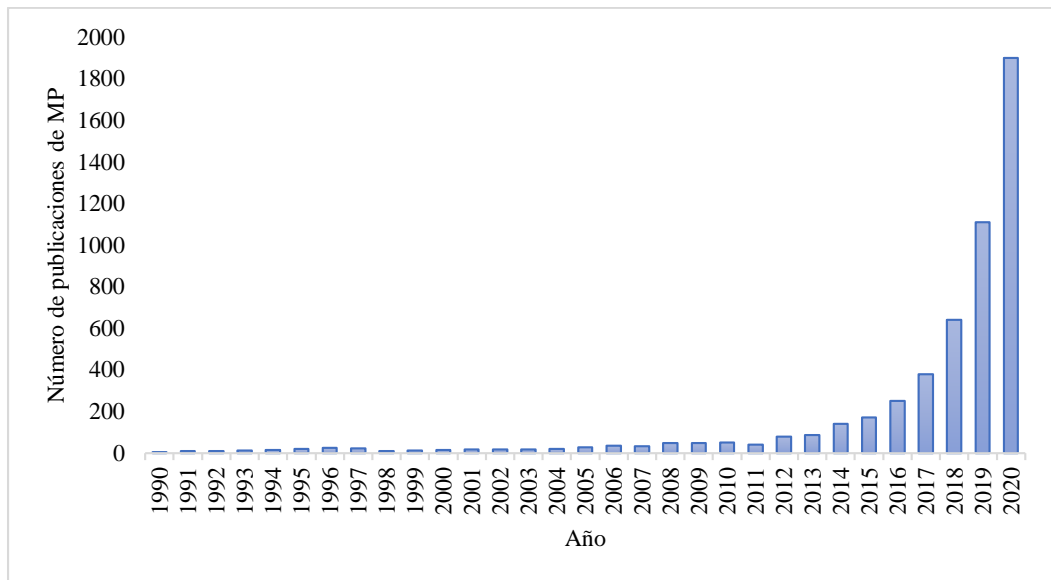


Figura 1. El número anual de publicaciones sobre temas de MP desde 1990 hasta 2020.

Fuente: (Bakhshoodeh y Santos, 2022).

2.2.7. Contaminación de fuentes de agua

Hoy en día, la contaminación de lagos de agua dulce por MP ha generado una preocupación creciente, sobre todo porque existe un contacto más frecuente de personas con este medio en comparación con el medio marino (Hu et al., 2020). Las principales fuentes de agua para el consumo humano, agricultura, industrias y producción de energía son las aguas continentales dulces, siendo las fuentes más importantes de agua potable, las aguas superficiales que incluyen ríos, lagos y embalses, y las aguas subterráneas (Shen et al., 2021).

A pesar de la importancia de estas fuentes de agua, debido a la dinámica de los MP, estas fuentes también son sumideros de este contaminante, siendo sus principales medios de contaminación las actividades humanas, desgaste de neumáticos y descarga de aguas residuales (Wang et al., 2021). En lagos de agua dulce próximos a carreteras, tierras agrícolas y atracciones turísticas, existe mayor concentración de microplásticos, así mismo, en estas áreas lo que más se destaca son los MP de origen secundario (Abbasi, 2021).

2.2.8. Microplásticos en aguas superficiales

Para la contaminación de ríos por MP las fuentes potenciales son actividades humanas, escorrentía superficial de asentamientos humanos y vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, adicionalmente los MP más resaltantes en ríos son polietileno (de alta y baja densidad), polipropileno, y polietileno co-acetato de vinilo (Saad et al., 2022). Diversos informes indican que el MP más distribuido en aguas superficiales son las microfibras MF (Alfonso et al., 2020), la fuente de ingreso más común para este tipo de MP son las redes de pesca, las cuerdas y la industria textil (Buteler et al., 2023) como también las aguas residuales domésticas (Yin et al., 2022) y los textiles sintéticos, se ha informado que el agua residual proveniente del lavado de textiles tiene más de 100 fibras (Hernandez et al., 2017).

Las actividades humanas e industriales que se desarrollan en ciudades cercanas a fuentes de agua, aportan en gran manera MP a este medio acuático, además pueden influir en las características de ocurrencia (Jin et al., 2023). Por otro lado, los fenómenos meteorológicos como las lluvias y tormentas movilizan varios contaminantes como sedimentos y patógenos (Neelavannan et al., 2022), así también, algunos estudios observaron que existe mayor abundancia de MP en los lagos después de un evento de lluvias (Gündoğdu et al., 2018). La contaminación plástica que ingresa constantemente a través de diversos medios, se distribuye en los diferentes niveles del lago gracias a las corrientes de agua, además las partículas de MP pueden llegar a ser consumido por los organismos acuáticos (Rocha Santos y Duarte, 2015).

2.2.9. Dinámica de contaminación de los microplásticos

En la actualidad no está muy claro la dinámica de contaminación de los MP; sin embargo, las precipitaciones además del transporte y deposición atmosférica son factores que favorecen la contaminación en el agua dulce (Wang et al., 2021). En los componentes ambientales, la abundancia y transporte de MP dependen de la combinación de parámetros como la densidad de población, la distancia desde la fuente de contaminación, la hidrodinámica, las actividades humanas, características del flujo de aire y corrientes locales de la zona de interés (Eerkes Medrano et al., 2015). Por otro lado, cualquier concentración de partículas de MP que se encuentren

en la superficie de cuerpos de agua sedimentaran progresivamente llegando a los sedimentos y allí seguirán descomponiéndose (Zhang et al., 2022).

En el medio acuático, con relación al transporte vertical, el factor principal es la densidad, a mayor densidad más rápido es la sedimentación de los MP, por otra parte los MP flotantes acumulan sustancias y microorganismos como el plancton en su superficie para finalmente sedimentar (Lagarde et al., 2016; Miao et al., 2021), a ese crecimiento microbiano se le conoce como biopelícula, por otro lado la difusión de los MP flotantes en lagos y océanos, se extiende rápidamente gracias al arrastre de corrientes de agua por el viento (Semcesen y Wells, 2021).

2.2.10. Transferencia de los microplásticos en la cadena trófica

En los distintos niveles del medio acuático (superficie, columna y sedimentos), los MP se propagan de varias maneras debido a las diversas formas y densidades que poseen, así también, a nivel de la cadena alimenticia estos factores influyen en la disponibilidad de este contaminante para los organismos (Cole et al., 2011; Thompson et al., 2009), por ejemplo, en estudios en lagos de agua salada se evidenció el consumo de MP por algunos organismos, por lo que la depredación de estos organismos provocaría una vía de transferencia de los MP en la cadena trófica (Nikki et al., 2021), de forma similar ocurre en lagos de agua dulce. Estos contaminantes pueden ser ingeridos por una gran variedad de especies de agua dulce como plancton (Hu et al., 2020) y peces (Galafassi et al., 2021), así mismo está demostrado que los MP causan efectos negativos en los organismos (Felismino et al., 2021).

La bioacumulación de MP en la red trófica plantearía una amenaza potencial para los humanos (Xiang et al., 2022). Empezando por los peces, estos son capaces de ingerir MP de forma directa como también a través de una presa contaminada, es decir de forma indirecta (de Sá et al., 2018), en ambos casos la inhalación e ingestión de MP ocasiona estrés oxidativo, daño celular, daño al ADN, reacciones inflamatorias e inmunes en los organismos (Yong et al., 2020). Cuando los mamíferos consumen peces contaminados, sufren estrés oxidativo y un cambio en el metabolismo energético y de los lípidos ya que los MP contenidos en el pescado tienden a bioacumularse en los intestinos, riñones y en el hígado (Deng et al., 2017). En el ser humano, el consumo de pescado de agua dulce posiblemente es una vía directa de exposición a los MP (Parvin et al., 2021).

2.2.11. Impacto del consumo de peces contaminados

Esto resulta en un grave problema sobre todo para países en desarrollo donde no es eficiente el tratamiento de residuos y la población depende del consumo de recursos marinos en gran manera (Masiá et al., 2022). De igual manera ocurre con recursos de agua dulce; el consumo de productos de acuicultura contaminados con MP resulta en un riesgo potencial multinivel para la salud humana (Wu et al., 2023), se ha reportado presencia de MP en la sangre humana, así como también en órganos como los pulmones, riñones e hígado (Campanale et al., 2020).

Se estima que la producción total mundial de pesca y acuicultura de peces continentales alcanzó un máximo de 63.3 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2020), en Perú para ese mismo año la producción de pesca alcanzó 18179 toneladas (FAO, 2021b) y la producción acuícola 6340 toneladas (FAO, 2021a); sin embargo, debido a la contaminación extendida de los MP los peces podrían estar contaminados con estos (Bessa et al., 2018).

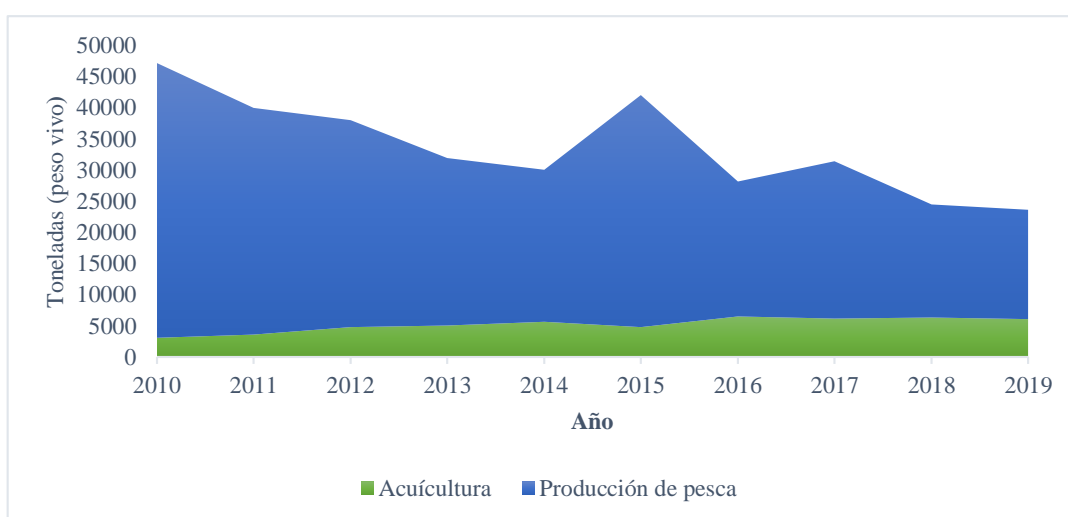


Figura 2. Producción de pescado en Perú desde 2010 a 2019.

Nota: Producción de pescado a través de la captura y la acuicultura en aguas continentales dulces.

Fuente: Gráfico elaborado a partir de los datos de FAO, (2021a, 2021b).

Similar situación ocurre en las poblaciones próximas al lago Titicaca, donde la principal actividad económica es el turismo y una de las principales fuentes de alimentación es la pesca.

2.2.12. Producción de trucha

Se sabe que hasta el 2017 la producción de truchas a nivel nacional se incrementó en 678%, pasando de 6997 en 2007 a 54424 toneladas en 2017, en ese mismo año, Puno produjo el 83% con 44845 toneladas (Gestión, 2018), en esta región una de las especies comerciales más importantes de consumo es la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). Este se produce en la zona norte (Lagunillas-Santa Lucía, Laguna Arapa, Miajachi-Vilquechico en Huancané y Jacantaya-Moho), zona sur (Faro-Pomata, Chucasayo, Olla-Juli y Cachipura-Pilcuyo) y zona centro (Charcas-Platería, Socca Ichu-Puno y Tamán-Capachica) (Dircetur, 2020). En la ciudad de Puno se produce la trucha en jaulas flotantes instalados dentro del lago Titicaca, lo que incrementa sus enfermedades y la aplicación de medicamentos para tratarlas, resultando en la presencia de antibióticos disponibles en el agua (Zirena et al., 2021).

2.2.13. Efectos de los microplásticos sobre la Trucha Arcoíris

Un contaminante ubicuo en los medios acuáticos son los MP (Bussolaro et al., 2019), la presencia de estas partículas en agua representa un riesgo para los organismos que habitan en este medio sin importar la vía de interacción, siendo la ingestión la vía de exposición más común, los efectos mecánicos del consumo de MP podrían ser la saciedad falsa y sus consecuencias fisio-toxicológicas debido a eso (Jakubowska et al., 2022), además, ciertas características de algunos MP como la finura de las MF hace que los peces puedan ingerirlo sin detectarlo (Yin et al., 2022), y debido a esa finura las MF tienden a atascarse con mayor facilidad en los intestinos de los peces (Xiong et al., 2019).

Por otro lado, los MP pueden tener efectos negativos sobre la salud de organismos acuáticos, por ejemplo, los MP de poliestireno (PS) tienen un impacto negativo en el desarrollo de células B en trucha, además, es posible que este contaminante disminuya la respuesta de anticuerpos en vertebrados superiores como los humanos (Zwollo et al., 2021), otros estudios resaltan que los MP de PS incrementan los impactos negativos de los clorpirifos en trucha sobre todo en las branquias (Karbalaie et al., 2021), de manera similar ocurre con los MP de PE, que llegan a afectar la salud de truchas, las partículas menores a $<5 \mu\text{m}$ de polietileno son capaces de llegar a los tejidos como branquias, hígado y riñones de *Oncorhynchus mykiss* (Hodkovicova et al., 2021). La ingestión de MP en peces no solo ocasiona un daño intestinal

estructural, sino que también expone a estos organismos a sustancias químicas dañinas como disruptores endocrinos, genotóxicos o que provocan depresión inmunológica (Montero et al., 2022).

2.2.14. Lago Titicaca

El lago más grande de Perú es el lago Titicaca ubicado en el departamento de Puno y compartido con Bolivia, está a una elevación de 3810 m.s.n.m. y cuenta con una profundidad máxima de 283 m y la profundidad del agua promedio es de 105 m (ALT-Peru Bolivia, 2019), este lago se encuentra entre los ecosistemas acuáticos más importantes, siendo hábitat para diversas especies de fauna y flora tanto endémicas como migratorias, así mismo este ecosistema proporciona una variedad de bienes y servicios a la población puneña (Ramsar, 1997). En el lago Titicaca se considera un sitio importante al archipiélago de las islas flotantes de los Uros, debido a su cultura, las actividades económicas que desarrollan y al turismo que generan (National Geographic, 2018).

La acuicultura es una de las actividades económicas principales que se desarrollan en el interior del Lago Titicaca, incluyendo las islas flotantes de los Uros; sin embargo, algunos estudios revelaron que la acuicultura en estanques en cuerpos de agua naturales puede alterar de forma significativa las características y cantidades de los MP (Xiong et al., 2022), debido a los insumos utilizados y procesos de la acuicultura, así mismo, las partículas de MP son capaces de adsorber contaminantes y liberar aditivos químicos, afectar toxicológicamente a los organismos y alterar su reproducción, crecimiento y comportamiento (Wu et al., 2023).

Tabla 2*Abundancia de microplásticos en lagos a nivel internacional.*

Ubicación	Tamaño de poro de red (µm)	Abundancia (partículas/m³)	Referencia
Lagos en la Patagonia	35	0.9 ± 0.6	(Alfonso et al. 2020)
Lago Guaíba	60	11.9 ± 0.6 a 61.2 ± 6.1	(Bertoldi et al., 2021)
Lago Rawal	100	6.4 ± 0.5 a 8.8 ± 0.5	(Bashir & Hashmi, 2022)
Lago Flathead	330	0.32 a 1.69	(Xiong, Tappenbeck, et al., 2022)
Lago Victoria	300	0.02 a 2.19	(Egessa et al., 2020)
Lago Bracciano	80	2.4	(Cera, Pierdomenico, Sodo, & Scalici, 2022)

2.2.15. Normativa nacional sobre el microplástico

El MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) que se definen como los máximos valores permitidos de una sustancia contaminante en el medio ambiente, el objetivo del ECA es conservar la calidad de un medio aplicando instrumentos de gestión y evaluación ambiental (MINAM, 2011); sin embargo en el ECA de agua no se regula los microplásticos (MINAM, 2017a), además la legislación peruana todavía no tiene previsto incluir los MP como parámetros en el ECA de agua (PCM, 2021). Debido a que no existe una metodología única para monitorear MP, los resultados pueden variar, las razones principales de esta variación son: los distintos métodos de muestreo (tamaño de poro de red, distancia muestreada, cantidad de muestra, etc.), los meses de muestreo (estación lluviosa o seca), la condición climática (vientos, precipitación, etc.) y el lugar (puntos de muestro cercanas o alejadas de ciudades) (Eder et al., 2021).

El marco normativo relacionado al presente tema de investigación es el siguiente:

- Ley N° 30884, Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables.
- DS. N° 004 – 2017 – MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Agua.
- Ley N° 27314, Ley de general de residuos sólidos.
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Tabla 3

ECA de los parámetros a evaluar en el Lago Titicaca.

Parámetro	Unidad	ECA
Potencial de hidrógeno	unidad de pH	6.5 a 9.0
Conductividad	uS/cm	1000
Oxígeno disuelto	mg/L	≥ 5
Temperatura	°C	$\Delta 3$
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	5
Cianuro libre	mg/L	0.0052
Color	Color verdadero	20(a)
DBO 5	mg/L	5
Fósforo total	mg/L	0.035
Sulfuros	mg/L	0.002
Nitratos	mg/L	13

Nota: $\Delta 3$ °C respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Fuente: Tabla elaborada a partir de los datos de MINAGRI, (2016); MINAM, (2017a).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de estudio

La investigación se realizó en la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros que se ubica en la desembocadura del río Willy en el lago Titicaca, próximas a la bahía interior de Puno. El área de estudio está afectada por actividades como la acuicultura y el turismo. En esta investigación se estableció 3 puntos de muestreo usando GPS-Garmin (figura 3) en base a la ruta turística principal, también en base a que en ese sector se desarrolla casi toda la actividad económica de las islas flotantes de los Uros, incluyendo el uso de agua de ese lugar para distintos fines como también la descarga de aguas residuales de las islas flotantes directamente al lago Titicaca en las proximidades del área de muestreo.



Figura 3. Área de estudio y puntos de muestreo.

Fuente: Google Earth, 2021.

Tabla 4*Coordenadas UTM de los puntos de muestreo.*

Coordenadas UTM			
	punto 1	punto 2	punto 3
Este	395870 m E	395740 m E	396115 m E
Norte	8252739 m S	8251494 m S	8250454 m S

3.2. Población y muestra

La población de estudio es el cuerpo de agua de las islas flotantes de los Uros incluyendo las Truchas Arcoíris que se crían en ese lugar. El sitio de estudio se demarcó en base a la ruta turística principal, también en base a que en ese sector se desarrolla casi toda la actividad económica de las islas flotantes de los Uros, en esta investigación se optaron por los microplásticos flotantes, los que se recolectaron por el método de arrastre con red de plancton en cuadrículas de 100 m x 100 m en 3 puntos (Bharath et al., 2021), con 3 repeticiones (Sayed et al., 2021), obteniendo aproximadamente 175 mL en cada muestreo (Egessa et al., 2020) para este proceso se consideró los criterios que establece el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales del Perú. Los parámetros de campo evaluados fueron pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto (MINAGRI, 2016), para ello se empleó un multiparámetro-AZ. Así mismo, se recolectó muestra de agua para caracterizar los parámetros fisicoquímicos, que fue enviado al laboratorio Bhios, en la ciudad de Arequipa. Los organismos de Trucha Arcoíris se adquirieron de las piscigranjas del lugar (Sathish et al., 2020) debido a que los pobladores de la zona, así como los turistas consumen estos. Se tomaron tres muestras de organismo por cada punto de muestreo (Sayed et al., 2021).

3.3. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de carácter experimental descriptivo y el tipo de muestreo es muestra integrada, que se caracteriza principalmente por realizar un monitoreo ambiental según el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (MINAGRI, 2016). Por otro lado, para el monitoreo de microplásticos en el agua de lago y en la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) se

aplicó metodología utilizada en los diversos artículos científicos consultados (Egessa et al., 2020; Koelmans et al., 2019; Mintenig et al., 2020; W. Wang et al., 2018).

3.4. Hipótesis de investigación

3.4.1. Hipótesis general:

Existe presencia de microplásticos en el agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, además se está dando un proceso de bioacumulación en Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

3.4.2. Hipótesis específicas:

- Existe variación en los parámetros fisicoquímicos en el agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca.
- Existe presencia de diversos tipos de microplásticos en el agua de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca.
- Los organismos de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), en las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca, presentan microplásticos en el tracto gastrointestinal.

3.5. Equipos y materiales

3.5.1. Equipos

La caracterización de las partículas de microplásticos se realizó con los equipos que se encuentran ubicado en el laboratorio de residuos sólidos, de la EPIAF en la UNAJ, con sede en Ayabacas, los cuales son bomba de vacío, multiparámetro (AZ-66031), estufa esterilizadora, sistema de posicionamiento global (GPS-Garmin), agitador magnético, microscopio estereoscopio (LEICA EZ4E), refrigerador y el análisis de polímero se realizó con el equipo Raman de Fotoluminiscencia Renishaw inVia Reflex de cuatro fuentes de excitación integrado a un microscopio confocal motorizado, que se encuentra ubicado en el Centro de Caracterización de Materiales de la PUCP en la ciudad de Lima.

3.5.2. Materiales

Los materiales y reactivos que se emplearon fueron: frascos de plástico de 1 000 mL, frascos de vidrio ámbar de 1 000 mL, frascos de 500 mL y frascos de polipropileno de 100 mL, espátula de metal (150 mm), pinza metálica de punta fina, tamices de acero inoxidable, papel aluminio, papel filtro Whatman (0.45 μm de tamaño de poro y 47 mm \varnothing), bagueta de vidrio (150 mm), botella de vidrio ámbar (250 mL), matraz Erlenmeyer (250 mL), placa de Petri de vidrio (140*20 mm), probeta de vidrio (25 mL y 50 mL), pipeta y pera de succión (20 mL), vaso de precipitado (250 mL y 500 mL), portaobjetos, coolers 10 L, embudo Buchner de porcelana, kit de disección, red de plancton de 20 μm de tamaño de malla, 5" de diámetro y 15" de largo.

3.5.3. Reactivos

Los reactivos que se utilizaron en el análisis de microplásticos fueron: Solución de peróxido de hidrógeno al 30 % v/v, solución de hidróxido de potasio al 10% (1:10 p/v), agua destilada, agua ultra pura, hipoclorito de sodio, alcohol etílico desnaturalizado.

3.6. Metodología

3.6.1. Caracterización del agua de las islas flotantes de los Uros

Los parámetros analizados en los puntos de muestreo fueron pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto, para ello se tomó en cuenta los criterios establecidos en el Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales del Perú para lagos (MINAGRI, 2016). Todos los parámetros de campo se midieron con un multiparámetro de campo (AZ), la medición de cada parámetro se realizó en todos los puntos de muestreo de agua con tres repeticiones en cada uno. Así mismo, se realizó muestreo del agua para determinar los parámetros fisicoquímicos en el punto intermedio entre la zona norte y sur de los Uros, lo cual fue enviado al laboratorio Bhios, en la ciudad de Arequipa para su análisis.

3.6.2. Determinación de microplásticos en el agua de las islas flotantes de los Uros

a. Toma de muestras

La recolección de muestras se realizó entre marzo y abril del 2022, estas se recolectaron desde un bote, sujetando la red a 1 m del bote de forma lateral. Los microplásticos flotantes se recolectaron por el método de arrastre en cuadrículas de 100 m x 100 m en 3 puntos (Bharath K et al., 2021). Para ello se utilizó una red de plancton de 20 μm de tamaño de malla, 5 "de diámetro y 15" de largo, las muestras se almacenaron en botellas ámbar de 250 mL (Rocha-Santos & Duarte, 2015), previamente la muestra de agua obtenida se pasó por tamices en serie de 5.0 y 0.25 mm, la cantidad promedio obtenido fue aproximadamente 175 mL (Egessa et al., 2020). Para evitar el contacto con la luz de las muestras, estas se transportaron refrigerados en coolers hasta el laboratorio de residuos sólidos de la UNAJ, en Ayabacas. La distancia muestreada se calculó con un GPS-Garmin, la cantidad de partículas de MP por km^2 se determinó multiplicando la distancia muestreada por el ancho de la red, la cantidad de MP por volumen de agua se determinó utilizando la distancia de arrastre y el ancho de la boca de la red (20cm), multiplicando el área de ingreso de la red por la distancia muestreada (Jian et al., 2020).

b. Preparación de muestras

Al llegar las muestras al laboratorio de residuos sólidos de la UNAJ, inmediatamente se procedió con la preparación de muestras, el cual se realizó por el método de digestión con H_2O_2 al 30% (oxidación por peróxido húmedo, WPO) a temperatura ambiente por 85 h en botellas de vidrio cubiertas con papel aluminio, en condiciones oscuras (Wang et al., 2018). Para la digestión de 175 mL de muestra de agua se añadió 50 mL de H_2O_2 al 30%; a esta dosis ya no se visualiza materia orgánica (Egessa et al., 2020). A continuación, se filtraron las muestras a través de papel filtro Whatman (0.45 μm de tamaño de poro y 47 mm \varnothing) en embudos de Buchner mediante bomba de vacío (Mao et al., 2021). Los papeles filtro se transfirieron y secaron en placas de Petri de vidrio cubiertos con papel de aluminio a temperatura ambiente en condiciones oscuras durante un mes, posteriormente se realizó el examen microscópico (Zhang et al., 2021).

c. Análisis de muestras con estereoscopio

Las 9 muestras obtenidas de agua; es decir, las muestras filtradas obtenidas sobre papel filtro, se observaron usando un microscopio estereoscópico (Leica EZ4E) con aumentos entre 8x y 35x, para todas las muestras se siguió el mismo procedimiento de análisis (Buteler et al., 2023), para ello se procedió colocando la muestra a ser observada en el estereoscopio, utilizando diferentes aumentos se tomó fotografías de las partículas observadas, el mismo equipo cuenta con una cámara integrada y un software. Se consideraron como MP a todas las partículas menores a 5mm, se clasificaron por colores (blanco, negro, coloreado, transparente), también se contabilizó la cantidad encontrada en cada filtro (Zhang et al., 2021). Adicionalmente se clasificaron según sus formas como fibras, gránulos, fragmentos, espumas y películas, contrastándolas con las fotografías reportadas en artículos científicos (GESAMP, 2019). La observación de las partículas de microplásticos, se realizó en el laboratorio de residuos sólidos de la UNAJ, en Ayabacas.

d. Espectroscopía Raman

La composición química de las partículas de microplásticos se analizaron mediante microscopio Raman y de Fotoluminiscencia Renishaw inVia Reflex de cuatro fuentes de excitación integrado a un microscopio confocal motorizado, para ello se seleccionó una submuestra que representa el 5% de la cantidad colectada (Buteler et al., 2023; De la Torre et al., 2020; Parvin et al., 2021; Yuan et al., 2019). Los cuales fueron enviados al Centro de Caracterización de materiales de la PUCP, en Lima, de acuerdo a la cadena de custodia, aseguradas en placas de Petri con papel aluminio y cajita, para evitar su contaminación. Las muestras de MP se enjuagaron y pulieron con alcohol para minimizar la interferencia de fluorescencia (Yuan et al., 2019). Seguidamente se realizó el análisis con el microscopio Raman, según lo descrito por Dong et al., (2020), empleando diferentes láser con distintas longitudes de onda de excitación para identificar las mejores condiciones para obtener la señal Raman, láser de Argón (514 nm), Diodo láser de AsGa (785 nm) y láser de Helio-Neón (633 nm), resultando mejor la de 785 nm. Las medidas se realizaron con objetivos variables de 50x a 100x dependiendo del tamaño de la muestra. Los espectros se adquirieron en la región espectral de 200 a 3500 cm^{-1} con dos repeticiones (Dong et al., 2020). Los

resultados se compararon con espectros de referencia de biblioteca aceptando una similitud mayor al 80% (De la Torre et al., 2020).

3.6.3. Determinación del nivel de bioacumulación de microplásticos en Trucha Arcoíris

a. Toma de muestras

Se adquirieron muestras de truchas vivas de las piscigranjas ubicadas en la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, éstas se transportaron envueltos en papel aluminio en un cooler y fueron refrigerados por 12 horas hasta la preparación de las muestras (Bessa et al., 2018) en el laboratorio de residuos sólidos de la UNAJ, en Ayabacas. Se observó la presencia de MP en el contenido del tracto gastrointestinal (TGI) (Karbalaei et al., 2019; Sathish et al., 2020).

b. Preparación de muestras

En el laboratorio, las muestras de pescado conservados se limpiaron con agua destilada antes de su disección (Nikki et al., 2021; Yuan et al., 2019). Posteriormente, se siguieron los procedimientos estándar descritos por (Claessens et al., 2013; Lusher et al., 2013; Rocha y Duarte, 2015), donde con un bisturí fino y pinzas se extrajo el tracto gastrointestinal (TGI) de cada Trucha Arcoíris, incluyendo el esófago, el estómago y los intestinos, se removió con pinzas y bisturí gran parte del tejido adiposo que recubre los intestinos para evitar interferencia en el filtrado.

La preparación de muestras se realizó por el método de digestión con hidróxido de potasio al 10% (1:10 p/v), se depositó las muestras TGI en matraces cónicos de 250 mL y se añadió 100 mL de hidróxido de potasio al 10% hasta cubrir el TGI (Yuan et al., 2019), en el agitador magnético se aplicaron condiciones de 60 °C durante 24 h con agitación continua a 125 rpm (Dehaut et al., 2016), hasta digerir la materia orgánica, la solución resultante se diluyó con 20 mL de agua destilada, luego se procedió a filtrar (Nikki et al., 2021) los papeles filtro se transfirieron y secaron en placas de Petri de vidrio cubiertos con papel de aluminio a temperatura ambiente en condiciones oscuras durante un mes, posteriormente se realizó el examen microscópico (Zhang et al., 2021).

c. Análisis de muestras con estereoscopio

Las nueve muestras obtenidas de Trucha Arcoíris; es decir, las muestras filtradas obtenidas sobre papel filtro, se observaron usando un microscopio estereoscópico (Leica EZ4E) con aumentos entre 8x y 35x, para todas las muestras se siguió el mismo procedimiento de análisis (Buteler et al., 2023), para ello se procedió colocando la muestra a ser observada en el estereoscopio, utilizando diferentes aumentos se tomó fotografías de las partículas observadas, el mismo equipo cuenta con una cámara integrada y un software. Se consideraron como MP a todas las partículas menores a 5mm, se clasificaron por colores (blanco, negro, coloreado, transparente), también se contabilizó la cantidad encontrada en cada uno (Q. Zhang et al., 2021). Adicionalmente se clasificaron según sus formas como fibras, gránulos, fragmentos, espumas y películas, contrastándolas con las fotografías reportadas en artículos científicos (GESAMP, 2019), todas las observaciones se realizaron en el laboratorio de residuos sólidos de la UNAJ, en Ayabacas.

d. Espectroscopía Raman

Una submuestra que representa el 5% de la cantidad colectada (Buteler et al., 2023; De la Torre et al., 2020; Parvin et al., 2021; Yuan et al., 2019) fueron enviados al Centro de Caracterización de materiales de la PUCP, en Lima, de acuerdo a la cadena de custodia, aseguradas en placas de Petri con papel aluminio y cajita de cartón, para evitar su contaminación. La identificación del tipo de polímero de se determinó mediante un equipo Raman y de Fotoluminiscencia Renishaw inVia Reflex de cuatro fuentes de excitación integrado a un microscopio confocal motorizado, las muestras de MP se enjuagaron y pulieron con alcohol para minimizar la interferencia de fluorescencia (Yuan et al., 2019). Seguidamente se realizó el análisis con el microscopio Raman según Dong et al., (2020), empleando diferentes láser con distintas longitudes de onda de excitación para identificar las mejores condiciones para obtener la señal Raman, láser de Argón (514 nm), Diodo láser de AsGa (785 nm) y láser de Helio-Neón (633 nm), resultando mejor la de 785 nm. Las medidas se realizaron con objetivos variables de 50x a 100x dependiendo del tamaño de la muestra. Los espectros Raman se adquirieron en la región espectral de 200 a 3500 cm^{-1} con dos repeticiones (Dong et al., 2020). Los resultados se compararon

con espectros de referencia de biblioteca aceptando una similitud mayor al 80% (De la Torre et al., 2020).

3.7. Análisis de datos

Para agua y Trucha Arcoíris, las muestras se obtuvieron de tres puntos de muestreo, con 3 repeticiones en cada punto, se procesaron todas las muestras, tras el análisis se evidenció la presencia de MP los cuales se contabilizaron para cada muestra, después se calculó la abundancia promedio en cada punto, para realizar los análisis estadísticos de todas las pruebas se aplicó 95% de nivel de confianza. Se verificó la normalidad y homogeneidad de los datos obtenidos mediante la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Bartlett, finalmente se aplicó ANOVA unidireccional, las pruebas se realizaron mediante el software R versión 4.2.2 para sistema operativo Windows.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del agua de las islas flotantes los Uros, en el lago Titicaca

En adelante se muestran los parámetros obtenidos en los 3 puntos de monitoreo, así mismo, se reportan los parámetros fisicoquímicos del agua en general dentro del área de la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca.

Tabla 5

Calidad de agua en las islas flotantes de los Uros.

Punto de muestreo	Coordenadas		Parámetro	Unidad	Valores	ECA
	Este	Norte				
Punto 1	395870 m E	8252739 m S	pH	unidad de pH	7.3	6.5 a 9.0
			Conductividad eléctrica	μS/cm	989	1000
			Oxígeno disuelto	mg/L	6	≥5
			Temperatura	°C	17.4	Δ3
Punto 2	395740 m E	8251494 m S	pH	unidad de pH	7.3	6.5 a 9.0
			Conductividad eléctrica	μS/cm	1031	1000
			Oxígeno disuelto	mg/L	5.43	≥5
			Temperatura	°C	16.5	Δ3
Punto 3	396115 m E	8250454 m S	pH	unidad de pH	8.04	6.5 a 9.0
			Conductividad eléctrica	μS/cm	1065	1000
			Oxígeno disuelto	mg/L	5.9	≥5
			Temperatura	°C	15.7	Δ3

En las tablas 5 y 6, se observan los resultados obtenidos para los parámetros de campo y los parámetros fisicoquímicos en el agua de las islas flotantes de los Uros, los cuales son comparados con los valores establecidos en el ECA de agua dentro de la categoría 4, para lagos y lagunas. En los parámetros de campo, en promedio se tiene que el valor del pH es 7.6, conductividad 1028 uS/cm, oxígeno disuelto 5.8 mg/L y temperatura 16.5 °C; se puede ver que 3 de los parámetros se encuentran dentro de los valores establecidos en el estándar de calidad ambiental para agua; sin embargo, se aprecia que el parámetro de conductividad sobrepasa ese valor, aunque no significativamente, el valor de este parámetro es un indicativo de que el agua de las islas flotantes de los

Uros contiene una cantidad considerable de sólidos disueltos y sales, lo que puede deberse al vertimiento de aguas residuales en este medio.

El pH a nivel de los 3 puntos de monitoreo se encuentra dentro del rango de valores establecidos en el ECA, se puede observar (tabla 5) que los valores de pH del Lago Titicaca en las islas flotantes de los Uros tienen una cierta tendencia a la alcalinidad, lo cual es similar a lo reportado anteriormente (PEBLT, 2014); sin embargo, difiere de lo reportado por Beltrán et al., (2015) pH de 9.43 en la bahía interior de Puno. En cuanto a conductividad eléctrica, el valor elevado puede deberse a que en ese punto existe mayor degradación de materia orgánica (PEBLT, 2020) lo cual incrementa el contenido de sales; aun así, el valor obtenido no es tan significativo como el 1667 uS/cm reportado por Beltrán et al., (2015).

Los valores de OD reportados en estudio se aproximan al mínimo establecido en el ECA para ecosistemas lacustres, en comparación con otro monitoreo realizado en las bahías de Puno, tales como Capachica y Chucuito (PEBLT, 2020), la eutrofización puede variar la concentración de OD en ecosistemas lacustres (Dixon et al., 2015), así mismo, el vertimiento de aguas residuales directamente al lago así como la descomposición de residuos sólidos en las islas flotantes de los Uros podría ser una causa del nivel de concentración de OD. Respecto a la temperatura los valores obtenidos en el monitoreo son similares a los descritos en monitoreos anteriores (PEBLT, 2014, 2020) así también es similar a lo reportado por Beltrán et al., (2015) 15.68 °C. En los lagos la temperatura del agua se regula en la interacción agua-aire (Tau et al., 2022), además también influyen diversos factores naturales como las precipitaciones, propiedades físicas de afluentes, características del lago (ubicación geográfica, profundidad, área del agua, entre otros) (Peng et al., 2022). La temperatura es importante debido a que su incremento en agua superficial del lago generaría la multiplicación de cianobacterias alterando la calidad (Velthuis et al., 2017).

Tabla 6

Parámetros fisicoquímicos del agua en las islas flotantes de los Uros.

Parámetro	Unidad	Valores	ECA
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	<1.3	5
Cianuro libre	mg/L	<0.01	0.0052
Color	Color verdadero	<5	20(a)
DBO ₅	mg/L	<2.0	5
Fósforo total	mg/L	<0.02	0.035
Sulfuros	mg/L	<0.05	0.002
Nitratos	mg/L	0.41	13

En los parámetros de fisicoquímicos, se puede observar que todos se encuentran dentro de los valores establecidos en ECA para agua, lo que indica que fisicoquímicamente la calidad del agua se encuentra en buen estado a pesar de las diversas fuentes de contaminación; por otro lado, es importante resaltar que el estudio del agua se hizo a finales de la temporada de lluvias (marzo – abril), esto puede influir ya que los contaminantes suelen disolverse y movilizarse más rápido en esta época del año.

La DBO₅ resultante fue menor a 2, lo que indica una calidad de agua buena, en comparación a otras bahías del lago Titicaca como Capachica donde se obtuvo una DBO₅ de 5.78 mg/L y Chucuito 6.42mg/L (PEBLT, 2020); sin embargo, las diferencias significativas pueden deberse a que el estudio realizado por el PEBLT se hizo en temporada seca en meses de julio a septiembre, donde las precipitaciones son nulas y los contaminantes se concentran más. En cuanto a los nitratos Beltrán et al., (2015) reportó 0.13 mg/L en la bahía interior de Puno, y en este estudio se reporta 0.41 mg/L, lo cual se encuentra dentro de los ECAs; en agua dulce los valores que sobrepasan 4 mg/L están asociados a condiciones de eutrofización.

4.2. Determinación de microplásticos en el agua de los Uros del lago Titicaca

En este estudio se determinó la abundancia de partículas de MP en el agua de las islas flotantes de los Uros, en el Lago Titicaca, así también se clasificaron por forma, color y composición polimérica.

4.2.1. Abundancia de microplásticos

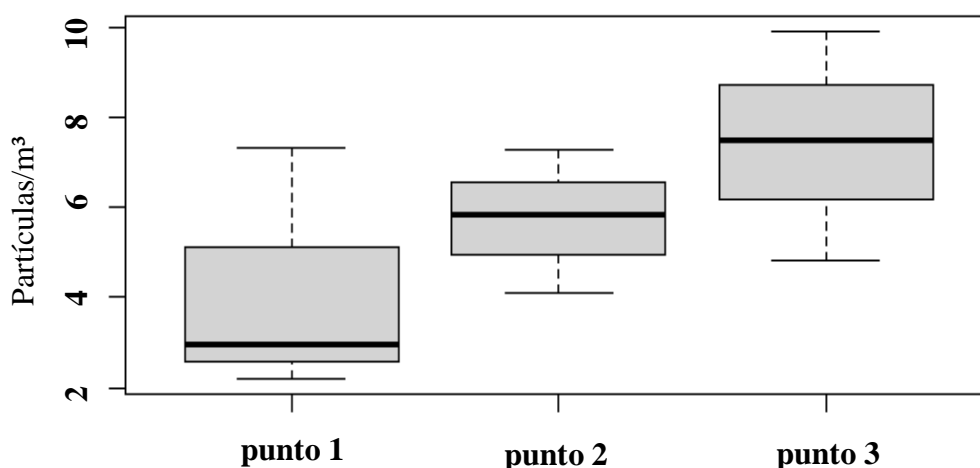


Figura 4. Concentraciones de MP en los islas flotantes de los Uros.

Se encontraron partículas de MP en todas las muestras que se recolectaron, con variaciones espaciales reducidas en su distribución. Considerando todos los MP encontrados y la distancia total muestreada, en el agua superficial la abundancia media de MP fue de 860000 partículas/km². Las concentraciones variaron entre 4.15 ± 6.87 a 7.41 ± 6.34 partículas/m³ (figura 4), con una abundancia media de 5.76 ± 1.92 partículas/m³.

A nivel internacional las agencias de monitoreo ambiental no tienen un método estándar de muestreo de MP en medios acuáticos, debido a ello es complicado realizar la comparación con otros resultados a nivel mundial (Bertoldi et al., 2021); sin embargo, se han desarrollado estudios sobre determinación de MP en lagos con métodos similares (tabla 2).

La abundancia media de MP de este estudio es comparable a otros lagos de agua dulce. La abundancia de MP en las islas flotantes de los Uros 5.76 ± 1.92 partículas/m³ es cercana a otros valores reportados a nivel internacional como el Lago Rawal y el Lago Bracciano (Bashir y Hashmi, 2022; Cera et al., 2022), en cambio en comparación con lagos de la Patagonia donde utilizaron redes con tamaño de malla cercana a la que se utilizó en este estudio ($20 \mu\text{m}$), los resultados difieren, esto puede deberse a la existencia de ciudades cercanas y el vertimiento de aguas residuales directamente al Lago Titicaca (PEBLT, 2020), lo que no ocurre en los lagos remotos de la Patagonia. Por otro lado, la diferencia entre las abundancias de MP en los diferentes lagos puede ser debido a la red de muestreo, ya que tamaños de malla de

333 μm podrían subestimar la abundancia, por ello se han recomendado usar redes de menos de 100 μm para estimar MP en medios acuáticos (Lindeque et al., 2020).

La ciudad de Puno, se ubica en la bahía interior del Lago Titicaca, las aguas residuales de esta ciudad son tratadas en una PTAR y posteriormente son vertidas al Lago Titicaca, estudios anteriores evidenciaron que las aguas residuales provenientes de PTARs aun contienen grandes concentraciones de MP (Geyer et al., 2022). Como las islas flotantes de los Uros se encuentran en la entrada de la bahía interior del Lago Titicaca, el vertimiento de aguas residuales de la ciudad puede contribuir a la abundancia de MP en las islas flotantes de los Uros junto con residuos plásticos provenientes de otras actividades. Además, en la zona norte y sur de las islas flotantes de los Uros en el Lago Titicaca se desarrollan actividades como la acuicultura, agricultura, pesca, turismo y actividades comerciales (figura 5), adicionalmente a ello, las aguas residuales que se generan en las islas flotantes son vertidas directamente al lago. El agua de escorrentía superficial de áreas urbanas y el vertimiento de agua residual a los lagos contribuyen a un incremento de la abundancia de MP (Yuan et al., 2019).

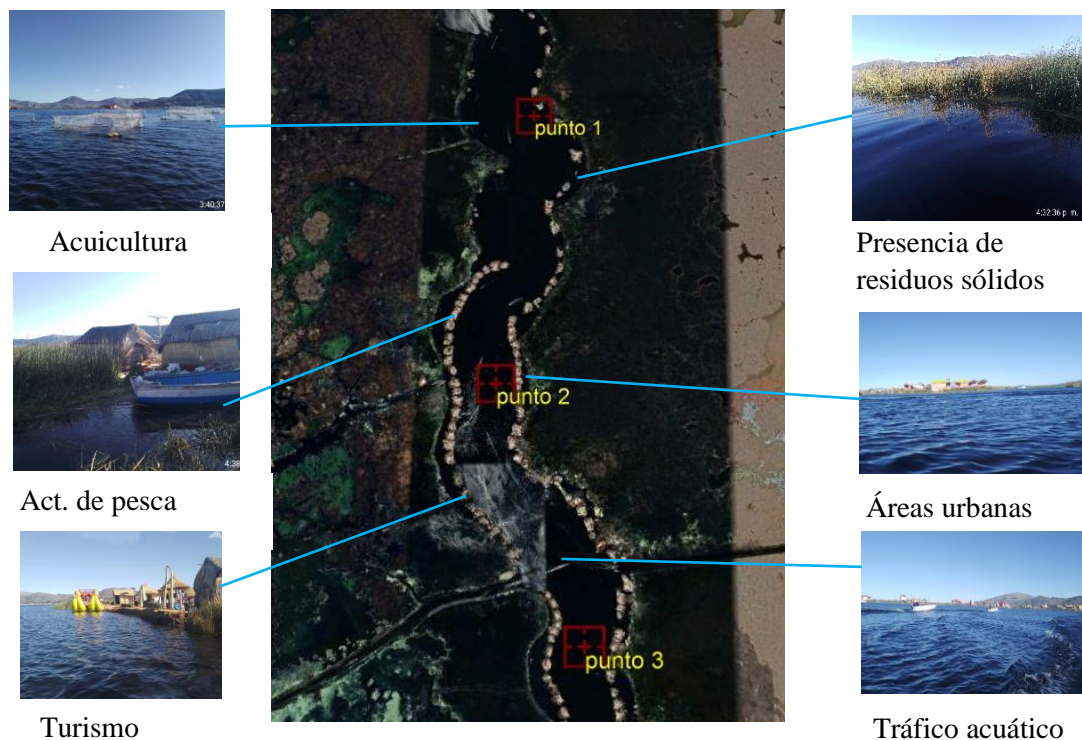


Figura 5. Actividades económicas en las islas flotantes de los Uros.

La distribución media de MP en las islas flotantes de los Uros oscila entre 4.15 ± 6.87 a 7.41 ± 6.34 partículas/m³. En todo el espacio de estudio, la abundancia en el punto 2 y 3 es alta en comparación con el punto 1 (figura 4). La mayor distribución espacial de MP se presentó en el punto 3, en las proximidades de este punto está ubicado la entrada principal a las islas flotantes de los Uros, por ello, en este espacio existe constante tráfico acuático, una fuente de MP en el lago es el tráfico terrestre (desgaste de neumáticos en cercanías del lago) y acuático (desprendimiento de pintura de los botes y barcos) (figura 5) (Ding et al., 2019). Además, las islas flotantes de los Uros es un destino turístico concurrido, por tanto, no se puede ignorar los residuos generados por los residentes y turistas como fuente de MP (Yin et al., 2020).

4.2.2. Características morfológicas de los microplásticos

a. Forma de los microplásticos

Tabla 7

Número de partículas microplásticas según su forma en el agua.

Punto de muestreo	Formas					Total
	Fibra	fragmento	espuma	Gránulo	película	
Punto 1	24	5	1			30
Punto 2	34	5	5			44
Punto 3	41	8	6			55
Total	99	18	12	0	0	129

En este estudio se encontró 3 formas de microplásticos los cuales son fibra, fragmento y espuma. De manera general para el agua en las islas flotantes de los Uros en el lago Titicaca, la fibra 76.7% fue la forma dominante en las muestras (figura 6), seguida del fragmento 14% y espuma 9.3%. Tal como se puede observar en la tabla 7, en cada punto de muestreo la fibra es la forma de MP más resaltante, evidenciando así que la fuente de contaminación más representativa del agua en las islas flotantes de los Uros, son los textiles, además de que el origen es secundario.

De las 5 formas principales de MP consideradas en otros estudios (Koutnik et al., 2021; Onoja et al., 2021; Yin et al., 2020), en este solo se reportaron 3, siendo la fibra la forma dominante, este resultado es parecido a los reportados en otros lagos (Jeevanandam et al., 2022; Xiong et al., 2022). Las condiciones climáticas del lugar, la distancia del punto de origen, los mecanismos de transporte, la degradación por

calor y el tiempo de permanencia en el medio acuático determina la forma del MP (Geyer et al., 2022; Park et al., 2020).

Los textiles son la fuente principal de los MP tipo fibra, este tipo de MP pueden llegar al medio acuático a través de efluentes industriales, residuales, deposición atmosférica, escorrentía urbana, escorrentía agrícola y los residuos sólidos (Alfonso et al., 2020; Dusaucy et al., 2021; Lebreton et al., 2017; Lenaker et al., 2019), además las actividades pesqueras generan residuos como cuerdas y redes de pesca envejecidos y rotos que generalmente se desechan a orillas del lago dando lugar al ingreso de fibras al medio acuático (Egessa et al., 2020; Yin et al., 2020). Las fibras son MP secundarios ya que proceden a partir de textiles que se descomponen en MP en el proceso de lavado o inclusive en el uso (Geyer et al., 2022; Park et al., 2020).

Los fragmentos representan el 14% de MP reportados en este estudio. Las fuentes principales de este tipo son la fragmentación de plásticos, vajilla descartable, bolsas de embalaje y juguetes (Peng et al., 2018; Zobkov y Esiukova, 2017). Los fragmentos son considerados microplásticos secundarios ya que provienen de la desintegración de plásticos (Cole et al., 2011), de igual manera que la espuma (Parvin et al., 2021).

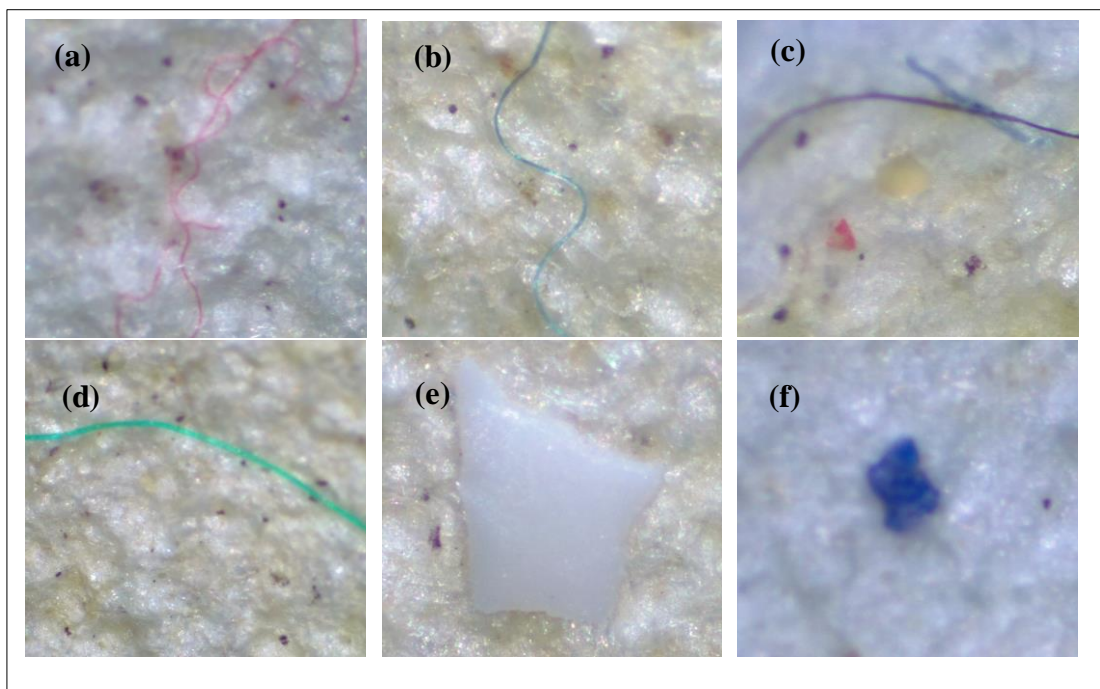


Figura 6. Fotografías de MP encontrados en las islas flotantes de los Uros.

Nota: (a) fibra roja, (b) fibra celeste, (c) fibra azul, fibra celeste y fragmento rojo, (d) fibra verde, (e) fragmento blanco y (f) espuma celeste.

b. Color de los microplásticos

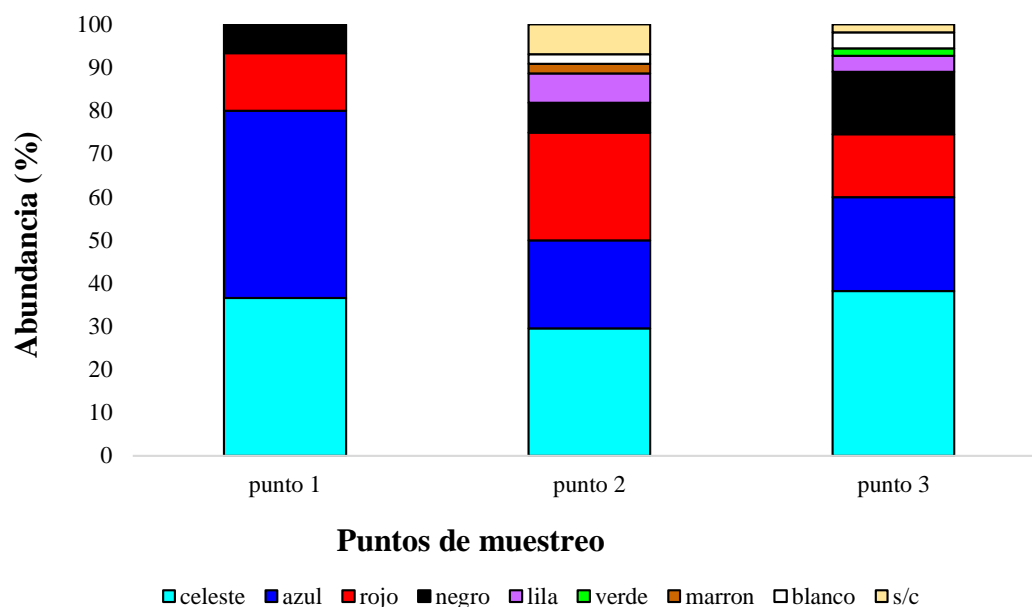


Figura 7. Distribución de color de MP en las islas flotantes de los Uros.

Se encontró una variedad de colores de MP en el agua de las islas flotantes de los Uros, se clasificaron en blanco, negro, transparente (s/c) y coloreado (celeste, azul, rojo, lila, verde y marrón) tal como se observa en la figura 7. A nivel general, el color dominante fue el celeste, que representó el 34.90% del recuento total de MP, seguido del azul 26.40%, rojo 17.80%, negro 10.10%, lila 3.90%, transparente 3.10%, blanco 2.30%, verde 0.80% y marrón 0.80%. En cada punto de muestreo los colores más dominantes fueron el celeste, azul y rojo. Por otro lado, se pudo observar que en el punto 3, existe reporte de más variedad de colores, esto puede deberse a que el punto 3 se encuentra próximo a la zona de ingreso de todo tipo de transporte acuático.

En este estudio se han identificado que los MP predominantes son los coloreados, la fuente de MP coloreados son principalmente los materiales de uso cotidiano como envoltorios, vestido, envases, entre otros (Wang et al., 2018). Siendo colores comunes de plásticos de uso cotidiano el negro, azul, lila y verde (Zhao et al., 2015). El color azul fue uno de los más abundantes en el agua superficial en las islas flotantes de los Uros (figura 7). Los MP de color azul y verde provienen generalmente de redes de pesca (Wagner et al., 2018). Considerando la forma, respecto a las fibras el azul fue el color predominante, entre los fragmentos los colores más abundantes fueron el

celeste y rojo, mientras que para las espumas resaltó el color celeste. Todos los MP identificados en este estudio resultaron ser microplásticos secundarios, es decir, provienen de la descomposición de plásticos de mayor tamaño. Por ello, el color que tienen provienen del material de origen, aunque la exposición a la intemperie puede alterar el color (Egessa et al., 2020).

4.2.3. Categorización de polímeros

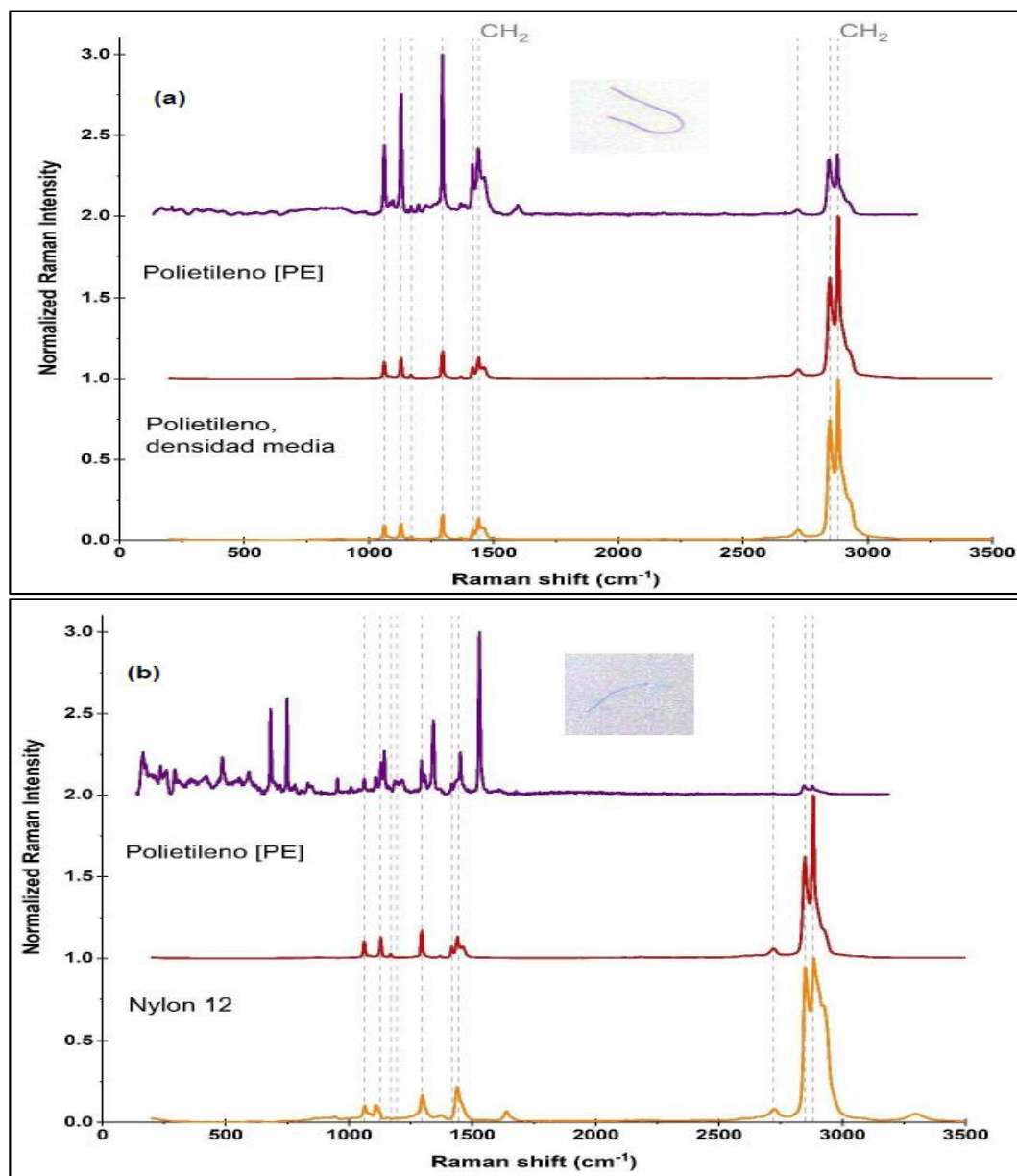


Figura 8. Espectros Raman de polímeros en agua (a) polietileno, (b) nylon.

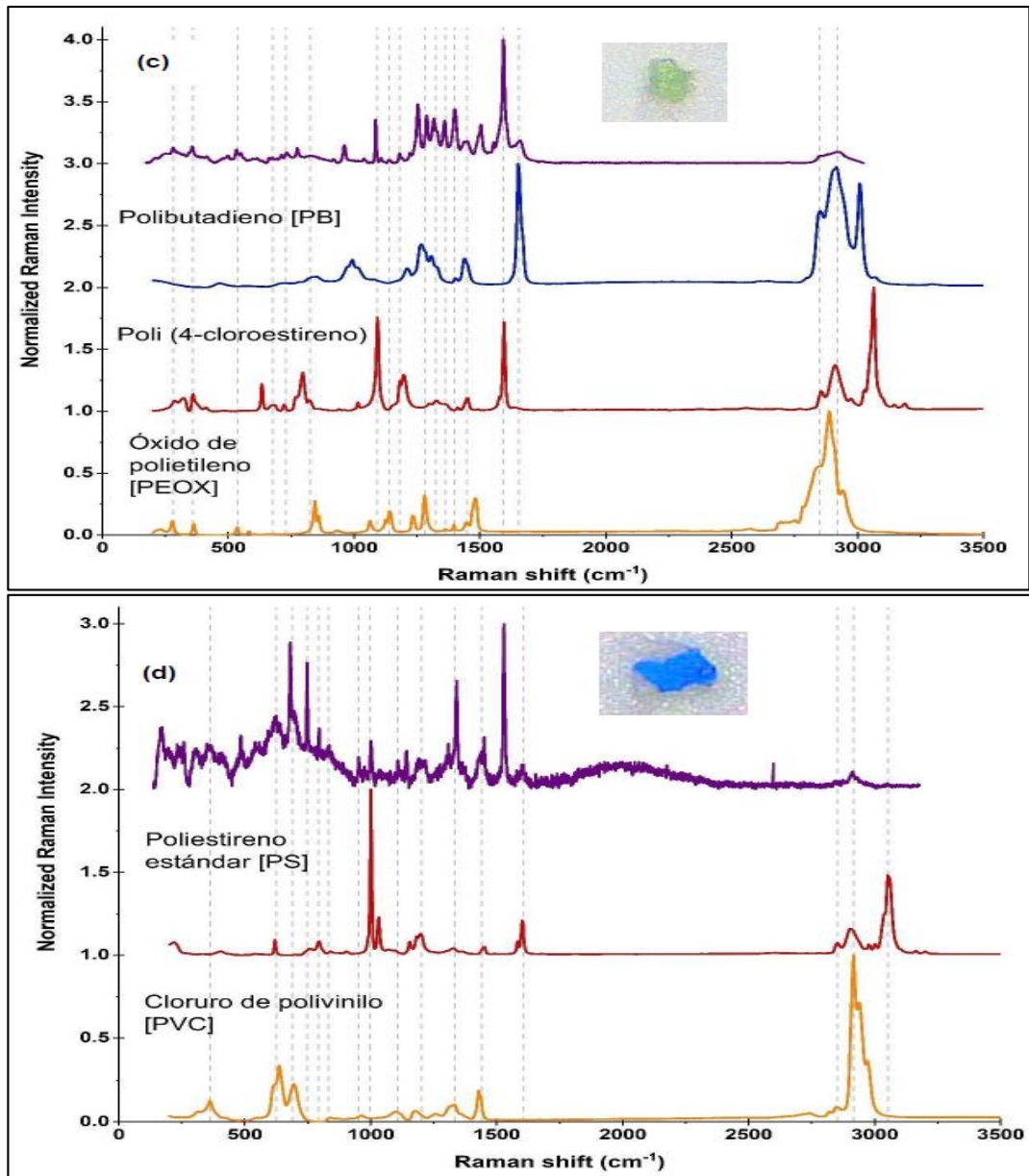


Figura 9. Espectros Raman de polímeros en agua (c) polibutadieno, (d) poliestireno.

En el agua superficial de las islas flotantes de los Uros, en el lago Titicaca se encontró en total cuatro tipos de MP con diferentes composiciones poliméricas, el polímero más común fue el polietileno, seguido del nylon, el poliestireno y polibutadieno, en la figura 8 se muestra los principales espectros obtenidos, el eje vertical representa la intensidad Raman normalizada, mientras que el eje horizontal representa el corrimiento Raman en cm^{-1} , adicionalmente se presentan los espectros con los que comparte similitud.

En este estudio se reporta 4 polímeros, el polietileno, el nylon, el poliestireno y polibutadieno, los resultados obtenidos, son similares a los de Parvin et al., (2022), donde los tipos de polímeros más comunes en aguas superficiales y sedimentos subyacentes de varios lagos y ríos periféricos de la ciudad de Dhaka, Bangladesh fueron tereftalato de polietileno (PET), polietileno de baja densidad (LDPE), nylon (NY), polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), etileno-acetato de vinilo (EVA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), y poliestireno (PS). A su vez, también es parecido a lo reportado en el lago Hawassa por Jeevanandam et al., (2022), donde encontró poliéster 82%, seguido de polietileno 15% y poliestireno 3%. Así también, en el lago Flathead, Xiong, Tappenbeck, et al., (2022), identificaron el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el PET y el cloruro de polivinilo (PVC). Y en el lago Kumaraswamy en la India, el polímero más común fue el polietileno (Ephsy & Raja, 2023). Estos polímeros, HDPE 0.93 a 0.97 g/cm³, LLDPE 0.915 – 0.925 g/cm³, y PP 0.85 g/cm³ debido a su baja densidad pueden desplazarse fácilmente a través del ambiente (Ashraf, 2014). Todos los MP identificados en este estudio tienen origen secundario.

4.3. Determinación del nivel de bioacumulación de microplásticos en Trucha Arcoíris

4.3.1. Abundancia de microplásticos

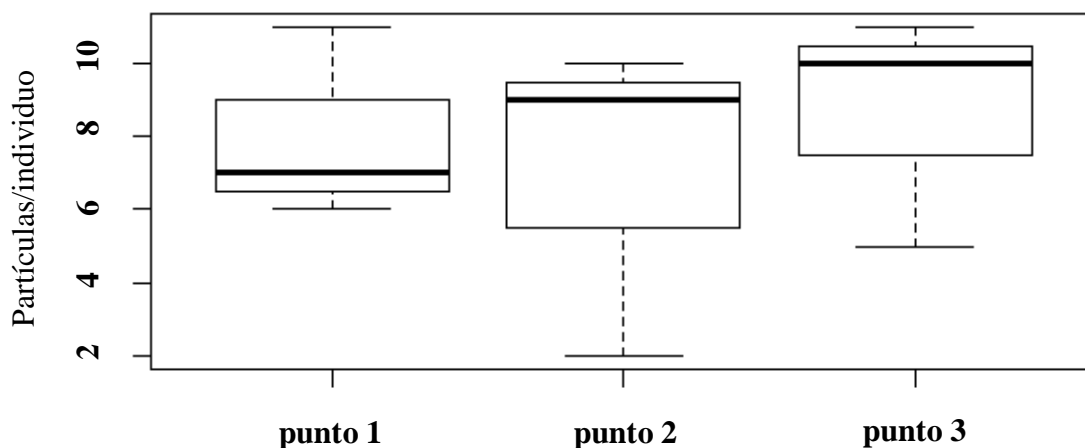


Figura 10. Abundancia de microplásticos en Trucha Arcoíris

Se examinaron un total de 9 especímenes de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en búsqueda de MP en el tracto gastrointestinal TGI, se encontró presencia de MP en el 100% de los organismos examinados, en total se extrajeron 71 partículas. De forma general, la abundancia de MP en el tracto gastrointestinal oscila entre 7 ± 10.83 a

8.67 ± 7.97 partículas/individuo tal como se observa en la figura 9, con una abundancia media de 7.89 ± 2.38 partículas/individuo. La cantidad de MP en los organismos no varía significativamente de un punto a otro.

La abundancia media de MP en el TGI en estudio fue de 7.89 ± 2.38 partículas/individuo, estos resultados son algo mayores en comparación con un estudio previo realizado sobre la Trucha Arcoíris en Turquía donde informaron una abundancia media de 1.80 ± 1.20 partículas/individuo (Kılıç, 2022). En un estudio similar, la abundancia media de MP en el TGI para *Channa punctatus*, *Labeo rohita* y *Labeo bata* fue de 2.49 ± 0.64 , 1.63 ± 0.39 y 1.14 ± 0.21 partículas/individuo respectivamente (Pandey et al., 2023), así mismo, en un estudio realizado en el TGI de 11 especies de peces en el lago Chao reportaron una abundancia entre 2.85 ± 1.96 a 8.38 ± 7.13 partículas/individuo (Yin et al., 2022).

La abundancia mayor de MP en el TGI en comparación a otros estudios podría deberse a la exposición del hábitat y las condiciones ambientales. Además, las aguas residuales, equipos de protección personal, harina de pescado, pienso, artículos de pesca e instalaciones de acuicultura son las fuentes más importantes de MP en la acuicultura (Iheanacho et al., 2023). Existe la posibilidad de que los peces de crianza contengan más MP que los de vida silvestre, esto podría deberse al plástico empleado en las piscigranjas (Kılıç, 2022; Reinold et al., 2021).

4.3.2. Características morfológicas de los microplásticos

a. Forma de los microplásticos

Tabla 8

Número microplásticos según su forma en la Trucha Arcoíris.

Punto de muestreo	Formas					Total de MP
	fibra	Espuma	fragmento	gránulo	película	
Punto 1	23	1				24
Punto 2	16	2	3			21
Punto 3	19	6	1			26
Total de MP	58	9	4	0	0	71

Se identificaron tres formas de MP en el tracto gastrointestinal de Trucha Arcoíris, en conjunto se logró identificar visualmente 71 partículas de plástico, de los cuales

el 81.70% fueron fibras, siendo la forma dominante, 12.70% espumas y 5.60% fragmentos. Se puede observar en la tabla 8, que en cada punto de muestreo la forma dominante fue la fibra.

Según otros estudios la presencia de fibra en ambientes de agua dulce es común, siendo fuentes principales las aguas residuales y el agua de lavado textil (Azizi et al., 2021; Kılıç et al., 2022). En este estudio de MP realizado sobre la Trucha Arcoíris se encontró que el 81.70% son fibras; respecto a los resultados obtenidos, otros estudios sobre MP en el TGI de peces de agua dulce y marinos también se reportaron la predominancia de fibras (Giani et al., 2019; Kılıç, 2022), generalmente el predominio de esta forma se considera un indicador de impacto antropogénico en el medio acuático (Alomar et al., 2016) ya que estas partículas provienen de la degradación mecánica o fotodegradación del plástico usado en redes de pesca, cuerdas de nailon, entre otros (Huang et al., 2020).

El resultado obtenido en este estudio (tabla 8) para fibra (81.70%) y fragmento (5.60%) es similar a lo reportado por Kılıç, (2022) que encontró un 89% de fibras y 11% de fragmentos en su estudio realizado en Trucha Arcoíris. Además, también se corresponde con otros estudios como el de Yin et al., (2022), quien informó una proporción de 83.50% de fibras y 9.70% de fragmentos en peces, de manera similar Pandey et al., (2023), clasificó como fibra el 73.30% y fragmento el 21.95% del total de MP hallados en el TGI de peces de agua dulce en la India, así también, Forgione et al., (2023), reportó un 65.14% de fibras y un total en conjunto de 34.86% de fragmentos, películas y espumas en el TGI de peces de agua dulce en el sur de Italia, adicionalmente de forma similar se reportó fibras 75%, fragmentos 19%, espuma 5% por Parvin et al., (2021).

b. Color de los microplásticos

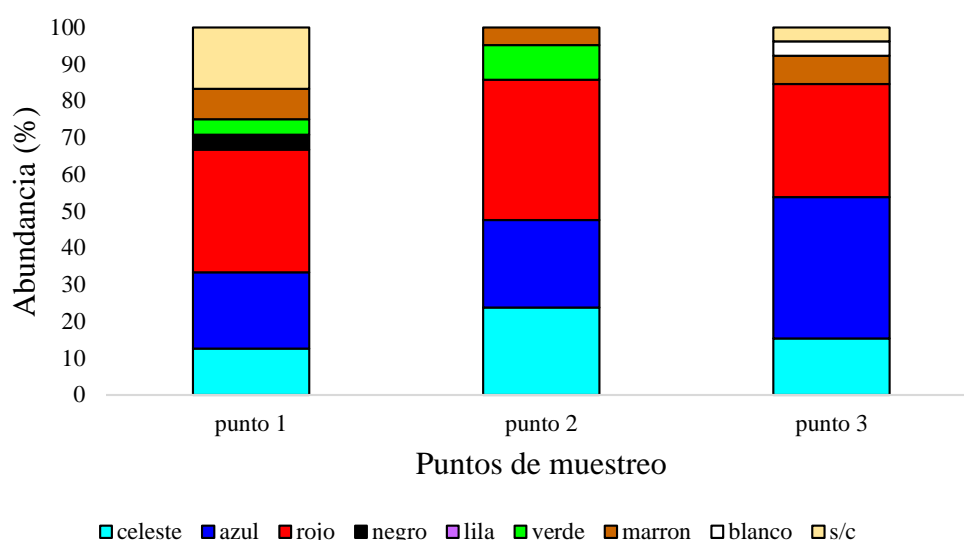


Figura 11. Distribución de color de MP en la Trucha Arcoíris.

En cuanto a la categoría morfológica de color, tal como se puede observar en la figura 10 en cada punto de muestreo se detectaron varios colores, siendo el color rojo y azul los dominantes, del total de partículas extraídas de todas las truchas el rojo (33.80%) y azul (28.20%) fueron los predominantes seguidos del celeste (16.90%), transparente (7%), marrón (7%), verde (4.20%), blanco (1.40%) y negro (1.40%). Por otro lado, también se puede observar que las muestras del punto 1 y 3 presentan más variedad de colores, lo cual puede deberse a las actividades económicas que se desarrollan en las proximidades.

La abundancia de MP coloreados encontrados implica la existencia de varias y diversas fuentes de ingreso siendo evidencia de impacto antropogénico. Los organismos acuáticos pueden consumir MP al confundirlos con un color similar al de sus presas (Peters et al., 2017). Para los ecosistemas acuáticos es considerado un riesgo grave el ingreso de MP en la cadena alimenticia acuática (Yuan et al., 2019). En otro estudio se detectaron colores similares a los obtenidos en este estudio, siendo el azul el segundo más representativo con 23.50% del total (Yin et al., 2022); en diversos estudios realizados en el medio acuático predomina el color azul, lo cual puede deberse a que en el agua estas partículas pasan desapercibidos por peces y aves, así también se argumenta que la radiación UV no degrada fácilmente los pigmentos azules (Godoy et al., 2022).

El origen de los MP transparentes son generalmente bolsas de plásticos, embalajes de empaques y bolsas de alimentos (Xiong et al., 2018); sin embargo, la presencia de MP transparentes también puede tener como origen partículas coloreadas que debido a la exposición a luz ultravioleta y otros procesos físicos perdieron su color (Dantas et al., 2023). En la figura 10, también resalta el color rojo, esta partícula puede tener origen sobre todo en el lavado de las fibras textiles.

4.3.3. Categorización de polímeros

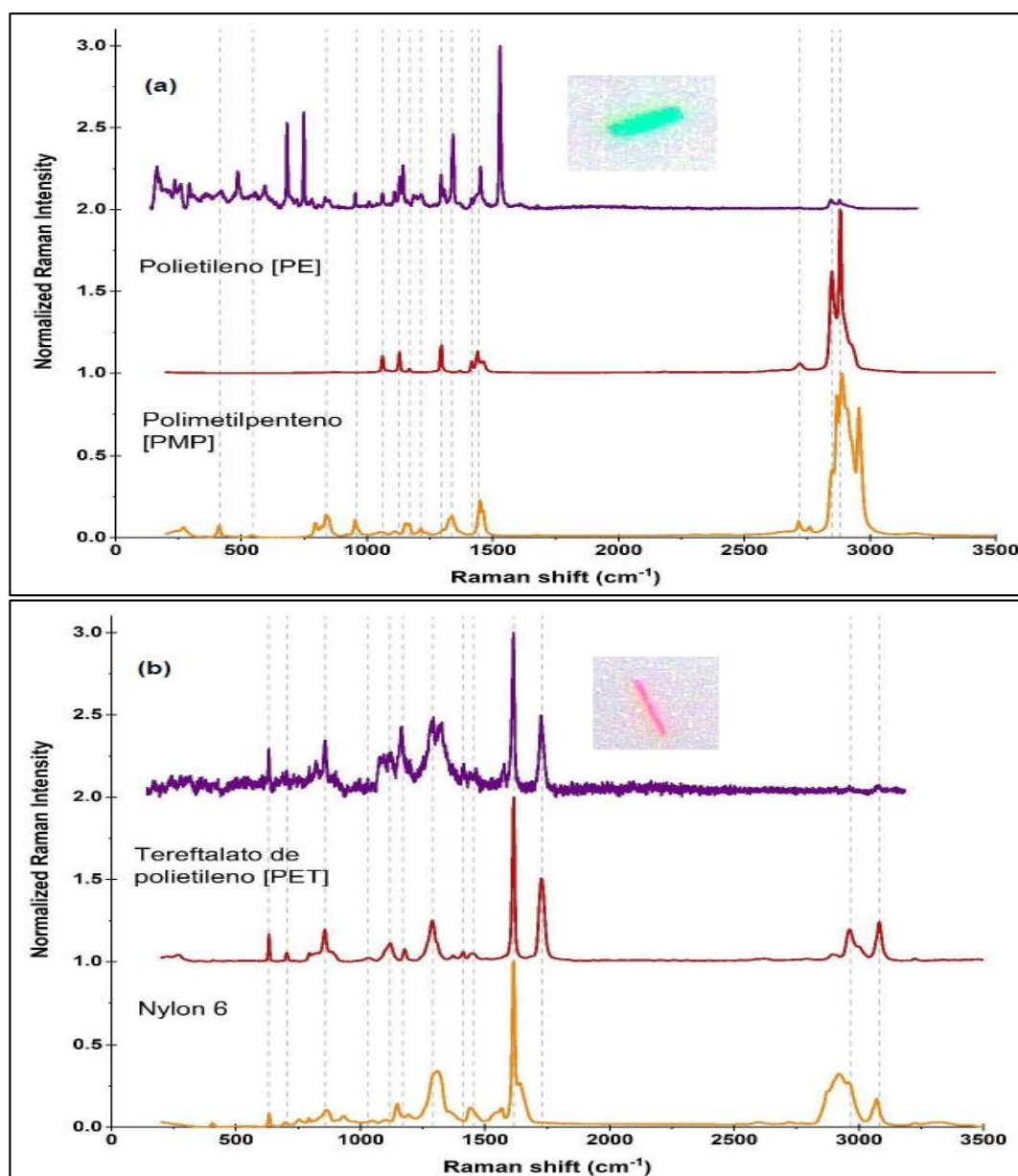


Figura 12. Espectros Raman de polímeros en TGI (a) polietileno, (b) nylon.

En el TGI de la Trucha Arcoíris se identificaron con el Raman la composición polimérica de distintos microplásticos, entre ellos se encuentra el PE (polietileno) y nylon, en la figura 11 se muestra los principales espectros obtenidos, el eje vertical representa la intensidad Raman normalizada, mientras que el eje horizontal representa el corrimiento Raman en cm^{-1} , adicionalmente se presentan los espectros con los que comparte similitud. Los polímeros identificados son sobre todo plásticos de uso común como el polietileno que sobre todo procede de envases y nylon que generalmente se desprende de las prendas textiles.

En el TGI de la Trucha Arcoíris, el polietileno (PE) seguido del nylon representó el tipo de polímero más abundante (figura 11), lo que coincide con otros estudios realizados en peces, específicamente Yin et al. (2022), investigaron MP en el lago Chao donde reportaron como polímeros más representativos el polipropileno (PP) 45.90% y el tereftalato de polietileno (PET) 26.10%; el polietileno es un componente principal de prendas de vestir, botellas de bebidas y elementos de pesca como las redes (J. Wu et al., 2022). Y Parvin, Jannat, and Tareq (2021), reportó en un estudio en peces de agua dulce como principales polímeros el HDPE (Polietileno de alta densidad), PP/PE (copolímero de polipropileno-polietileno) y EVA (Etileno-acetato de vinilo). Por otro lado, la cantidad de nylon reportado en este estudio puede provenir de las redes, artículos y cuerdas de pesca, ya que estas se componen de poliolefina, poliamida y nylon (Andrady, 2015). Con esto se puede evidenciar la relación entre los contaminantes y las actividades económicas del lugar. De manera general, los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones anteriores, ya que en aguas lacustres se han reportado más MP de baja densidad como el PE, PP, PS, además de poliésteres (Bordós et al., 2019; Uurasjärvi et al., 2020; Viitala et al., 2022).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los parámetros temperatura, pH y oxígeno disuelto, se encuentran dentro de lo establecido en el ECA para agua en la categoría 4; sin embargo, la conductividad 1028 uS/cm es elevada, siendo indicador de la degradación de material orgánico, lo que provoca mayor contenido de sales disueltas en el agua, también se analizaron otros parámetros donde se obtuvo <1.3 mg/L en aceites y grasas, <0.01 mg/L en cianuro libre, <5 en color, <2 mg/L en DBO₅, <0.02 mg/L en fósforo total, <0.05 en sulfuros y 0.41 mg/L en nitratos; todos se encuentran dentro de lo establecido en el ECA, con lo cual se puede concluir que la calidad del agua de las islas flotantes de los Uros es buena en cuanto a conservación.

En el agua, la abundancia promedio de microplásticos fue 5.76 ± 1.92 partículas/m³ y las principales formas encontradas fueron fibra 76.70%, fragmento 14% y espuma 9.30%, partículas de origen secundario, además, en cuanto al color, predominaron celeste 34.90%, azul 26.40% y rojo 17.80%, así mismo, respecto a los componentes poliméricos se encontraron el PE (polietileno), PB (polibutadieno), PS (poliestireno) y nylon, todas las partículas reportadas en este estudio son de tamaño menor a 5 mm, cabe resaltar que este estudio se realizó al final de la temporada de lluvias, lo que puede influir en la distribución de MP, como fuentes potenciales se identifican la acuicultura, el turismo, el vertimiento de aguas residuales y el ingreso de agua de escorrentía.

En Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), se obtuvo una abundancia promedio de 7.89 ± 2.38 partículas/individuo, en cuanto a forma 81.70% fueron fibras, 12.70% espumas y 5.60% fragmentos, así mismo, respecto al color se identificaron rojo 33.80%, azul 28.20%, celeste 16.90%, y los polímeros más representativos fueron el polietileno y el nylon.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda tomar acciones como la implementación de políticas y planes, así como la educación de la población en reducción del uso del plástico de un solo uso y el reciclaje, por parte del gobierno local y regional e instituciones de protección del ambiente tales como el MINAM y la DIGESA.
- Se sugiere fomentar la investigación de los microplásticos en otros tejidos y órganos de la Trucha Arcoíris, para ver la capacidad de este contaminante de atravesar las paredes intestinales y alojarse en otras zonas, así mismo, monitorear los efectos de este contaminante y sus aditivos en este organismo.
- Finalmente se recomienda realizar más estudios futuros considerando los diversos organismos acuáticos que existen en el Lago Titicaca con tamaños de muestra más grandes, para monitorear la biomagnificación de este contaminante en la cadena trófica para así tener un análisis más completo acerca de los alcances y efectos que puedan tener los microplásticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbasi, S. (2021). Prevalence and physicochemical characteristics of microplastics in the sediment and water of Hashilan Wetland, a national heritage in NW Iran. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101782. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101782>
- Akter, M. S., Kumar Chakraborty, T., Ghosh, G. C., Nice, M. S., Zaman, S., & Khan, A. S. (2024). Microplastics and heavy metals in freshwater fish species in the southwestern region of Bangladesh: an emerging concern for public health. *Emerging Contaminants*, 10(3), 100325. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100325>
- Alfonso, M. B., Scordo, F., Seitz, C., Mavo, G. M., Ronda, A. C., Arias, A. H., ... Piccolo, M. C. (2020). First evidence of microplastics in nine lakes across Patagonia (South America). *Science of The Total Environment*, 733, 139385. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139385>
- Alimi, O. S., Farner, J., Hernandez, L. M., & Tufenkji, N. (2018). Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport. *Environmental Science & Technology*, 52(4), 1704–1724. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05559>
- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>
- ALT-Peru Bolivia. (2019). Características físicas del lago Titicaca. Retrieved November 29, 2021, from Caracterización del lago Titicaca y su cuenca website: http://www.alt-perubolivia.org/web_lago/WEB_LT/Finales/2_carac_fisicas/carac.htm
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Andrady, A. L. (2015). Persistence of plastic litter in the oceans. In *Marine Anthropogenic Litter* (pp. 57–72). https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_3
- Ashraf, M. R. (2014). Commodity polymers, engineering polymers and speciality polymers.

Academia.Edu, p. 38. Retrieved from
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33718413/Polymers-libre.pdf?1400274266=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSpeciality_Polymers_Engineering_Polymers.pdf&Expires=1688054625&Signature=L3y33BzAX3o1TQeruwgolHT2uOf9DpaJXMX2u4T3npVi00kBDfOHN

- Azizi, N., Khoshnamvand, N., & Nasser, S. (2021). The quantity and quality assessment of microplastics in the freshwater fishes: a systematic review and meta-analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 47, 101955. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101955>
- Bakhshoodeh, R., & Santos, R. M. (2022). Comparative bibliometric trends of microplastics and perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances: how these hot environmental remediation research topics developed over time. *RSC Advances*, 12(8), 4973–4987. <https://doi.org/10.1039/D1RA09344D>
- Bashir, A., & Hashmi, I. (2022). Detection in influx sources and estimation of microplastics abundance in surface waters of Rawal Lake, Pakistan. *Heliyon*, 8(3), e09166. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09166>
- Beltrán, D. F., Palomino, R. P., Moreno, E. G., Peralta, C. G., & Montesinos Tubée, D. B. (2015). Calidad de agua de la bahía interior de Puno, lago Titicaca durante el verano del 2011. *Revista Peruana de Biología*, 22(3), 335–340. <https://doi.org/10.15381/rpb.v22i3.11440>
- Bertoldi, C., Lara, L. Z., Mizushima, F. A. de L., Martins, F. C. G., Battisti, M. A., Hinrichs, R., & Fernandes, A. N. (2021). First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. *Science of The Total Environment*, 759, 143503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143503>
- Bessa, F., Barría, P., Neto, J. M., Frias, J. P. G. L., Otero, V., Sobral, P., & Marques, J. C. (2018). Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 128(February), 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.044>
- Bharath K, M., S, S., Natesan, U., Ayyamperumal, R., Kalam S, N., S, A., ... C, A. (2021). Microplastics as an emerging threat to the freshwater ecosystems of Veeranam lake in south India: a multidimensional approach. *Chemosphere*, 264, 128502.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128502>

- Boateng, C. M., Addo, S., Duodu, C. P., Danso-Abbeam, H., Agyeman, P. C., Anyan, K. F., ... Matsuoka, A. (2024). Microplastics in the Volta Lake: occurrence, distribution, and human health implications. *Heliyon*, *10*(7), e29041. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29041>
- Borah, P., Kshiar, N., Reang, D., Jyoti Nath, A., & Kumar Baruah, K. (2024). Incidence of microplastic contamination in fishes of the Ramsar Wetland, Loktak – The world’s only floating lake from the Indian Himalayan region. *Journal of Environmental Management*, *358*(September 2023), 120928. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120928>
- Bordós, G., Urbányi, B., Micsinai, A., Kriszt, B., Palotai, Z., Szabó, I., ... Szoboszlai, S. (2019). Identification of microplastics in fish ponds and natural freshwater environments of the Carpathian basin, Europe. *Chemosphere*, *216*(February), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.110>
- Borga, K. (2013). Ecotoxicology: bioaccumulation. In *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences* (pp. 1–2). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.00765-X>
- Bourdages, M. P. T., Provencher, J. F., Hurtubise, J., Johnson, N., & Vermaire, J. C. (2024). Microplastics and anthropogenic microparticles in surface waters from Yellowknife Bay, Great Slave Lake, Northwest Territories, Canada. *Journal of Great Lakes Research*, *50*(3), 102348. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2024.102348>
- Bussolaro, D., Wright, S. L., Schnell, S., Schirmer, K., Bury, N. R., & Arlt, V. M. (2019). Co-exposure to polystyrene plastic beads and polycyclic aromatic hydrocarbon contaminants in fish gill (RTgill-W1) and intestinal (RTgutGC) epithelial cells derived from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Environmental Pollution*, *248*, 706–714. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.066>
- Buteler, M., Fasanella, M., Alma, A. M., Silva, L. I., Langenheim, M., & Tomba, J. P. (2023). Lakes with or without urbanization along their coasts had similar level of microplastic contamination, but significant differences were seen between sampling methods. *Science of The Total Environment*, *866*(December 2022), 161254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161254>

- Campanale, C., Massarelli, C., Savino, I., Locaputo, V., & Uricchio, V. F. (2020). A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 14. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041212>
- Canchari, F., & Iannacone, J. A. (2022). Microplásticos en sedimentos de canales de riego en el centro poblado de Madeán, distrito de Madeán, provincia de Yauyos, región Lima, Perú. *The Biologist*, 20(1), 85–92. <https://doi.org/10.24039/rtb20222011318>
- Cera, A., Pierdomenico, M., Sodo, A., & Scalici, M. (2022). Spatial distribution of microplastics in volcanic lake water and sediments: relationships with depth and sediment grain size. *Science of The Total Environment*, 829, 154659. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154659>
- Chakraborty, I., Banik, S., Biswas, R., Yamamoto, T., Noothalapati, H., & Mazumder, N. (2023). Raman spectroscopy for microplastic detection in water sources: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(9), 10435–10448. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04505-0>
- Chambi, J., & Yanes, C. (2023). Presencia de microplásticos en playas del Lago Titicaca, Puno - 2023 (Universidad César Vallejo). Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chen, X., Li, X., & Li, Y. (2021). Toxicity inhibition strategy of microplastics to aquatic organisms through molecular docking, molecular dynamics simulation and molecular modification. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 226, 112870. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112870>
- Chojnacka, K., & Mikulewicz, M. (2024). Bioaccumulation. In *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 77–84). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00351-1>
- Claessens, M., Van Cauwenberghe, L., Vandegheuchte, M. B., & Janssen, C. R. (2013). New techniques for the detection of microplastics in sediments and field collected organisms. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1–2), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.03.009>
- Coela, E. (2020). Cultivo y crecimiento de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) alimentada con dos marcas de alimento extruido: estudio en laguna altoandina de Perú.

Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 6(1), 38–44.
<https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1403>

- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (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>
- Colzi, I., Renna, L., Bianchi, E., Castellani, M. B., Coppi, A., Pignattelli, S., ... Gonnelli, C. (2022). Impact of microplastics on growth, photosynthesis and essential elements in *Cucurbita pepo* L. *Journal of Hazardous Materials*, 423(PB), 127238. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127238>
- Coronel, M. J. (2023). *Evaluación de la citotoxicidad y genotoxicidad de los microplásticos de poliestireno y del acetaminofeno*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Dantas, J., Perez, V., Temponi, B. L., de Lima Pinheiro, M. M., Bezerra, Á., Carlos da Silva, F., ... de Vargas, S. (2023). First evidence of microplastics in freshwater from fish farms in Rondônia state, Brazil. *Heliyon*, 9(4), e15066. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15066>
- De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Yupanqui, N., Espinoza-Morriberón, D., & Saldaña-Serrano, M. (2020). Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110877. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877>
- de Sá, L. C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rocha, T. L., & Futter, M. N. (2018). Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: what do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of The Total Environment*, 645, 1029–1039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.207>
- Dehaut, A., Cassone, A.-L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., ... Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in seafood: benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- Deng, Y., Zhang, Y., Lemos, B., & Ren, H. (2017). Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Scientific Reports*, 7(1), 46687. <https://doi.org/10.1038/srep46687>

- Ding, L., Mao, R. fan, Guo, X., Yang, X., Zhang, Q., & Yang, C. (2019). Microplastics in surface waters and sediments of the Wei River, in the northwest of China. *Science of The Total Environment*, 667, 427–434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.332>
- Dircetur. (2020). *Catálogo-Oferta exportable*. Retrieved from <https://www.dirceturpuno.gob.pe/comercio-exterior/catalogo-oferta-exportable-puno/>
- Dixon, K., Ayisi, C., & Henpita, C. (2015). What's in the water: why lakes exhibit decreased dissolved oxygen concentrations due to eutrophication. *Journal of Introductory Biology Investigations*, 2(4).
- Dong, M., Zhang, Q., Xing, X., Chen, W., She, Z., & Luo, Z. (2020). Raman spectra and surface changes of microplastics weathered under natural environments. *Science of The Total Environment*, 739, 139990. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139990>
- Dusaucy, J., Gateuille, D., Perrette, Y., & Naffrechoux, E. (2021). Microplastic pollution of worldwide lakes. *Environmental Pollution*, 284, 117075. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117075>
- Eder, M. L., Oliva-Teles, L., Pinto, R., Carvalho, A. P., Almeida, C. M. R., Hornek-Gausterer, R., & Guimarães, L. (2021). Microplastics as a vehicle of exposure to chemical contamination in freshwater systems: current research status and way forward. *Journal of Hazardous Materials*, 417(May), 125980. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125980>
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: a review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63–82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Egessa, R., Nankabirwa, A., Ocaya, H., & Pabire, W. G. (2020). Microplastic pollution in surface water of Lake Victoria. *Science of The Total Environment*, 741, 140201. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140201>
- Ephsy, D., & Raja, S. (2023). Characterization of microplastics and its Pollution load index in freshwater Kumaraswamy Lake of Coimbatore, India. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 104207. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104207>
- Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M. I., & Christie-Oleza, J. A. (2019). Distribution

- of plastic polymer types in the marine environment; un meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 369(November 2018), 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>
- Europe Plastics. (2020). *Plastics – the Facts 2020, an analysis of European plastics production, demand and waste data*. Retrieved from https://issuu.com/plasticseuropeebook/docs/plastics_the_facts-web-dec2020
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. <https://doi.org/10.4060/ca9231es>
- FAO. (2021a). Producción acuícola de peces, Perú 2010-2019. Retrieved November 10, 2021, from División de pesca y acuicultura website: https://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_18050510276232310.xml&outtype=html
- FAO. (2021b). Producción de captura de peces, Perú 2010-2019. Retrieved November 10, 2021, from División de pesca y acuicultura website: https://www.fao.org/figis/servlet/SQServlet?file=/usr/local/tomcat/8.5.16/figis/webapps/figis/temp/hqp_8029541092168113156.xml&outtype=html
- Felismino, M. E. L., Helm, P. A., & Rochman, C. M. (2021). Microplastic and other anthropogenic microparticles in water and sediments of Lake Simcoe. *Journal of Great Lakes Research*, 47(1), 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.10.007>
- Forgione, G., Izzo, F., Mercurio, M., Cichella, D., Dini, L., Giancane, G., & Paolucci, M. (2023). Microplastics pollution in freshwater fishes in the South of Italy: characterization, distribution, and correlation with environmental pollutants. *Science of The Total Environment*, 864(November 2022), 161032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161032>
- Galafassi, S., Sighicelli, M., Pusceddu, A., Bettinetti, R., Cau, A., Temperini, M. E., ... Volta, P. (2021). Microplastic pollution in perch (*Perca fluviatilis*, Linnaeus 1758) from Italian south-alpine lakes. *Environmental Pollution*, 288(July), 117782. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117782>
- GESAMP. (2019). Guidelines for the monitoring and assessment of plastic litter in the ocean. In P. Kershawa, A. Turrab, & F. Galgani (Eds.), *Reports and Studies GESAMP* ((IMO/FAO/U). Retrieved from <http://www.gesamp.org/publications/guidelines-for->

the-monitoring-and-assessment-of-plastic-litter-in-the-ocean

- Gestión. (2018). Producción nacional de trucha creció 678 % en 10 años. *Economía*. Retrieved from <https://gestion.pe/economia/produccion-nacional-trucha-crecio-678-10-anos-234898-noticia/>
- Geyer, R., Gavigan, J., Jackson, A. M., Saccomanno, V. R., Suh, S., & Gleason, M. G. (2022). Quantity and fate of synthetic microfiber emissions from apparel washing in California and strategies for their reduction. *Environmental Pollution*, 298(August 2021), 118835. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118835>
- Giani, D., Bains, M., Galli, M., Casini, S., & Fossi, M. C. (2019). Microplastics occurrence in edible fish species (*Mullus barbatus* and *Merluccius merluccius*) collected in three different geographical sub-areas of the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 140(January), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.005>
- Godoy, V., Calero, M., González-Olalla, J. M., Martín-Lara, M. A., Olea, N., Ruiz-Gutierrez, A., & Villar-Argaiz, M. (2022). The human connection: first evidence of microplastics in remote high mountain lakes of Sierra Nevada, Spain. *Environmental Pollution*, 311(July), 119922. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119922>
- González-Pleiter, M., Velázquez, D., Edo, C., Carretero, O., Gago, J., Barón-Sola, Á., ... Fernández-Piñas, F. (2020). Fibers spreading worldwide: microplastics and other anthropogenic litter in an Arctic freshwater lake. *Science of The Total Environment*, 722, 137904. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137904>
- Google Earth. (2021). *Área de estudio*. Retrieved from <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Goveas, L. C., Nayak, S., Kumar, P. S., Rangasamy, G., Vidya, S. M., Vinayagam, R., ... Vo, D. V. N. (2023). Microplastics occurrence, detection and removal with emphasis on insect larvae gut microbiota. *Marine Pollution Bulletin*, 188(January), 114580. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114580>
- Gündoğdu, S., Çevik, C., Güzel, E., & Kilercioğlu, S. (2018). Microplastics in municipal wastewater treatment plants in Turkey: a comparison of the influent and secondary effluent concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(11), 626. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7010-y>

- Herbort, A. F., Sturm, M. T., Fiedler, S., Abkai, G., & Schuhen, K. (2018). Alkoxy-silyl induced agglomeration: a new approach for the sustainable removal of microplastic from aquatic systems. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(11), 4258–4270. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1287-3>
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Polyester textiles as a source of microplastics from households: a mechanistic study to understand microfiber release during washing. *Environmental Science & Technology*, 51(12), 7036–7046. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01750>
- Hernandez, L. M., Xu, E. G., Larsson, H. C. E., Tahara, R., Maisuria, V. B., & Tufenkji, N. (2019). Plastic teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12300–12310. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02540>
- Hodkovicova, N., Hollerova, A., Caloudova, H., Blahova, J., Franc, A., Garajova, M., ... Svobodova, Z. (2021). Do foodborne polyethylene microparticles affect the health of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? *Science of The Total Environment*, 793, 148490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148490>
- Hu, D., Zhang, Y., & Shen, M. (2020). Investigation on microplastic pollution of Dongting Lake and its affiliated rivers. *Marine Pollution Bulletin*, 160(June), 111555. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111555>
- Huang, J.-S., Koongolla, J. B., Li, H.-X., Lin, L., Pan, Y.-F., Liu, S., ... Xu, X.-R. (2020). Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Science of The Total Environment*, 708, 134839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>
- Iheanacho, S., Ogbu, M., Bhuyan, M. S., & Ogunji, J. (2023). Microplastic pollution: an emerging contaminant in aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, (January). <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.01.007>
- INEI. (2020). *Perú: anuario de estadísticas ambientales*. Retrieved from https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/1ibro.pdf
- Jeevanandam, M., Talelign, W., Biru, A., Sakthi, J. S., Silva, J. D., Saravanan, P., & Jonathan, M. P. (2022). Evidences of microplastics in Hawassa Lake, Ethiopia: a first-

- hand report. *Chemosphere*, 296(September 2021), 133979. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133979>
- Jian, M., Zhang, Y., Yang, W., Zhou, L., Liu, S., & Xu, E. G. (2020). Occurrence and distribution of microplastics in China's largest freshwater lake system. *Chemosphere*, 261, 128186. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128186>
- Jin, X., Fu, X., Lu, W., & Wang, H. (2023). The effects of riverside cities on microplastics in river water: a case study on the Southern Jiangsu Canal, China. *Science of The Total Environment*, 858(September 2022), 159783. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159783>
- Karbalaei, S., Golieskardi, A., Hamzah, H. B., Abdulwahid, S., Hanachi, P., Walker, T. R., & Karami, A. (2019). Abundance and characteristics of microplastics in commercial marine fish from Malaysia. *Marine Pollution Bulletin*, 148(July), 5–15. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.072>
- Karbalaei, S., Hanachi, P., Rafiee, G., Seifori, P., & Walker, T. R. (2021). Toxicity of polystyrene microplastics on juvenile *Oncorhynchus mykiss* (rainbow trout) after individual and combined exposure with chlorpyrifos. *Journal of Hazardous Materials*, 403(September 2020), 123980. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123980>
- Kılıç, E. (2022). Microplastic ingestion evidence by economically important farmed fish species from Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 183(September), 114097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114097>
- Kılıç, E., Yücel, N., & Mübarek Şahutoğlu, S. (2022). First record of microplastic occurrence at the commercial fish from Orontes River. *Environmental Pollution*, 307(March), 119576. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119576>
- Koelmans, A. A., Mohamed Nor, N. H., Hermsen, E., Kooi, M., Mintenig, S. M., & De France, J. (2019). Microplastics in freshwaters and drinking water: critical review and assessment of data quality. *Water Research*, 155, 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>
- Koutnik, V. S., Leonard, J., Alkidim, S., DePrima, F. J., Ravi, S., Hoek, E. M. V., & Mohanty, S. K. (2021). Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: global analysis and framework for transport modeling. *Environmental Pollution*, 274, 116552. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116552>

- Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., Imron, M. F., & Ismail, N. 'Izzati. (2021). Current state of marine plastic pollution and its technology for more eminent evidence: a review. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123537. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123537>
- Lagarde, F., Olivier, O., Zanella, M., Daniel, P., Hiard, S., & Caruso, A. (2016). Microplastic interactions with freshwater microalgae: hetero-aggregation and changes in plastic density appear strongly dependent on polymer type. *Environmental Pollution*, 215, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.006>
- Lara, Z., Mostajo, M., & Ochoa, M. (2020). Detección y cuantificación de microplásticos en el sistema de agua potable de la ciudad del Cusco. *CANTUA*, 19(1), 1–6. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frevistas.unsaac.edu.pe%2Findex.php%2Fcantu%2Farticle%2Fdownload%2F1354%2F1580%2F&psig=AOvVa_w3MZ64Xa1wfD6qFlirC_TA5&ust=1718300864926000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CAcQrpoMahcKEwjIkIaT0NaGAxUAAA
- Lebreton, L. C. M., van der Zwet, J., Damsteeg, J.-W., Slat, B., Andrady, A., & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8(1), 15611. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Lenaker, P. L., Baldwin, A. K., Corsi, S. R., Mason, S. A., Reneau, P. C., & Scott, J. W. (2019). Vertical distribution of microplastics in the water column and surficial sediment from the Milwaukee river basin to lake Michigan. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12227–12237. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03850>
- León, B. (2023). Evaluación de microplásticos en los glaciares de montaña de la Rinconada - departamento de Puno, 2021 (Universidad Privada San Carlos). Retrieved from <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/4523>
- Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R. L., Lewis, C. N., Miller, R. Z., Watts, A. J. R., ... Galloway, T. S. (2020). Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment? a comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size. *Environmental Pollution*, 265, 114721. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114721>
- Liu, X., Shi, H., Xie, B., Dionysiou, D. D., & Zhao, Y. (2019). Microplastics as both a sink and a source of bisphenol A in the marine environment. *Environmental Science & Technology*, 53(17), 10188–10196. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02834>

- Lu, L., Luo, T., Zhao, Y., Cai, C., Fu, Z., & Jin, Y. (2019). Interaction between microplastics and microorganism as well as gut microbiota: a consideration on environmental animal and human health. *Science of The Total Environment*, 667, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.380>
- Lusher, A.L., McHugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine Pollution Bulletin*, 67(1–2), 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.11.028>
- Lusher, Amy L., Tirelli, V., O’Connor, I., & Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports*, 5(1), 14947. <https://doi.org/10.1038/srep14947>
- Mao, R., Song, J., Yan, P., Ouyang, Z., Wu, R., Liu, S., & Guo, X. (2021). Horizontal and vertical distribution of microplastics in the Wuliangsuhai Lake sediment, northern China. *Science of The Total Environment*, 754, 142426. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142426>
- Masiá, P., Mateo, J. L., Arias, A., Bartolomé, M., Blanco, C., Erzini, K., ... Garcia-Vazquez, E. (2022). Potential microplastics impacts on African fishing resources. *Science of The Total Environment*, 806, 150671. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150671>
- Miao, L., Gao, Y., Adyel, T. M., Huo, Z., Liu, Z., Wu, J., & Hou, J. (2021). Effects of biofilm colonization on the sinking of microplastics in three freshwater environments. *Journal of Hazardous Materials*, 413(December 2020), 125370. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125370>
- MINAGRI. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. *Autoridad Nacional Del Agua*, p. 92. Retrieved from https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf
- MINAM. (2011). Estándares de calidad ambiental. Retrieved November 16, 2021, from Dirección General de Calidad Ambiental website: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
- MINAM. (2013). *Línea base ambiental de la cuenca del Lago Titicaca*. Retrieved from <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/Linea-Base-Ambiental-del-Lago-Titicaca.pdf>

- MINAM. (2017a). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*. Retrieved from <https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-calidad-ambiental>
- MINAM. (2017b). Cifras del mundo y el Perú. In *Menos Plástico Mas Vida*. Retrieved from <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/733>
- MINAM. (2021). *Importancia de la trucha arcoíris para la bioseguridad en el Perú* (p. 1). p. 1. Retrieved from https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2021/07/infografia_trucha.pdf
- Mintenig, S. M., Kooi, M., Erich, M. W., Primpke, S., Redondo- Hasselerharm, P. E., Dekker, S. C., ... van Wezel, A. P. (2020). A systems approach to understand microplastic occurrence and variability in Dutch riverine surface waters. *Water Research*, 176, 115723. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115723>
- Mio-Díaz, M., & Álvarez, M. E. (2023). Frecuencia de ocurrencia de microplásticos en contenido gastrointestinal de orestias sp. y odontesthes bonariensis de la laguna Pomacanchi-Acomayo-Cusco. *Revista Q'EUÑA*, 14(2), 7–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.51343/rq.v14i2.1293>
- Montero, D., Rimoldi, S., Torrecillas, S., Rapp, J., Moroni, F., Herrera, A., ... Terova, G. (2022). Impact of polypropylene microplastics and chemical pollutants on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) gut microbiota and health. *Science of The Total Environment*, 805, 150402. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150402>
- National Geographic. (2018). Los Uros, el pueblo flotante del lago Titicaca. Retrieved November 29, 2021, from Lugares website: <https://www.ngenespanol.com/traveler/los-uros-el-pueblo-flotante-del-lago-titicaca/>
- Neelavannan, K., Sen, I. S., Lone, A. M., & Gopinath, K. (2022). Microplastics in the high-altitude Himalayas: assessment of microplastic contamination in freshwater lake sediments, Northwest Himalaya (India). *Chemosphere*, 290(August 2021), 133354. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133354>
- Nikki, R., Abdul Jaleel, K. U., Ragesh, S., Shini, S., Saha, M., & Dinesh Kumar, P. K. (2021). Abundance and characteristics of microplastics in commercially important bottom dwelling finfishes and shellfish of the Vembanad Lake, India. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112803. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112803>

- Onoja, S., Nel, H. A., Abdallah, M. A.-E., & Harrad, S. (2022). Microplastics in freshwater sediments: analytical methods, temporal trends, and risk of associated organophosphate esters as exemplar plastics additives. *Environmental Research*, 203(February 2021), 111830. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111830>
- Ory, N. C., Gallardo, C., Lenz, M., & Thiel, M. (2018). Capture, swallowing, and egestion of microplastics by a planktivorous juvenile fish. *Environmental Pollution*, 240, 566–573. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.093>
- Ory, N., Chagnon, C., Felix, F., Fernández, C., Ferreira, J. L., Gallardo, C., ... Thiel, M. (2018). Low prevalence of microplastic contamination in planktivorous fish species from the southeast Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 211–216. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.016>
- Pandey, N., Verma, R., Patnaik, S., & Anbumani, S. (2023). Abundance, characteristics, and risk assessment of microplastics in indigenous freshwater fishes of India. *Environmental Research*, 218(November 2022), 115011. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115011>
- Paredes, J., Sanchez, A., Ordoñez, K., & Palo, M. (2019). Caracterización de microplásticos en los recursos hidrobiológicos del Lago Titicaca. In *Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica*. Retrieved from <https://core.ac.uk/download/pdf/233005269.pdf>
- Park, T.-J., Lee, S.-H., Lee, M.-S., Lee, J.-K., Lee, S.-H., & Zoh, K.-D. (2020). Occurrence of microplastics in the Han River and riverine fish in South Korea. *Science of The Total Environment*, 708, 134535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134535>
- Parvin, F., Hassan, M. A., & Tareq, S. M. (2022). Risk assessment of microplastic pollution in urban lakes and peripheral rivers of Dhaka, Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 8(August), 100187. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100187>
- Parvin, F., Jannat, S., & Tareq, S. M. (2021). Abundance, characteristics and variation of microplastics in different freshwater fish species from Bangladesh. *Science of The Total Environment*, 784, 147137. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147137>
- Pastorino, P., Pizzul, E., Bertoli, M., Anselmi, S., Kušće, M., Menconi, V., ... Renzi, M. (2021). First insights into plastic and microplastic occurrence in biotic and abiotic compartments, and snow from a high-mountain lake (Carnic Alps). *Chemosphere*, 265, 129121. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129121>

- PCM. (2021). Decreto Supremo que aprueba el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el periodo 2021-2023 - Decreto Supremo N° 020-2021-MINAM. *El Peruano*. Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-plan-de-estandares-de-calidad-decreto-supremo-n-020-2021-minam-1976265-8/>
- PEBLT. (2014). *Estado de la calidad ambiental de la cuenca del Lago Titicaca ámbito peruano*. Retrieved from <https://www.minam.gob.pe/puno/wp-content/uploads/sites/55/2014/02/estudio-del-estado-de-la-calidad-ambiental-cuenca-del-titicaca..pdf>
- PEBLT. (2020). *Informe de monitoreo de la red de aguas superficiales lago (bahía de los afluyentes Puno)*. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/peblt/informes-publicaciones/2185892-monitoreo-de-la-red-de-aguas-superficiales-lago-titicaca-ano-2020-bahia-de-los-afluentes>
- Peng, G., Xu, P., Zhu, B., Bai, M., & Li, D. (2018). Microplastics in freshwater river sediments in Shanghai, China: a case study of risk assessment in mega-cities. *Environmental Pollution*, 234, 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.034>
- Peng, Z., Yang, K., Shang, C., Duan, H., Tang, L., Zhang, Y., ... Luo, Y. (2022). Attribution analysis of lake surface water temperature changing —taking China’s six main lakes as example. *Ecological Indicators*, 145(August), 109651. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109651>
- Perez-Venegas, D. J., Toro-Valdivieso, C., Ayala, F., Brito, B., Iturra, L., Arriagada, M., ... Galbán-Malagón, C. (2020). Monitoring the occurrence of microplastic ingestion in Otariids along the Peruvian and Chilean coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 153, 110966. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110966>
- Peters, C. A., Thomas, P. A., Rieper, K. B., & Bratton, S. P. (2017). Foraging preferences influence microplastic ingestion by six marine fish species from the Texas Gulf Coast. *Marine Pollution Bulletin*, 124(1), 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.06.080>
- Petrella, A., Di Mundo, R., & Notarnicola, M. (2020). Recycled expanded polystyrene as lightweight aggregate for environmentally sustainable cement conglomerates. *Materials*, 13(4), 988. <https://doi.org/10.3390/ma13040988>

- PNUD. (2019). Un observatorio contra la contaminación del lago Titicaca. Retrieved September 29, 2021, from Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo website: <https://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/presscenter/articles/2019/un-observatorio-contra-la-contaminacion-del-lago-titicaca.html>
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: an overview on possible human health effects. *Science of The Total Environment*, 702, 134455. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Ramli Sulong, N. H., Mustapa, S. A. S., & Abdul Rashid, M. K. (2019). Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: a review. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(20), 47529. <https://doi.org/10.1002/app.47529>
- Reinold, S., Herrera, A., Saliu, F., Hernández-González, C., Martínez, I., Lasagni, M., & Gómez, M. (2021). Evidence of microplastic ingestion by cultured European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Marine Pollution Bulletin*, 168(April), 112450. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112450>
- Rist, S., Carney, B., Hartmann, N. B., & Karlsson, T. M. (2018). A critical perspective on early communications concerning human health aspects of microplastics. *Science of the Total Environment*, 626, 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.092>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A critical overview of the analytical approaches to the occurrence, the fate and the behavior of microplastics in the environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Rochman, C. M., Tahir, A., Williams, S. L., Baxa, D. V., Lam, R., Miller, J. T., ... Teh, S. J. (2015). Anthropogenic debris in seafood: plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5(1), 14340. <https://doi.org/10.1038/srep14340>
- Saad, D., Ndlovu, M., Ramaremsisa, G., & Tutu, H. (2022). Microplastics in freshwater environment: the first evaluation in sediment of the Vaal River, South Africa. *Heliyon*, (110), e11118. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11118>

- Sathish, M. N., Jeyasanta, I., & Patterson, J. (2020). Occurrence of microplastics in epipelagic and mesopelagic fishes from Tuticorin, Southeast coast of India. *Science of The Total Environment*, 720(17217022032003), 137614. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137614>
- Sayed, A. E.-D. H., Hamed, M., Badrey, A. E. A., Ismail, R. F., Osman, Y. A. A., Osman, A. G. M., & Soliman, H. A. M. (2021). Microplastic distribution, abundance, and composition in the sediments, water, and fishes of the Red and Mediterranean seas, Egypt. *Marine Pollution Bulletin*, 173(Part A), 112966. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112966>
- Schymanski, D., Goldbeck, C., Humpf, H.-U., & Fürst, P. (2018). Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: release of plastic particles from different packaging into mineral water. *Water Research*, 129, 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.011>
- Semcesen, P. O., & Wells, M. G. (2021). Biofilm growth on buoyant microplastics leads to changes in settling rates: implications for microplastic retention in the Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 170(November 2020), 112573. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112573>
- Shen, J., Gu, X., Liu, R., Feng, H., Li, D., Liu, Y., ... Leng, X. (2023). Damming has changed the migration process of microplastics and increased the pollution risk in the reservoirs in the Shaying River Basin. *Journal of Hazardous Materials*, 443(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130067>
- Shen, M., Zeng, Z., Li, L., Song, B., Zhou, C., Zeng, G., ... Xiao, R. (2021). Microplastics act as an important protective umbrella for bacteria during water/wastewater disinfection. *Journal of Cleaner Production*, 315(June), 128188. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128188>
- Shiu, R.-F., Gong, G.-C., Fang, M.-D., Chow, C.-H., & Chin, W.-C. (2021). Marine microplastics in the surface waters of “pristine” Kuroshio. *Marine Pollution Bulletin*, 172(July), 112808. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112808>
- Singh, R. P., Mishra, S., & Das, A. P. (2020). Synthetic microfibers: pollution toxicity and remediation. *Chemosphere*, 257, 127199. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127199>

- Singh, S., & Bhagwat, A. (2022). Microplastics: a potential threat to groundwater resources. *Groundwater for Sustainable Development*, (October), 100852. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100852>
- Sun, Q., Lu, F.-H., & Ni, H.-G. (2021). Microplastic-water partitioning of two states halogenated PAHs: solute and sol. *Environmental Research*, 202(June), 111634. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111634>
- Tapia, E. L., & Sequeiros, I. (2023). Evaluación de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales – San Jerónimo para identificar la presencia de microplásticos, Cusco 2023 (Universidad Andina del Cusco). Retrieved from http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tau, G., Enzel, Y., McGowan, H., Lyakhovsky, V., & Lensky, N. G. (2022). Air-water interactions regulating water temperature of lakes: direct observations (Agamon Hula, Israel) and analytical solutions. *Journal of Hydrology*, 614(PA), 128515. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128515>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., vom Saal, F. S., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153–2166. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>
- Uurasjärvi, E., Hartikainen, S., Setälä, O., Lehtiniemi, M., & Koistinen, A. (2020). Microplastic concentrations, size distribution, and polymer types in the surface waters of a northern European lake. *Water Environment Research*, 92(1), 149–156. <https://doi.org/10.1002/wer.1229>
- Velthuis, M., de Senerpont Domis, L. N., Frenken, T., Stephan, S., Kazanjian, G., Aben, R., ... Van de Waal, D. B. (2017). Warming advances top-down control and reduces producer biomass in a freshwater plankton community. *Ecosphere*, 8(1), e01651. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1651>
- Viitala, M., Steinmetz, Z., Sillanpää, M., Mänttari, M., & Sillanpää, M. (2022). Historical and current occurrence of microplastics in water and sediment of a Finnish lake affected by WWTP effluents. *Environmental Pollution*, 314(September), 120298. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120298>

- Wagner, S., Hüffer, T., Klöckner, P., Wehrhahn, M., Hofmann, T., & Reemtsma, T. (2018). Tire wear particles in the aquatic environment - A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Research*, 139, 83–100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.051>
- Wang, W., Yuan, W., Chen, Y., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters of Dongting Lake and Hong Lake, China. *Science of The Total Environment*, 633, 539–545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.211>
- Wang, Y., Zhou, B., Chen, H., Yuan, R., & Wang, F. (2022). Distribution, biological effects and biofilms of microplastics in freshwater systems - A review. *Chemosphere*, 299(julio), 134370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134370>
- Wang, Z., Zhang, Y., Kang, S., Yang, L., Shi, H., Tripathee, L., & Gao, T. (2021). Research progresses of microplastic pollution in freshwater systems. *Science of The Total Environment*, 795, 148888. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148888>
- Wright, S. L., Thompson, R. C., & Galloway, T. S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*, 178, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>
- Wu, H., Hou, J., & Wang, X. (2023). A review of microplastic pollution in aquaculture: sources, effects, removal strategies and prospects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 252(August 2022), 114567. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114567>
- Wu, J., Yin, X., Liu, Y., Chen, X., Xie, C., Liang, Y., ... Jiang, Z. (2022). Seasonal variation and ecological risk assessment of microplastics ingested by economic fishes in Lake Chaohu, China. *Science of The Total Environment*, 833(April), 155181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155181>
- Xiang, Y., Jiang, L., Zhou, Y., Luo, Z., Zhi, D., Yang, J., & Lam, S. S. (2022). Microplastics and environmental pollutants: key interaction and toxicology in aquatic and soil environments. *Journal of Hazardous Materials*, 422(June 2021), 126843. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126843>
- Xiong, X., Tappenbeck, T. H., Wu, C., & Elser, J. J. (2022). Microplastics in Flathead Lake, a large oligotrophic mountain lake in the USA. *Environmental Pollution*, 306(May), 119445. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119445>

- Xiong, X., Xie, S., Feng, K., & Wang, Q. (2022). Occurrence of microplastics in a pond-river-lake connection water system: how does the aquaculture process affect microplastics in natural water bodies. *Journal of Cleaner Production*, 352(February), 131632. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131632>
- Xiong, X., Zhang, K., Chen, X., Shi, H., Luo, Z., & Wu, C. (2018). Sources and distribution of microplastics in China's largest inland lake – Qinghai Lake. *Environmental Pollution*, 235(April), 899–906. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.081>
- Xu, S., Ma, J., Ji, R., Pan, K., & Miao, A.-J. (2020). Microplastics in aquatic environments: occurrence, accumulation, and biological effects. *Science of The Total Environment*, 703, 134699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134699>
- Xue, Q., Dong, Y., Lu, F., Yang, H., & Yu, G. (2024). ELM combined with differential Raman spectroscopy for the detection of microplastics in organisms. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 312(October 2023), 124039. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124039>
- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic pollution in table salts from China. *Environmental Science & Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
- Yang, H., Xue, Q., Lu, F., Ma, J., Dong, Y., & Yu, G. (2024). Detection of microplastics based on splicing grating spatial heterodyne Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 318(April), 124499. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2024.124499>
- Yin, L., Wen, X., Du, C., Jiang, J., Wu, L., Zhang, Y., ... Gu, Q. (2020). Comparison of the abundance of microplastics between rural and urban areas: a case study from East Dongting Lake. *Chemosphere*, 244, 125486. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125486>
- Yin, X., Wu, J., Liu, Y., Chen, X., Xie, C., Liang, Y., ... Jiang, Z. (2022). Accumulation of microplastics in fish guts and gills from a large natural lake: selective or non-selective? *Environmental Pollution*, 309(June), 119785. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119785>
- Yong, C., Valiyaveetil, S., & Tang, B. (2020). Toxicity of microplastics and nanoplastics in mammalian systems. *International Journal of Environmental Research and Public*

Health, 17(5), 1509. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051509>

- Yuan, W., Liu, X., Wang, W., Di, M., & Wang, J. (2019). Microplastic abundance, distribution and composition in water, sediments, and wild fish from Poyang Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170(November 2018), 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.126>
- Zhang, Q., Liu, T., Liu, L., Fan, Y., Rao, W., Zheng, J., & Qian, X. (2021). Distribution and sedimentation of microplastics in Taihu Lake. *Science of The Total Environment*, 795, 148745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148745>
- Zhang, Z., Wu, X., Zhang, J., & Huang, X. (2022). Distribution and migration characteristics of microplastics in farmland soils, surface water and sediments in Caohai Lake, southwestern plateau of China. *Journal of Cleaner Production*, 366(January), 132912. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132912>
- Zhao, S., Zhu, L., & Li, D. (2015). Microplastic in three urban estuaries, China. *Environmental Pollution*, 206, 597–604. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.027>
- Zirena, F., Cahui, N., Tejedó, J. R., Zamalloa, W. A., Campos, C. N., & Tornisielo, V. L. (2021). Occurrence of residues of veterinary antibiotics in water, sediment and trout tissue (*Oncorhynchus mykiss*) in the southern area of Lake Titicaca, Peru. *Journal of Great Lakes Research*, 47(4), 1219–1227. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2021.04.012>
- Zobkov, M., & Esiukova, E. (2017). Microplastics in Baltic bottom sediments: quantification procedures and first results. *Marine Pollution Bulletin*, 114(2), 724–732. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.060>
- Zwollo, P., Quddos, F., Bagdassarian, C., Seeley, M. E., Hale, R. C., & Abderhalden, L. (2021). Polystyrene microplastics reduce abundance of developing B cells in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) primary cultures. *Fish & Shellfish Immunology*, 114(April), 102–111. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.04.014>

ANEXOS

ANEXO 1. Toma de muestras.



Figura 13. Muestreo por arrastre con red de plancton.



Figura 14. Conservación y traslado de muestras.

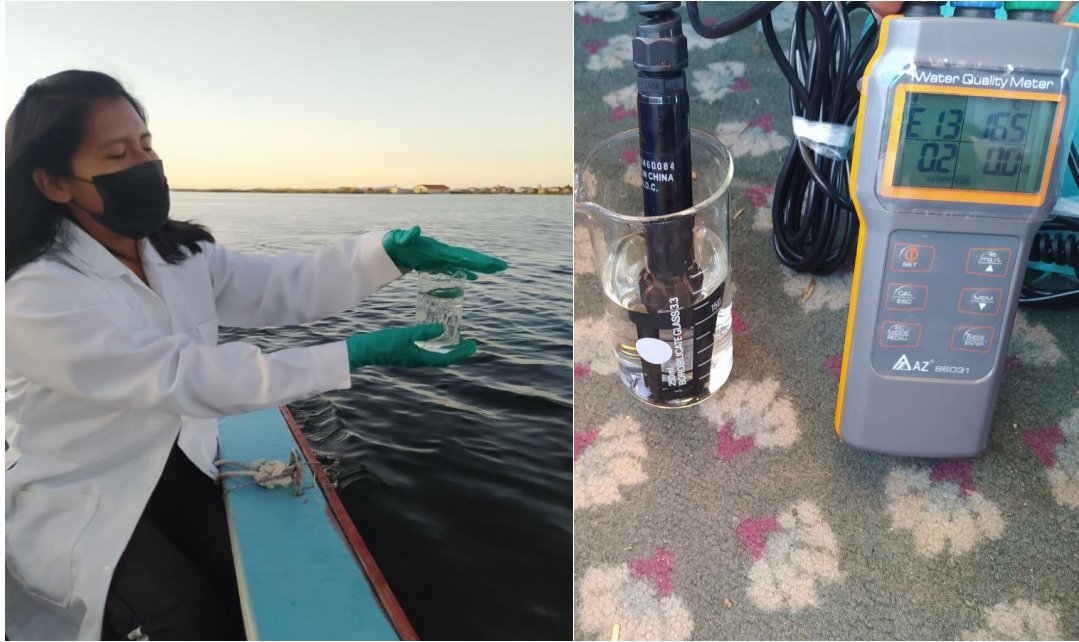


Figura 15. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos en las islas flotantes de los Uros.



Figura 16. Piscigranjas en las islas flotantes de los Uros.



Figura 17. Evidencia de contaminación por plásticos en las islas flotantes de los Uros.

ANEXO 2. Preparación de muestras de agua y trucha.



Figura 18. Tamizado de agua y preparación de reactivo.



Figura 19. Digestión de muestras con peróxido de hidrógeno al 30%.



Figura 20. Preparación de TGI de Trucha Arcoíris.



Figura 21. Digestión de TGI, se evidencia el cambio de color en el tiempo.

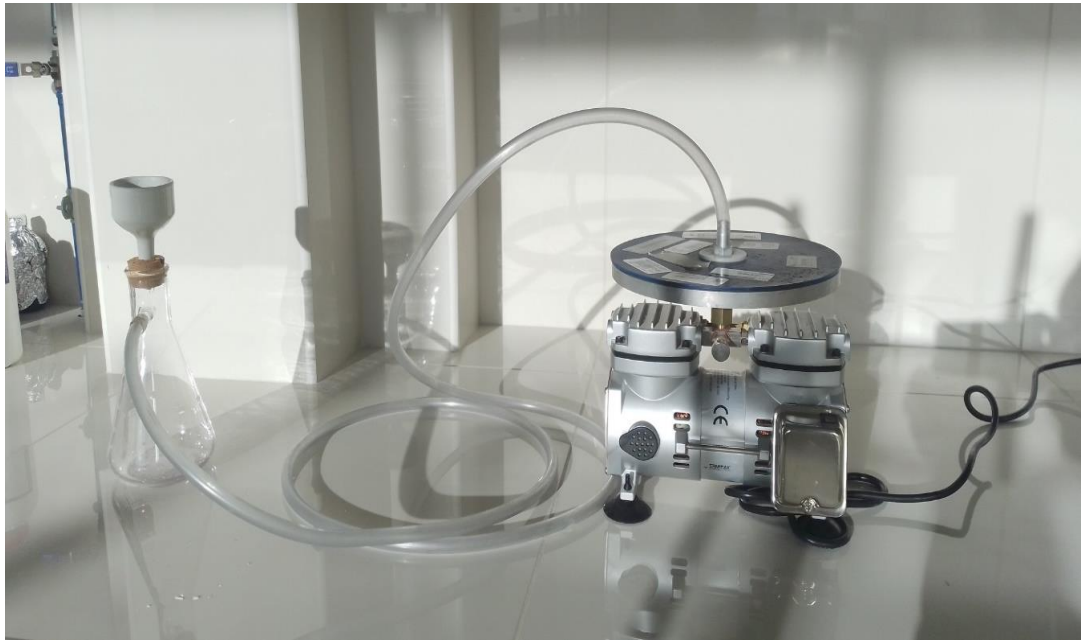


Figura 22. Equipo de filtración en el laboratorio de residuos sólidos, UNAJ.



Figura 23. Proceso de filtrado y almacén de muestra.

ANEXO 3. Análisis de muestras.



Figura 24. Observación de forma y color de las muestras en el laboratorio de residuos sólidos, UNAJ.

ANEXO 4. Partículas identificadas.

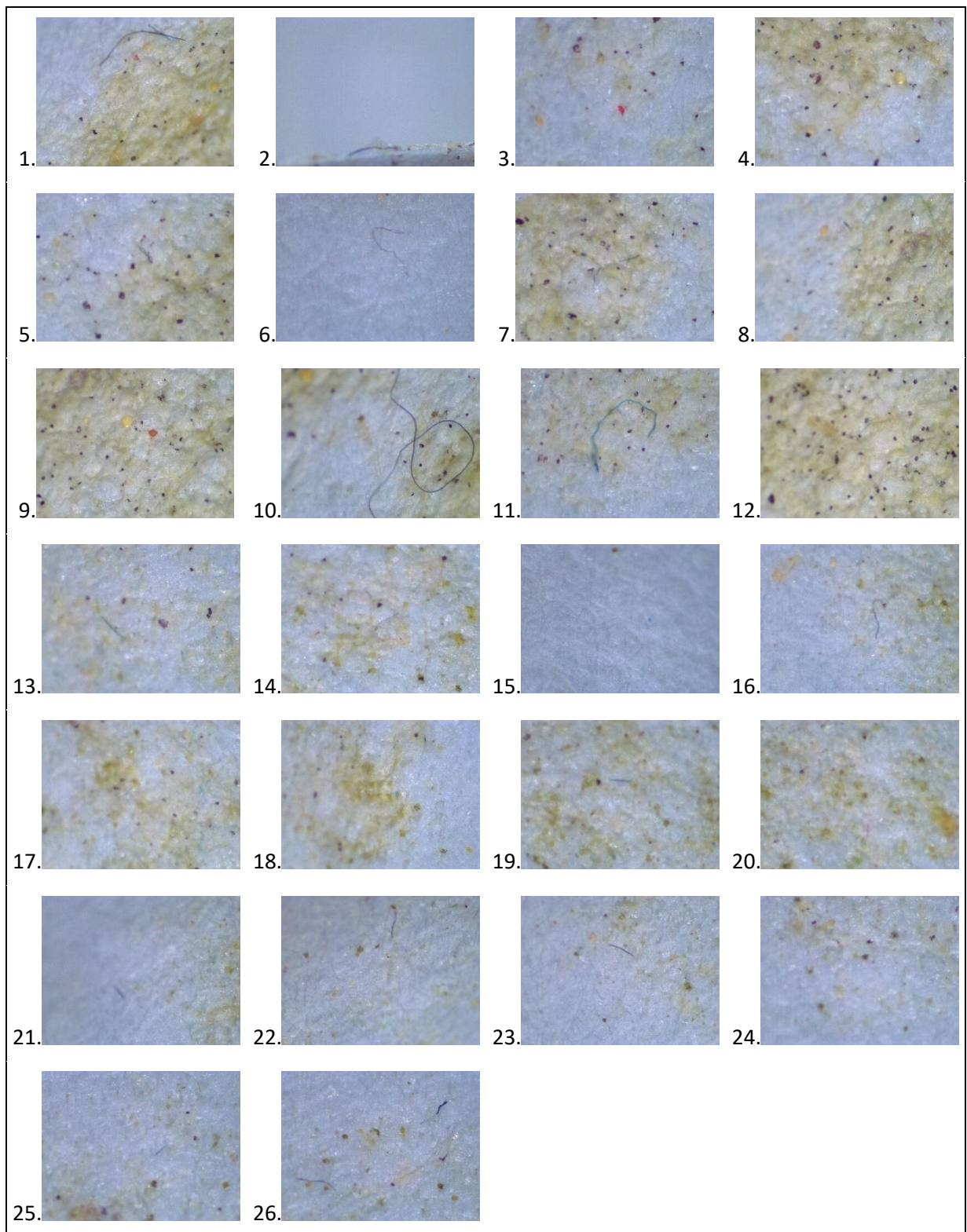
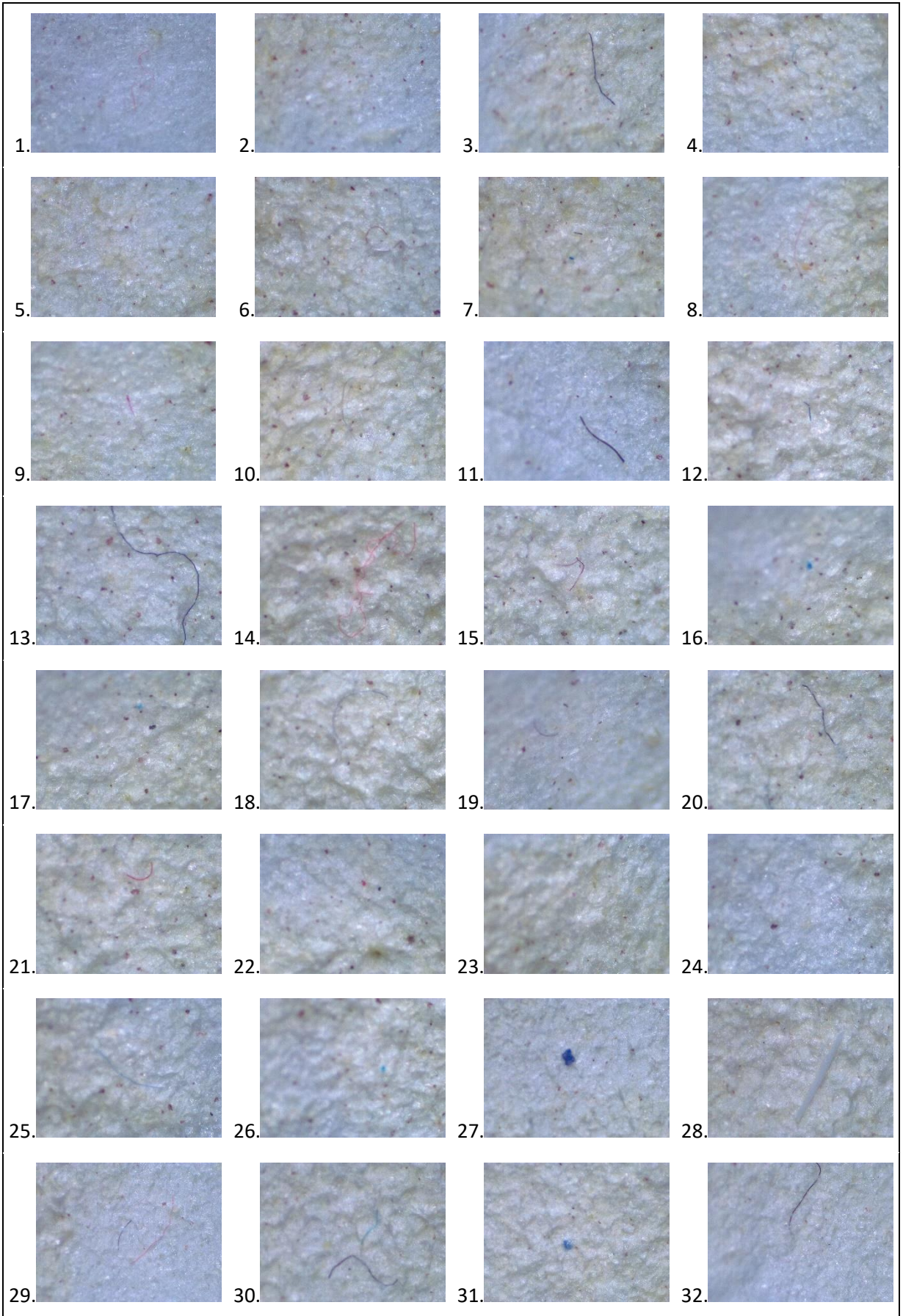


Figura 25. Partículas identificadas en el punto 1, en agua.



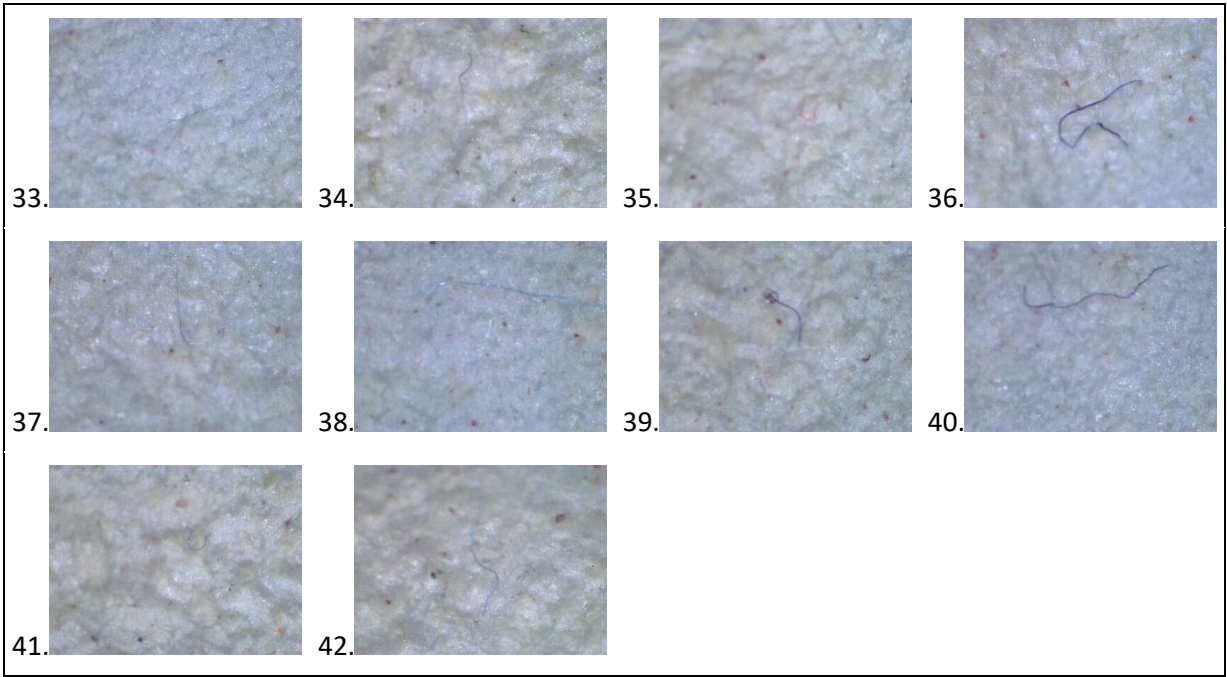
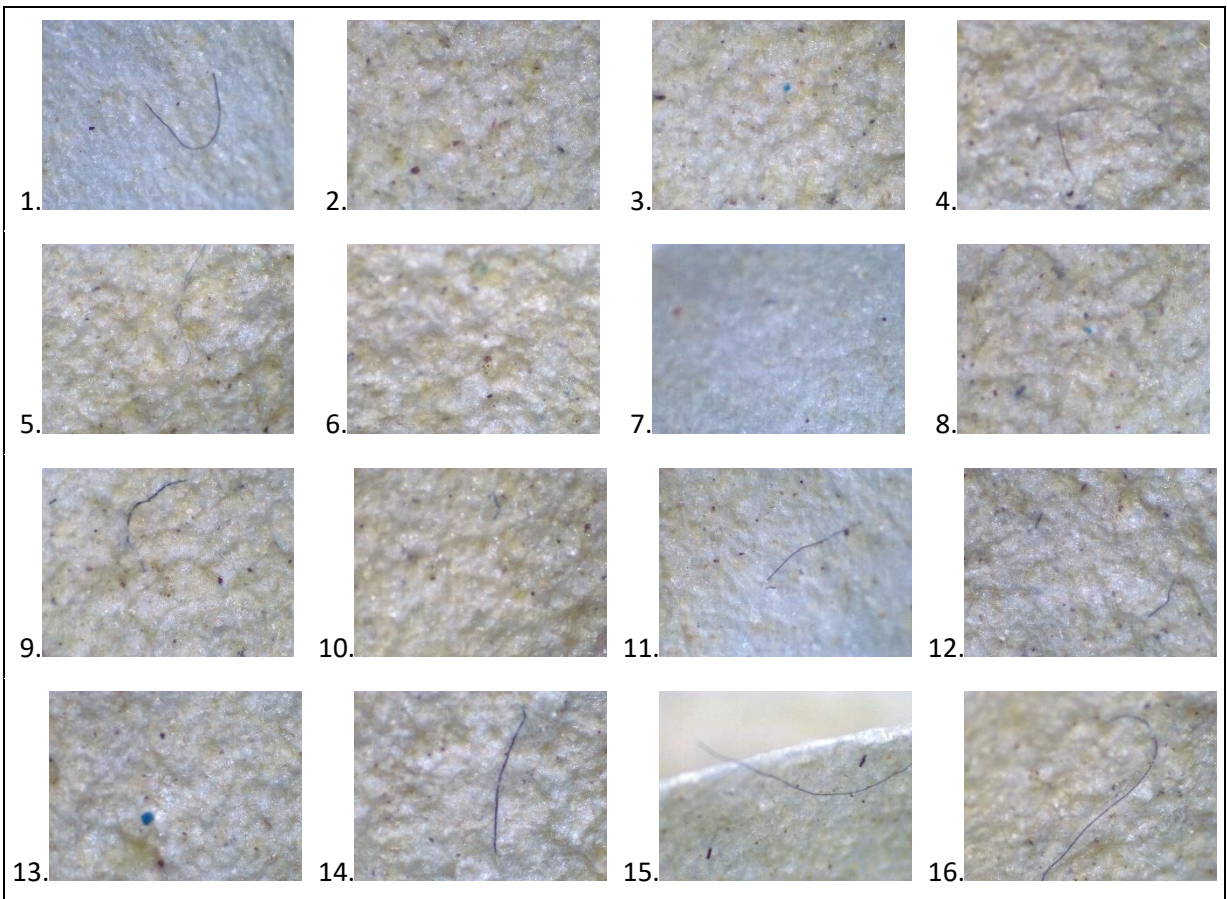
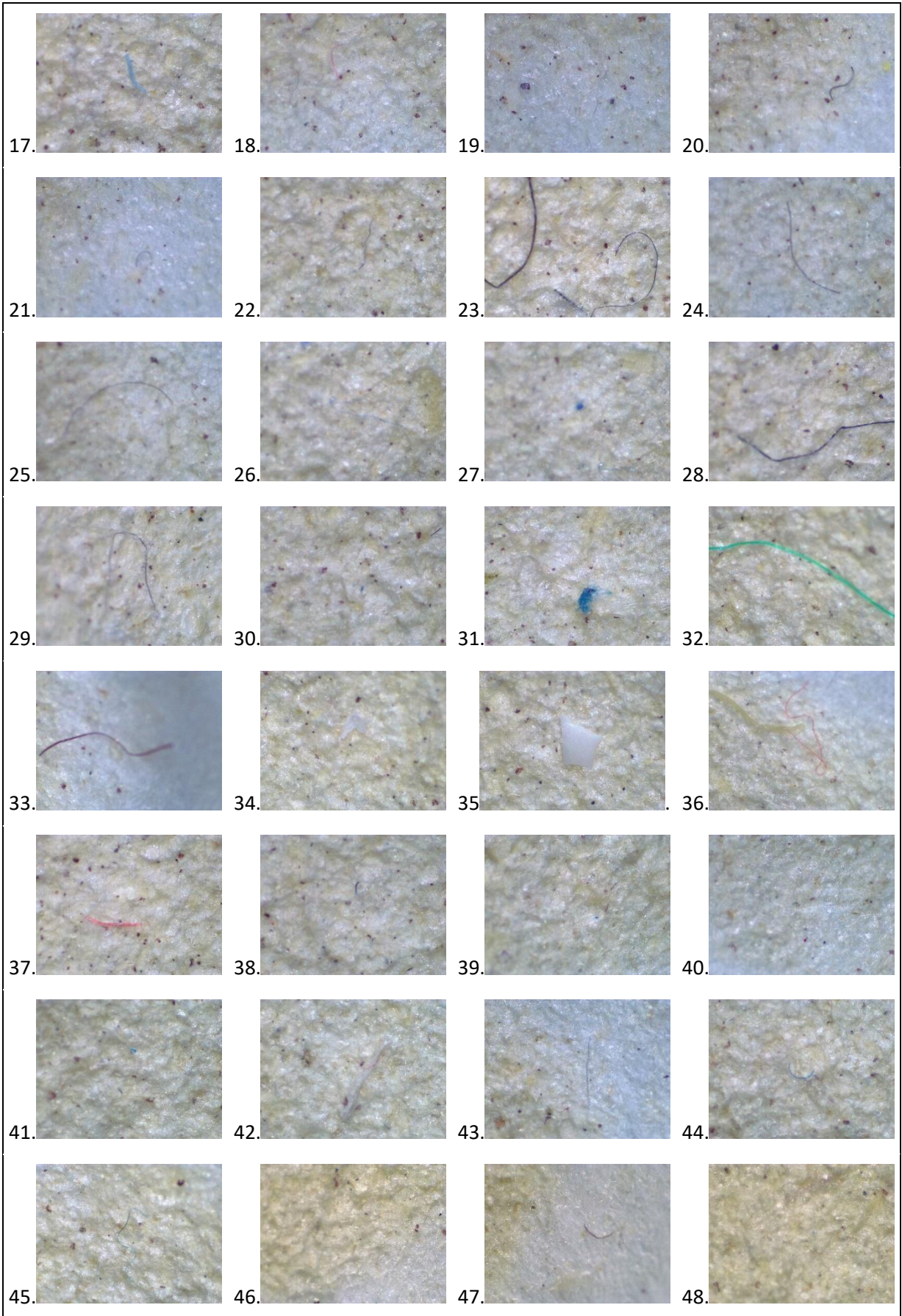


Figura 26. Partículas identificadas en el punto 2, en agua.





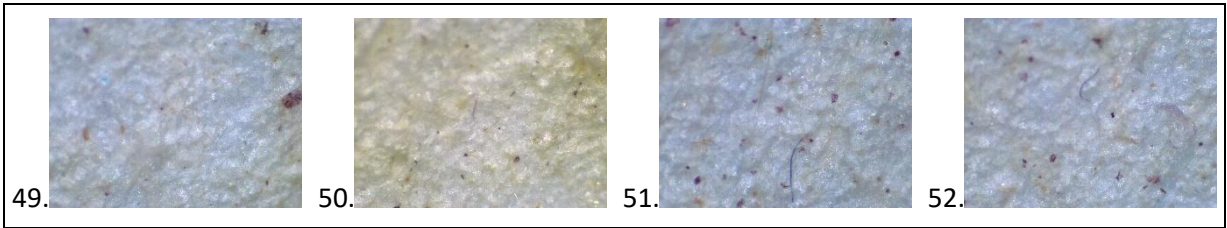


Figura 27. Particulas identificadas en el punto 3, en agua.

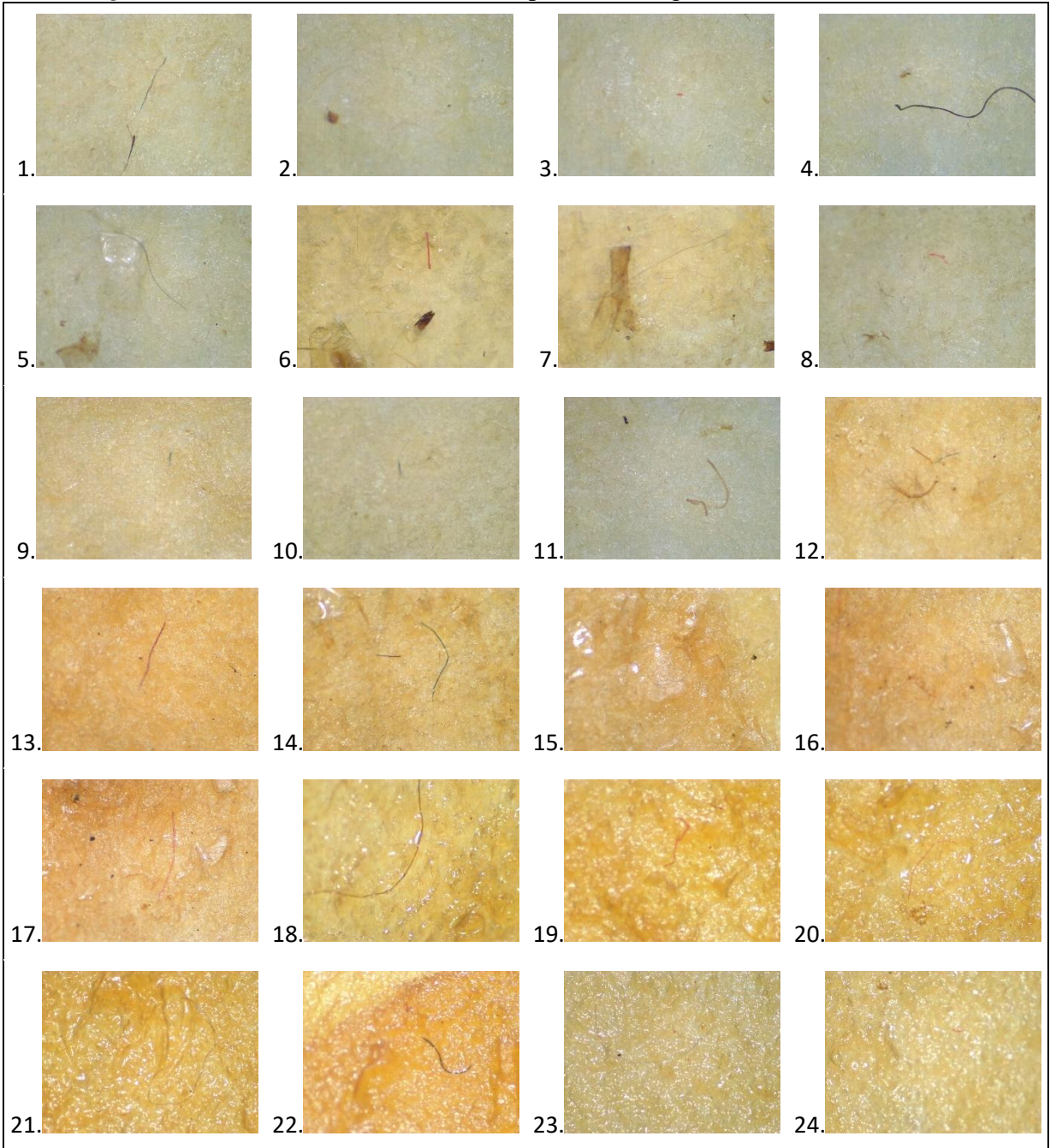


Figura 28. Particulas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 1.

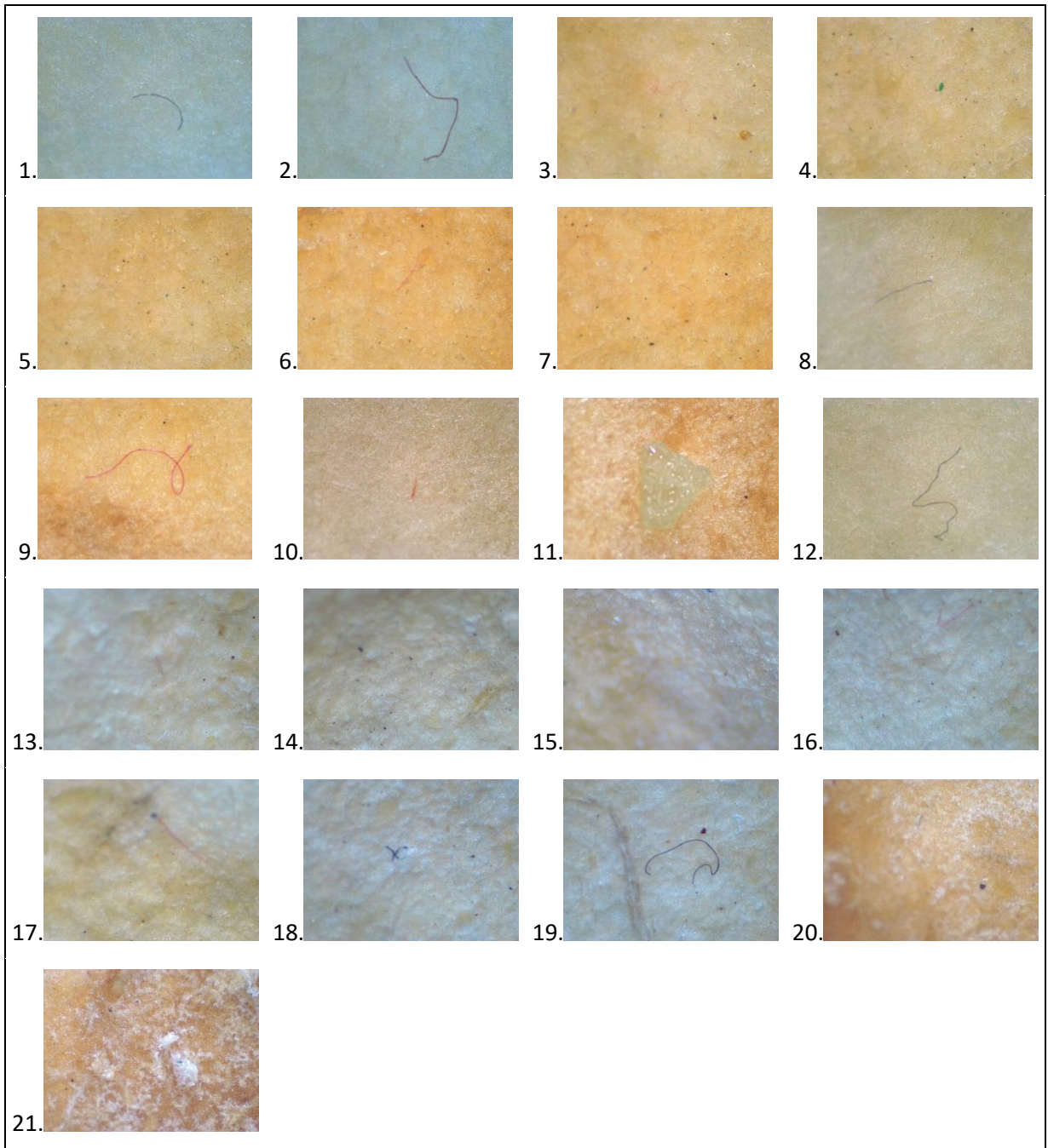


Figura 29. Partículas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 2.

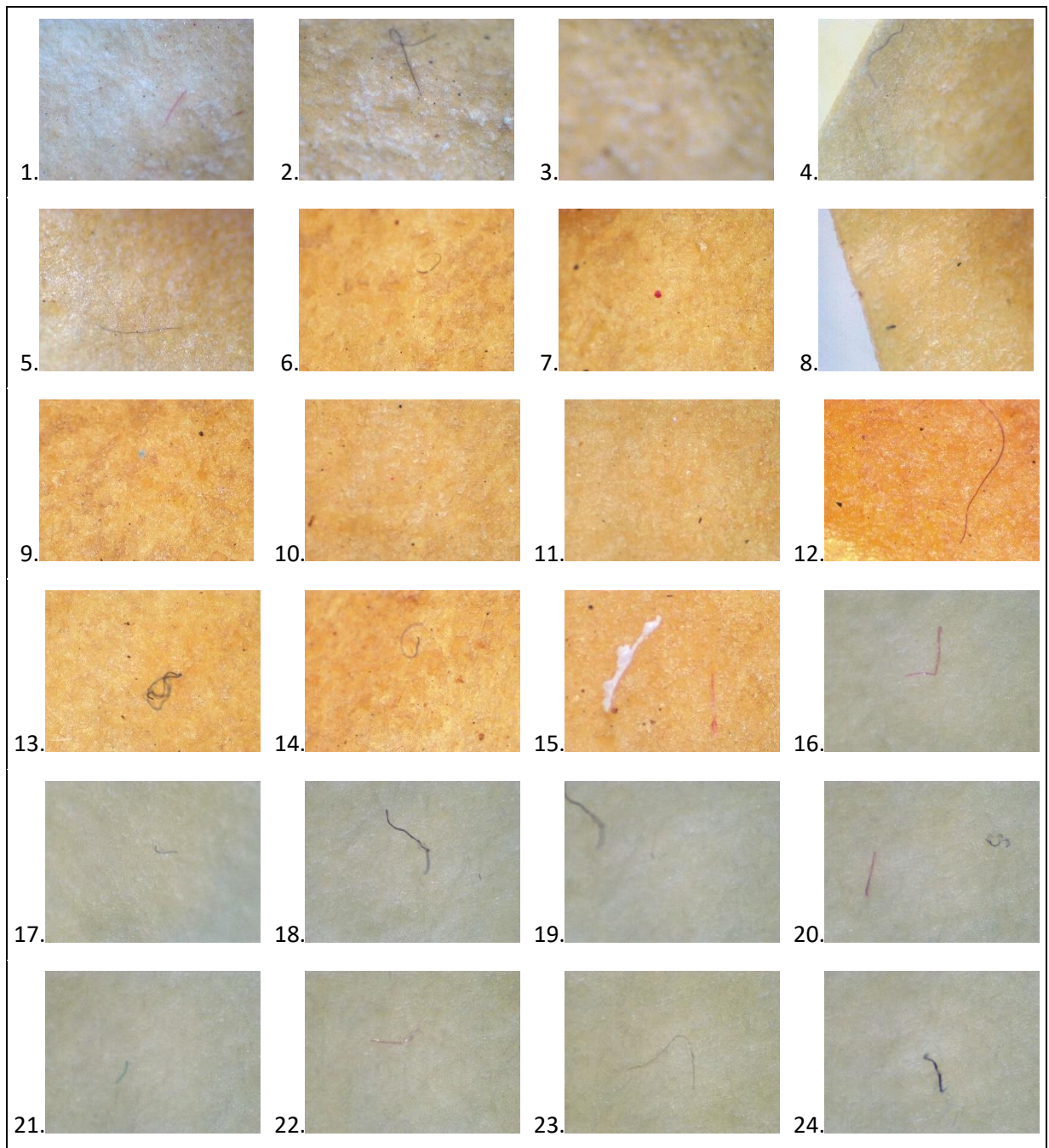


Figura 30. Partículas identificadas en Trucha Arcoíris en el punto 3.

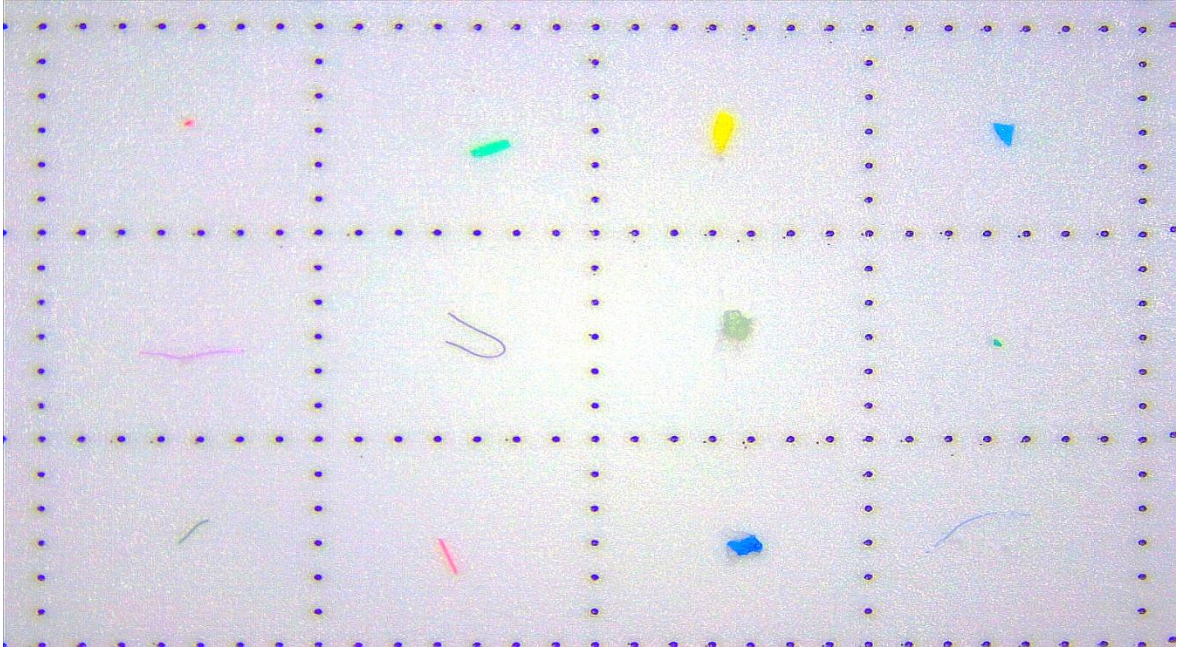


Figura 31. Partículas analizadas con Raman.

ANEXO 5. Informe técnico del análisis de laboratorio.



CAM-JUL-033/2023

INFORME TÉCNICO

Número Total de Páginas: 9

SOLICITADO POR : FLOR DIGNA ESPETIA TURPO
MUESTRA : 7
REALIZADO POR : MSc. Miguel Piñeiro Sales.
FECHA DE EMISIÓN: 20.07.2023.



I. **INTRODUCCIÓN**

A pedido del solicitante se ha realizado el análisis de 7 muestras por espectroscopia μ Raman con la finalidad de identificar las frecuencias vibracionales características de los enlaces o moléculas presentes en la muestra, en este caso, permitiendo identificar materiales orgánicos. Las muestras se clasificaron en un grupo A para facilitar la identificación de cada muestra. El solicitante indica que las muestras podrían ser microplásticos.

II. **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

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



III. RESULTADOS

La figura 1 presenta una fotografía de las 7 muestras del **Grupo A** utilizadas para las medidas de espectroscopia μ Raman. Para una fácil identificación de las muestras se procedió a distribuir las en una matriz de 4x4, de las cuales algunos son microplásticos procedentes de agua y otros de Trucha Arcoíris, según indica el solicitante. Las **figuras 2-8** presentan los espectros de corrimiento Raman para cada muestra cuando ha sido posible identificarlos. El eje vertical representa la intensidad Raman normalizada, mientras que el eje horizontal representa el corrimiento Raman en cm^{-1} . Además, es importante señalar que esta técnica tiene resolución espacial por lo que se midieron diferentes zonas para intentar revelar bandas características de algún compuesto adicional.

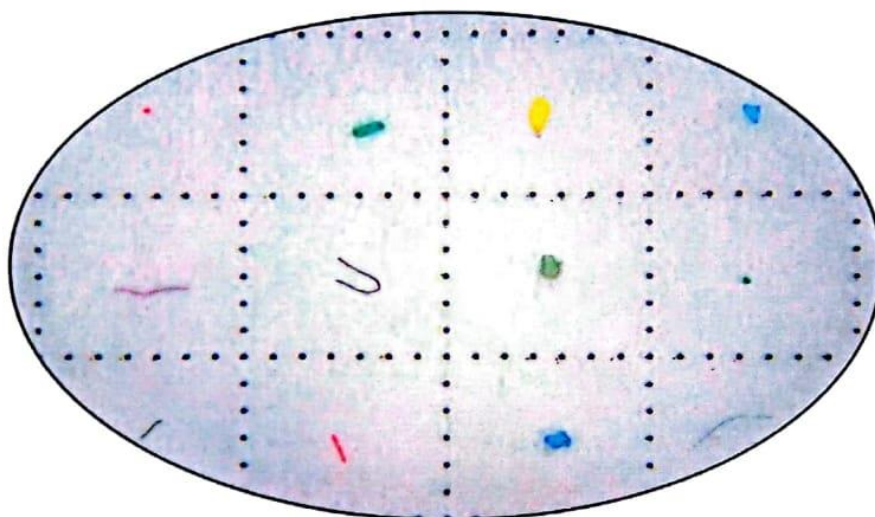


Figura 1. Imagen de las 7 muestras del Grupo A analizadas por μ Raman.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

Jorge
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe

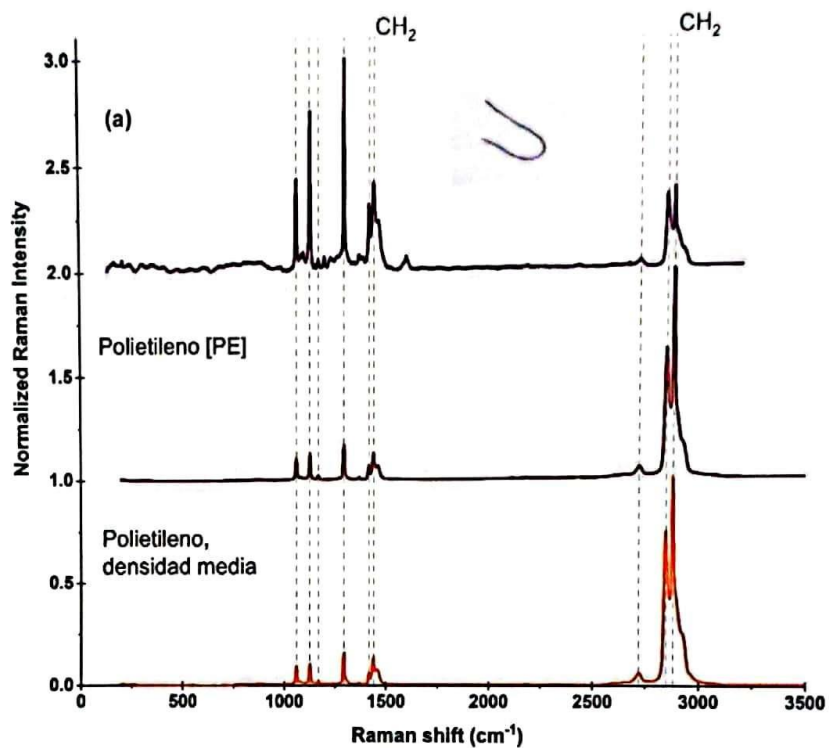


Figura 2. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra a), correspondiente a agua. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

Jorge
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



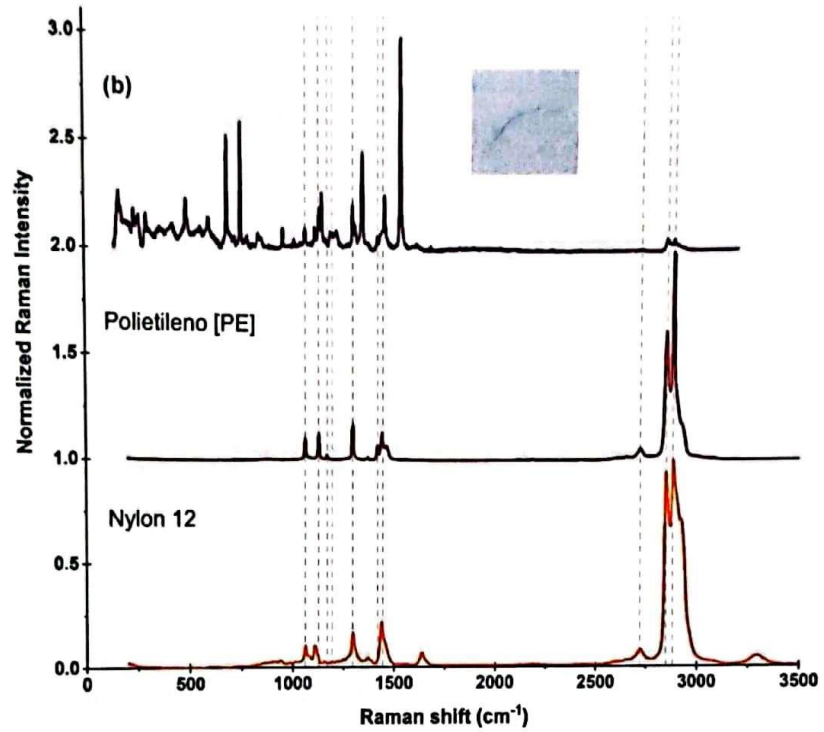


Figura 3. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra b), correspondiente a agua. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como nylon.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

J. Guerra
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



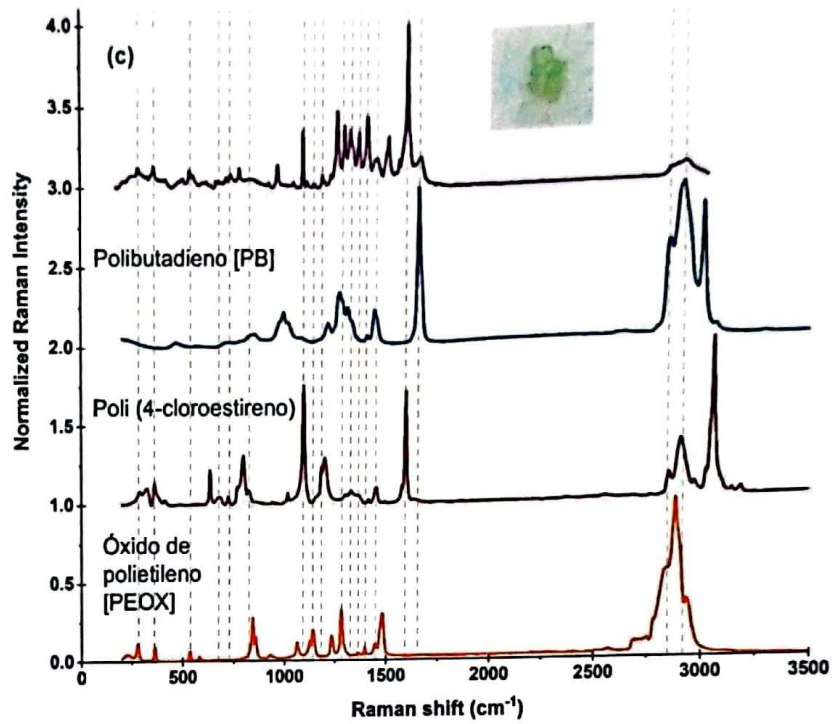


Figura 4. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra c), correspondiente a agua. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polibutadieno.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

JAGT
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



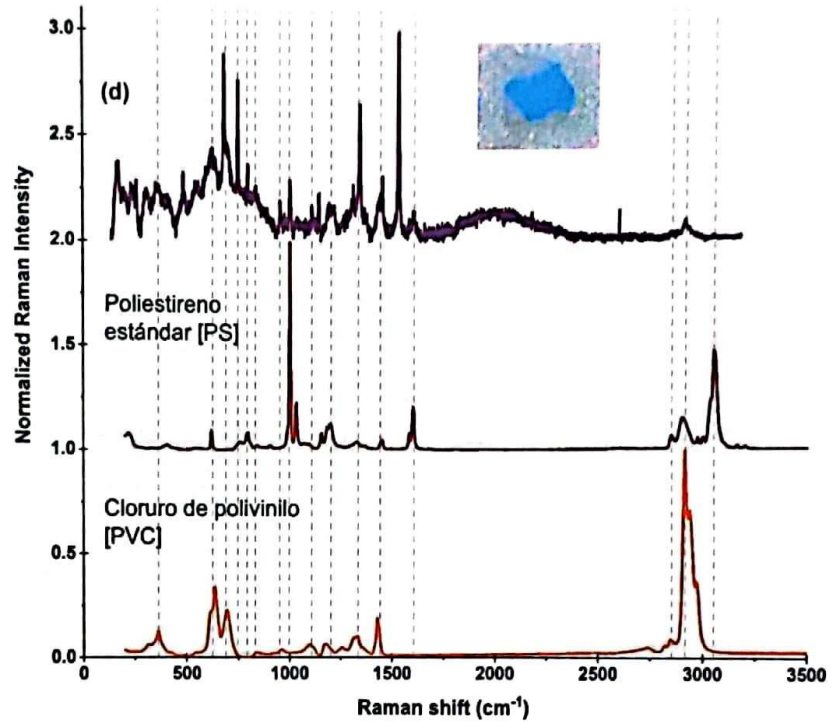


Figura 5. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra d), correspondiente a agua. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como poliestireno.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

JAGT
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



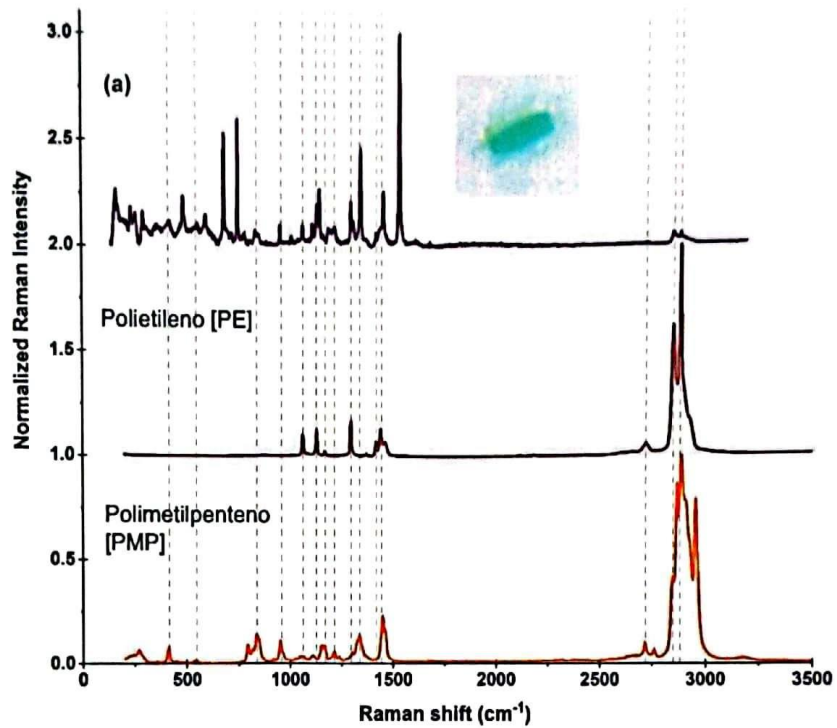


Figura 6. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra a), correspondiente a trucha. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales:

Jorge
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



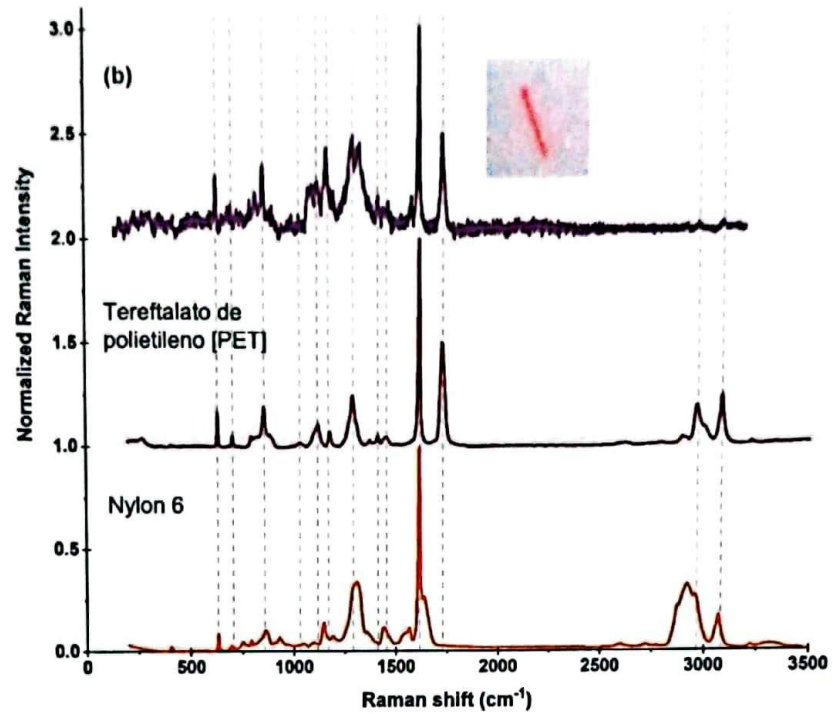


Figura 7. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra b), correspondiente a trucha. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como nylon.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

Jorge
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



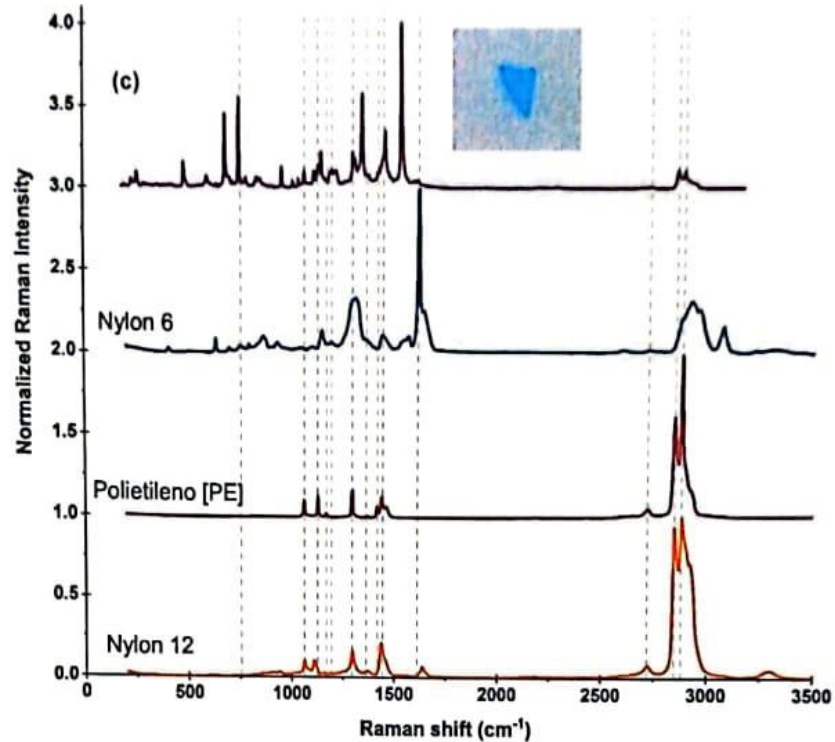


Figura 8. Espectros de corrimiento μ Raman de la muestra c), correspondiente a trucha. Adicionalmente, se indican los espectros de referencia como polietileno.

IV. CONCLUSIONES

Se midieron los espectros de corrimiento Raman con resolución micrométrica de 7 muestras. Al analizar las diferentes muestras se logró observar las bandas vibracionales características de los enlaces CH₂ en 1440 cm^{-1} y en 2880 cm^{-1} para el polietileno. Usando la librería de polímeros, se identificaron como potenciales candidatos de polímeros al polietileno, poliestireno y nylon.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Centro de Caracterización de Materiales

Jorge
Dr. Jorge Andrés Guerra Torres
Jefe



ANEXO 6. ECAs de agua.

Categoría 4. Conservación del ambiente acuático.

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃ ⁻) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₄)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003

PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

ANEXO 7. Análisis fisicoquímico del agua de las islas flotantes de los Uros.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE-055



Registro N° LE-055

INFORME DE ENSAYOS N° 1692-2024
PÁGINA 1 DE 2

SOLICITANTE : FLOR DIGNA ESPETIA TURPO
DIRECCIÓN : JR. SUCRE 1005, JULIACA, SAN ROMÁN, PUNO
PRODUCTO DECLARADO : AGUA SUPERFICIAL DE LAGO
DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO : Líquido transparente.
CODIFICACIÓN / MARCA : Los Uros.
DATOS DECLARADOS POR EL CLIENTE : 26/03/2024 13:00 Procedencia: Los Uros / Puno / Puno - Este: 395740, Norte: 8251494.
TAMAÑO DE MUESTRA RECIBIDA : 01 muestra de 4300 mL aprox. Compuesta por 02 envase PE de 1000 mL c/u para análisis MB y 01 envase vidrio de 1000 mL, 02 envases PE de 500 mL c/u, 03 envases PE de 100 mL c/u para análisis FQ.
PRESENTACIÓN, ESTADO Y CONDICIÓN : En envases de vidrio y polietileno cerrados etiquetados. En contenedor isotérmico a una temperatura de 5.6°C.
CONDICIONES DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA : Recibida en el Laboratorio (Envases Proporcionados)
CONTRAMUESTRA Y PERIODO DE CUSTODIA : Ninguna (por ser muestra única)
FECHA PRODUCCIÓN : No especificada
FECHA DE VENCIMIENTO : No especificada
CONTRATO N° : 0600-2024
FECHA DE RECEPCIÓN : 27/03/2024

CONDICIONES DE USO DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS:

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la Muestra analizada / el Lote muestreado , según sea el caso.
- No deben inferirse a la Muestra analizada o al Lote muestreado otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente (Muestra recibida en laboratorio), BHIOS LABORATORIOS no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas, los resultados se aplican a la muestra tal como se recibió.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por BHIOS LABORATORIOS , la presentación, estado y condición del lote corresponden a las encontradas al momento del muestreo.
- Los datos declarados por el cliente son consignados a solicitud expresa del mismo cliente y no son necesariamente verificados por el Laboratorio, por lo que BHIOS LABORATORIOS no asume responsabilidad por el uso de los mismos.
- El Periodo de Custodia es dependiente del tipo de ensayo y de la disponibilidad de la Muestra.
- BHIOS LABORATORIOS no guarda contramuestras de productos perecibles o de productos cuyas características pudieran variar durante el almacenamiento.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad del productor. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial de este Informe de Ensayos sin el conocimiento y la autorización escrita de BHIOS LABORATORIOS.
- Cualquier modificación, borrón o enmienda, anula el presente Informe de Ensayos.

INFORME DE ENSAYOS N° 1692-2024
PÁGINA 2 DE 2

RESULTADOS

LAB	DETERMINACIÓN	AGUA SUPERFICIAL DE LAGO Los Uros.	UNIDADES
MB	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)**		
FQ	Color*	<2.0	mg/L
FQ	Elemento P*	<5	U de color
FQ	Aceites y Grasas*	<0.02	mg/L
FQ	Sulfuro (S ⁻²)	<1.3	mg/L
FQ	Cianuro WAD*	<0.05	mg/L
FQ	Nitrato (NO ₃)*	<0.01	mg/L
		0.41	mg/L

ABREVIATURAS:

mg/L : Miligramos por litro
U de color : Unidades de color

MÉTODOS UTILIZADOS :

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5210-B, Pág 5.2 a 5.7, 24th Ed. 2023. Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5 day BOD Test.

Color : Water Analysis Handbook HACH. Color True and Apparent. Method 8025: Platinum-Cobalt Standard Method. Pag 381. 4th Ed. Rev 2.

Elemento P : Water Analysis Handbook HACH. Phosphorus, Reactive (Orthophosphate). Method 8048. PhosVer 3 (Ascorbic Acid) Method. Pag 865. 4th Ed. Rev 2.

Aceites y Grasas : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 5520 B 24th Ed. 2023. OIL AND GREASE. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method (Modificado)

Sulfuro (S⁻²) : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 4500-S -2 F. 24th Ed. 2023. Sulfide. Iodometric Method.

Cianuro WAD : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WEF Part 4000 Method 4500-CN- J. Cyanide. Cyanogen Chloride. Colorimetric Method. 23rd Ed. 2017.

Nitrato (NO₃) : Water Analysis Handbook HACH. Nitrate. Method 8039: Cadmium Reduction Method. Pag.591. 4th Ed. Rev 2.

OBSERVACIONES :

* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA
**Estos métodos quedan fuera del alcance de la acreditación del INACAL-DA debido a las siguientes observaciones a la aptitud de la muestra al momento de la recepción (Autorizado y aceptado por el cliente):
LC: Límite de cuantificación del método.
Cualquier valor precedido por "<" indica menor al límite de cuantificación del método
Demanda Bioquímica de Oxígeno: Frasco de polietileno primer uso o vidrio limpio (Completamente lleno, sin burbujas), muestra recepcionada en envase con burbujas.
LD: Límite de detección del método.

FECHAS DE EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS : FQ 27/03/2024 al 05/04/2024

MB 27/03/2024 al 01/04/2024

FECHA DE EMISIÓN DEL PRESENTE INFORME DE ENSAYOS : 06/04/2024



Bigo. Miguel Valdívia Martínez
Gerente Técnico

Fin del Informe

ANEXO 8. Cadena de custodia



CAM-Adm.-1.02 Rev. 1

SOLICITANTE: Flor Digna Espetia Turpo
RUC: 71945262
Dirección: Jr. Suiza N°1013 - Juliaca
Contacto: e-mail: flor.espetia.turpo@gmail.com Teléfono: 92531412

Lima, 15 de Julio de 2023

Señores
CENTRO DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES - CAM
CAMPUCP
Presente-

Estimados Señores:

Les remito las siguientes muestras para el siguiente análisis:

Cantidad	Muestra	Análisis	Observaciones
2	plásticos	Análisis Raman	Para identificar tipo de compuesto

Ejemplo:


02	Plástico.	Análisis Raman.	Para identificar compuestos.
----	-----------	-----------------	------------------------------

Estoy de acuerdo con los análisis propuestos en la cotización remitida por el CAM:

Sí (todo)	Solo parcialmente (una parte)	Observaciones
X		

Atentamente,

Nombre: Flor Digna Espetia Turpo

Firma: 

Cargo: Tesista.



CADENA DE CUSTODIA MUESTREO DE AGUAS						
Cliente:	Flor Digna Espetia Turro					
Contacto:	92531412					
Lugar de muestreo:	Islas flotantes de los uros					
Tipo de muestra:		Puntual		Compuesto	X	
Muestreo realizado por:		Cliente	X	CAM		
ID de la muestra						
Fecha de muestreo	14-07-23					
Hora de muestreo	8:00 am					
Origen de la muestra	agua y trucha					
Suelo/Sedimento/Lodo						
Agua de mar						
Agua potable						
Agua subterránea						
Agua superficial	agua de las islas flotantes de los uros					
Agua servida						
Otro	trucha arcoiris					
Parámetro In Situ	Unidad					
ph	UpH					
Temperatura	°C					
Conductividad	uS/cm					
Cloro libre residual	mg/l					
Turbiedad	NTU					
Oxígeno disuelto	mg/l					
Envases y preservantes (marcar con una X el tipo de preservante y señalar la cantidad de cada tipo de envase)						
Indicar la cantidad de preservante señalando las gotas adicionadas por envase						
El pH laboratorio, no corresponde completar en terreno						
Tipo	Polietileno	Vidrio	Volumen de envase	Cantidad de envases	Cantidad de gotas	PH (laboratorio)
HCl						
HNO3						
HNO3 (filtrada)						
H2SO4						
AcZn + NaOH						
NaOH						
EDTA						
HCl + Ac. Ascórbico						
sin preservante		X	Placas Petri	2		Placa de Petri
Muestreado por	Flor Digna Espetia Turro					(nombre y firma)
Transporte de la muestra	Vía terrestre					
Salida de terreno	Fecha:	15-07-23	Hora:	11:00 am		
Observaciones	Placas de Petri, envueltas en papel aluminio, en cajita.					



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA