

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Determinación espacio temporal de partículas microplásticas en los embalses Frayle, Pañe y Aguada Blanca pertenecientes al sistema de trasvase Alto Colca - Chili

Tesis presentada por la Bachiller:

Dominguez Cueva, Dayana Milene

ORCID: 0009-0005-6554-5479

para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental

Asesor:

Dr. Jiménez Pacheco, Hugo Guillermo

ORCID: 0009-0001-5177-1126

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Diciembre del 2024

Dictamen: 010794-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 010794, presentado por:

2017100472 - DOMINGUEZ CUEVA DAYANA MILENE

Titulado:

**DETERMINACIÓN ESPACIO TEMPORAL DE PARTÍCULAS MICROPLÁSTICAS EN LOS EMBALSES
FRAYLE, PAÑE Y AGUADA BLANCA PERTENECIENTES AL SISTEMA DE TRASVASE ALTO COLCA
- CHILI**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

**46769238 - CHANOVE MANRIQUE ANDREA MARIETA
DICTAMINADOR**



**29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR**



**43238145 - BENEGAS LLANOS ROSARIO CAROLINA
DICTAMINADOR**



Determinación espacio temporal de partículas microplásticas en los embalses Frayle, Pañe y Aguada Blanca pertenecientes al sistema de trasvase Alto Colca - Chili

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
3	www.sunass.gob.pe Fuente de Internet	1%
4	documents.mx Fuente de Internet	1%
5	repositorio.udea.edu.co Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.minag.gob.pe Fuente de Internet	<1%
8	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP de la	<1%

DEDICATORIA

A Dios, mi roca eterna, por guiarme en cada paso y darme la fuerza para perseverar. Gracias por ser mi fuente de fortaleza y entendimiento en este logro académico.

A mi compañero de vida Kirvin, gracias por ser un pilar de fortaleza y un ejemplo para nuestros hijos. A mi amado Bastian, mi pequeño hijo eres mi mayor motivación para seguir superándome.

A mis queridos padres, este logro académico es un reflejo del incansable esfuerzo que han invertido para brindarme una educación sólida. Cada sacrificio que han hecho, cada día de trabajo duro y cada motivación hasta el día de hoy son el fundamento de mi éxito. Su dedicación y compromiso con mi educación son un regalo que valoro más allá de las palabras. ¡Este logro es de ustedes también!

Para mi hermano Gerson, gracias siempre fuiste mi inspiración y sostén. Esta tesis es el resultado de cada una de tus motivaciones.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a mis padres por haberme brindado la oportunidad de estudiar con la tranquilidad de saber que cuento con su respaldo y a mi pareja que ha supuesto un apoyo siempre que lo he necesitado.

A mi Asesor Dr. Hugo, extendiendo mi sincero agradecimiento por su orientación y apoyo constante.

Al ingeniero Alejandro, ingeniera Stephanie, pero sobre todo a la ingeniera Naysha por su guía con paciencia ha sido un honor y un privilegio aprender bajo su tutela. Por último, agradecer a la universidad Católica de Santa María que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título.



RESUMEN

Los microplásticos se consideran actualmente como contaminantes emergentes y han sido identificados en diversos ecosistemas, tanto urbanos como naturales, con una notable variabilidad espacio-temporal en su distribución. La contaminación por microplásticos ha aumentado de manera constante desde la gran producción de polímeros industriales iniciada en la década de 1950, acompañada por un uso intensivo de plásticos. Debido a la ubicuidad de los microplásticos, esta investigación evidencia la presencia de estos contaminantes en fuentes hídricas de relevancia, como los reservorios de agua, lo que sugiere un potencial riesgo de bioacumulación en este recurso vital. El estudio se enfocó en los embalses de El Paño, Aguada Blanca y El Frayle, en el departamento de Arequipa, con el objetivo de determinar la distribución de las partículas microplásticas presentes. Se abordaron la caracterización de parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses Chili-Colca Alto, la determinación de la ocurrencia de microplásticos en los reservorios de El Frayle, El Paño y Aguada Blanca, y la identificación de la estructura química de los microplásticos presentes en estos embalses. La metodología utilizada siguió las directrices del manual de la *American Public Health Association* (2023) y fue adaptada específicamente para el análisis de microplásticos separándolo en pre tratamiento, filtración, identificación y análisis estadístico de material microplástico presente. Los embalses El Paño, Aguada Blanca y El Frayle presentan los parámetros químicos como temperatura, pH, conductividad, Sólidos Totales Disueltos, dureza y alcalinidad dentro de la normativa de calidad de aguas – ECA, asimismo los resultados evidencian la presencia de microplásticos en los embalses, donde se identifica una diversidad de polímeros, predominando aquellos de tipo celulósico, seguidos de una cantidad significativa de tereftalato de polietileno (PET). Además, se observó una distribución homogénea en las características visuales de las partículas microplásticas, con una predominancia en tamaño del rango 0 – 0.5 mm seguido de 0.5 – 1 mm, en morfología se tiene en mayor proporción las partículas de tipo fibra y en color predomina el blanco seguido de amarillo, azul y negro. Además, se hizo un análisis de volumen total de polímero, el cual arroja que el embalse con más volumen de microplásticos por m³ es el embalse el Frayle. Esta investigación sienta un precedente para futuros estudios sobre contaminación por microplásticos y sus riesgos ambientales, tanto en los embalses de El Paño, Aguada Blanca y El Frayle, como en otras regiones con características similares.

Palabras clave: Microplástico, embalses, estructura química.

ABSTRACT

Microplastics are currently considered emerging pollutants and have been identified in various ecosystems, both urban and natural, with a notable spatio-temporal variability in their distribution. Microplastic pollution has steadily increased since the large-scale production of industrial polymers began in the 1950s, accompanied by intensive plastic use. Due to the ubiquity of microplastics, this research highlights their presence in significant water sources, such as reservoirs, suggesting a potential risk of bioaccumulation in this vital resource. The study focused on the El Pañe, Aguada Blanca, and El Frayle reservoirs in the Arequipa department, aiming to determine the distribution of the microplastic particles present. The research addressed the characterization of physicochemical parameters of the Chili-Colca Alto reservoir system, the determination of microplastic occurrence in the El Frayle, El Pañe, and Aguada Blanca reservoirs, and the identification of the chemical structure of the microplastics present in these reservoirs. The methodology followed the guidelines of the American Public Health Association (2023) and was specifically adapted for the analysis of microplastics, separating it into pre-treatment, filtration, identification, and statistical analysis of the microplastic material present. The results showed a diversity of polymers, with cellulose-type polymers predominating, followed by a significant amount of polyethylene terephthalate (PET). Additionally, a homogeneous distribution in the visual characteristics of the plastic particles was observed, and a similar chemical composition was found in all the samples analyzed. Furthermore, a total polymer volume analysis was conducted, which revealed that the reservoir with the highest volume of microplastics per m^3 was the El Frayle reservoir. This research sets a precedent for future studies on microplastic pollution and its environmental risks, both in the El Pañe, Aguada Blanca, and El Frayle reservoirs and in other regions with similar characteristics.

Keywords: Microplastics, reservoirs, chemical structure.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO I4

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA5

1.1. Problemática de la investigación5

1.2. Justificación7

1.2.1. Social7

1.2.2. Económica7

1.2.3. Ambiental8

1.3. Objetivos de la Investigación9

1.3.1. Objetivo General9

1.3.2. Objetivo Específicos9

1.4. Hipótesis9

1.4.1. Hipótesis de investigación9

1.4.2. Hipótesis nula10

1.4.3. Hipótesis alterna10

CAPÍTULO II.....11

2. FUNDAMENTO TEÓRICO12

2.1. Antecedentes de la investigación (Estado del arte)12

2.2. Marco teórico21

2.2.1. Plásticos21

2.2.2. Microplásticos24

2.2.3. Clasificación de microplásticos según su morfología (forma)25

2.2.4. Clasificación química de microplásticos según su composición química26

2.2.5. Subdivisión de microplásticos29

2.2.6. Cuenca del río Quilca - Chili30

2.2.7.	Bofedales.....	31
2.2.8.	Embalses.....	32
2.2.9.	Contaminación de agua por microplásticos.....	34
2.2.10.	Microscopia Infrarroja.....	39
2.3.	Marco legal.....	40
CAPITULO III		42
3.	METODOLOGÍA.....	43
3.1.	Tipo y nivel de investigación	43
3.2.	Diseño de la investigación.....	43
3.3.	Área de Estudio	44
3.3.2.	Ubicación del área de estudio.....	45
3.3.3.	Muestra.....	46
3.3.4.	Toma de muestras del Área de Estudio.....	47
3.3.5.	Coordenadas de toma de muestras de los puntos de monitoreo	47
3.4.	Métodos de Investigación.....	49
3.4.1.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses de Chili Colca Alto.....	49
3.4.2.	Determinación de la ocurrencia de los microplásticos en los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca.....	53
3.4.3.	Identificación de la estructura química de los micro plásticos de los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca.....	57
CAPÍTULO IV		59
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	60
4.1.	Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses de Chili Colca Alto	60
4.2.	Determinación de la ocurrencia de los microplásticos en los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca.....	62
4.3.	Identificar la estructura química de los micro plásticos de los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca.....	76
CAPÍTULO V:.....		86
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87

5.1. Conclusiones	87
5.2. Recomendaciones.....	88
REFERENCIAS	89
ANEXOS	99

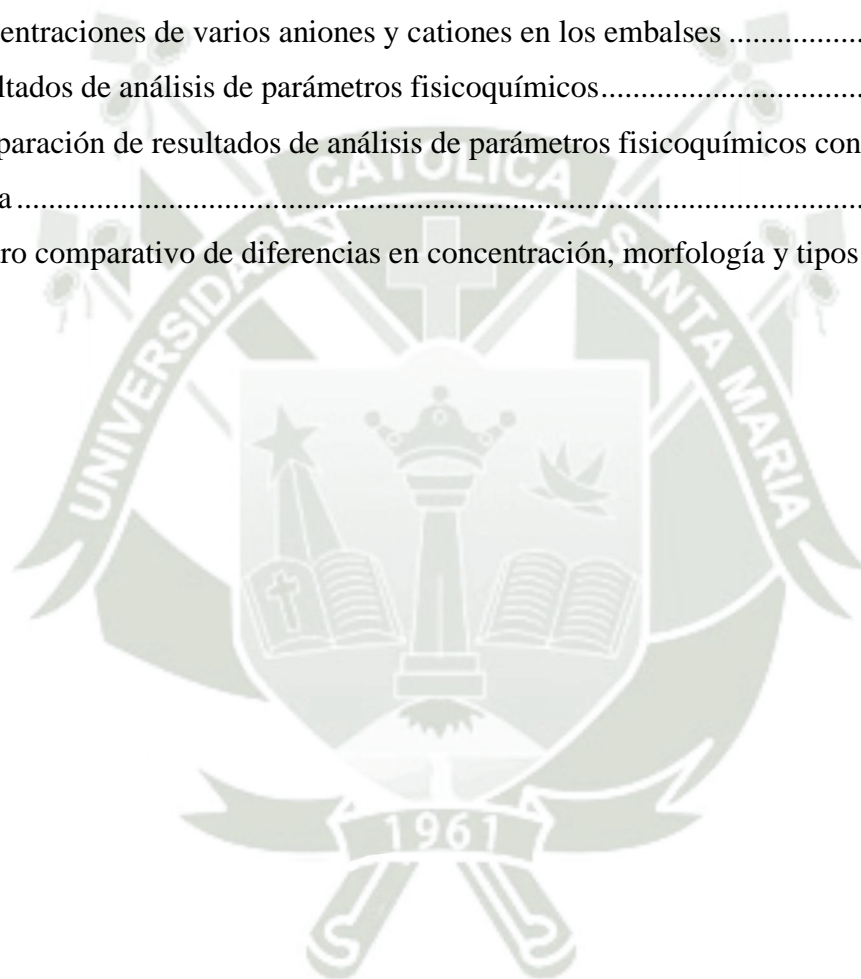


ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contaminación plástica.....	22
Figura 2. Tamaño de microplásticos	25
Figura 3. Efectos de la contaminación por microplásticos.....	39
Figura 4. Diagrama de Procesamiento y Análisis de Muestras.....	44
Figura 5. Mapa de Ubicación de puntos de monitoreo	44
Figura 6. Mapa de Ubicación del Área de Estudio	46
Figura 7. Eliminación de interferentes en muestras	55
Figura 8. Reducción de volumen de las muestras	55
Figura 9. Degradación de materia orgánica con peróxido de hidrogeno al 30 %	56
Figura 10. Filtrado de muestras con filtros de silicio para aislamiento de microplásticos	56
Figura 11. Conteo de microplásticos en Estereoscopio a diferentes objetivos de las estaciones de muestreo Pañe, Frayle y Aguada Blanca.....	63
Figura 12. Estructura molecular - Identidad química de microplásticos en embalses	64
Figura 13. Distribución de tipo de microplásticos	67
Figura 14. Distribución de volumen.....	69
Figura 15. Distribución de tamaño.....	70
Figura 16. Diagrama de caja de bigotes de distribución de tamaño de microplásticos presentes en embalses	71
Figura 17. Distribución de colores de microplásticos.....	72
Figura 18. Distribución de cantidad de microplásticos.....	74
Figura 19. Fibra del Pañe según SEM.....	81
Figura 20. Fibra Aguada Blanca según SEM.....	82
Figura 21. Fibra del Frayle según SEM	82
Figura 22. Identificación de microplásticos por FTIR – RAMAN	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro con características de materiales de plásticos que influyen en el comportamiento de sus micropartículas	22
Tabla 2. Categorías utilizadas para clasificar los microplásticos según su forma.....	26
Tabla 3. Codificación de cada Embalse	47
Tabla 4. Estación de monitoreo de cada Embalse	47
Tabla 5. Concentraciones de varios aniones y cationes en los embalses	51
Tabla 6. Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos.....	60
Tabla 7. Comparación de resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos con los ECAs de calidad de agua	61
Tabla 8. Cuadro comparativo de diferencias en concentración, morfología y tipos de polímeros	77



INTRODUCCIÓN

Uno de los contaminantes más emergentes en la actualidad son los plásticos estos se encuentran con más frecuencia en ambientes acuáticos debido a su durabilidad y prevalencia de uso en la sociedad dado que estos materiales son extremadamente versátiles debido a sus características de baja conductividad eléctrica y térmica, baja densidad, resistencia a la corrosión lo cual permite que estos materiales sirvan como barrera de oxígeno y agua, asimismo su bajo precio constituye a su fabricación, su uso tiene una amplia gama de aplicación desde su envasado de alimentos hasta aplicaciones tecnológicas y médicas. No obstante, lo que en la actualidad es un material revolucionario se ha convertido en un peligro ambiental global con una distribución tanto en ecosistemas marinos como en ecosistemas de agua dulce. Las circunstancias ambientales naturales, la dinámica de las corrientes oceánicas, los elementos naturales presentes en estos ecosistemas, la radiación solar, la abrasión degradan el plástico y fragmente gradualmente en partículas más pequeñas conocidas como microplásticos (Frias & Nash, 2019).

Los microplásticos son contaminantes emergentes en el medio acuático y tiene expansión en lagos ríos y embalses es cada vez mayor. Estas partículas pueden ser sólidas sintéticas o matriz de polímero, tienen una forma regular o irregular y tienen un tamaño que van desde 1 μm y 5mm tienen de origen primario o secundario de producción, que no son solubles en agua. Los microplásticos se desplazan llegando a los diferentes ecosistemas de agua dulce mediante el proceso de escorrentía, y por lluvia ácida en diversos colores, tamaños (< 5 mm) tipos y formas de polímeros, asimismo por descarga de aguas residuales (Guo *et al.*, 2021).

La producción de plásticos en todo el mundo alcanzó a un promedio de los 400,3 millones de toneladas en el año 2022, que representa un pequeño aumento en comparación con el año anterior. Los plásticos utilizados en la fabricación de textiles sintéticos, caucho sintético y aditivos plásticos deben tenerse en cuenta. Se conoce que una porción muy pequeña del plástico producido actualmente en el mundo se ha reciclado. La mayor parte del plástico ha acabado en vertederos, vertederos a cielo abierto y en el entorno natural. Parte de este plástico ingresa a cuerpos de agua como ríos, lagos y océanos. Si los actuales estándares de gestión de manejo de desechos y consumo no se modifican, se prevé que para el futuro del año 2050 habrá alrededor de 12 mil millones de toneladas métricas de desperdicio plástico presentes en el medio ambiente (*Water Pollution by*

Plastics and Microplastics WV, 2022).

Se estima en promedio que un 80 % de la contaminación por microplásticos marinos es causada por derivarse de fuentes naturales. Además, se evalúa que los ríos transportan entre 1,15 y 2,42 millones de toneladas de desechos plásticos al océano cada año, lo que contribuye directamente a la contaminación plástica de origen humano desde las tierras hasta los océanos (Watkins *et al.*, 2019). En cuanto a sistemas globales de barreras artificiales en las que se encuentran las presas y embalses, estos sistemas de agua dulce interceptan un 65 % de residuos plásticos antes de la llegada a océanos por ello están expuestos a ejercer factores clave para el transporte de microplásticos o sumideros para microplásticos (Lebreton *et al.*, 2017). El comportamiento de contaminantes como los microplásticos se acumulan en las represas, considerándolos contaminantes emergentes. De tal manera que los efectos de microplásticos en la contaminación fluvial pueden ser alarmantes para el medio ambiente y para la salud humana, debido a que los embalses son fuente receptora en los que están expuestos al ingreso de estas micropartículas altamente contaminantes (Correa *et al.*, 2020).

Se han encontrado fragmento de partículas de plástico de menos de 5 mm, en vías fluviales en el mundo lo cual son motivo de alerta (Watkins *et al.*, 2019). Los microplásticos son una amenaza a la salud biológica y comunidades microbianas a través de la ingesta del organismo mediante el proceso de la oxidación causando afecciones como; lesión nerviosa, lesión inmune, alteración endocrina y otros mecanismos, Asimismo, cuando las partículas microplásticas se acumulan en organismos acuáticos se convierten en un mecanismo para introducir toxinas en la red alimentaria (F. Wang *et al.*, 2018) Además la existencia de microplásticos en el medio ambiente bajo algunas condiciones ambientales e interacciones entre los contaminantes orgánicos persistentes y los microplásticos tienen un efecto adverso en los diferentes organismos (Mao *et al.*, 2022).

Los sistemas de agua dulce lenticos en el cual se encuentran los embalses tienden a ser más sensibles a modificaciones antrópicas (Delos *et al.*, 2024). Por ello se llevó a cabo una evaluación de la calidad del agua que se usa ampliamente, basada directamente en análisis fisicoquímicos y luego en métodos biológicos, principalmente cuando la contaminación del agua es a causa de un problema biológico la mayoría de investigaciones dependen principalmente de parámetros físico-

químicos para poder evaluar la calidad de agua que reflejan las características instantáneas que se encuentra el agua como resultados puntuales en la dimensión cronológica (García-Huamán *et al.*, 2019).

Las represas fragmentan a los ríos ofreciendo a la sociedad variedad de beneficios sin embargo tienen efectos multinivel en todo sistema acuático; como resultado los embalses pueden ser un espacio de área altamente potencial para la acumulación de microplásticos (Di & Wang, 2018).

La preservación de la calidad de agua en los embalses El Pañe, El Frayle y Aguada blanca es muy importante para la población Arequipeña por su rol importante que son la fuente de abastecimiento para los usos de la población, la minería, la industria y la energía. El sistema Regulado del Chili está formado por siete embalses cuya función es reglar el recurso hídrico destacando al embalse de Aguada Blanca que es el regulador de todas las descargas del Sistema Colca Chili Alto (Alex Bellido Huicho & Garcia Zuñiga, 2019).

En el presente trabajo de investigación se realizó recolección de muestras en los 3 embalses El Frayle, El Pañe y Aguada Blanca tomando en cada embalse una muestra con una metodología adaptada de la Red Fitoplacton las muestras fueron llevadas al laboratorio INNOVERGY para su evaluación mediante técnica invasiva como lo es la cromatografía de ionica, finalmente se llevó a cabo un análisis observacional de microscopia infrarroja en la cual desarrolló cuantificación e identificación simultánea de fibras de polímeros microplásticos mediante Microscopia infra-FTIR para determinar la composición polimérica y el espacio temporal de partículas microplásticos en dichos embalses. La finalidad de este trabajo de investigación es desarrollar un método analítico para la identificación y cuantificación mediante microscopia infrarroja FTIR, asimismo mediante la metodología SEM se confirmará el tamaño de fibra que los microplásticos presenten.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problemática de la investigación

La contaminación por micro plásticos es causada por la producción y el consumo masivo de plásticos que generan desechos lo que ha repercutido a la contaminación del medio ambiente en especial al recurso hídrico a nivel mundial (Zhang *et al.*, 2017). En el 2019 la producción de plástico mundial se estimó alrededor de 368 millones de toneladas, es probable que continúe creciendo en el futuro (Adomat & Grischek, 2021), esto es extremadamente dañino para el medio ambiente debido que los desechos plásticos son incorrectamente descartados por su complejidad y por su baja tasa de degradación estos permanecen en el medio ambiente y pueden alcanzar a estar presentes en los reservorios continentales terminando en sistemas marinos y de agua superficiales debido a que los micro plásticos se pueden transportar miles de kilómetros por medio aéreo debido a su tamaño y densidad (Campanale *et al.*, 2020), se reconoce a estos contaminantes a nivel mundial como amenazas nocivas y ubicuas para cuerpos de agua afectando así el comportamiento de especies acuáticas en cuerpos de agua (Tsering *et al.*, 2021), puesto que se realiza transferencia trófica de micro plásticos en cuerpos de agua, además los riesgos que poseen los microplásticos debido a su presencia en diversos ecosistemas y fuentes de alimentos, traen consigo efectos potenciales sobre la salud humana que aún no se comprenden completamente, pero los estudios sugieren que la ingestión o inhalación de estos microplásticos tienen consecuencias negativas (Helinski *et al.*, 2021).

América Latina muestra, según revisiones científicas, el impacto ambiental que tienen los micro plásticos en la biota dado que la contaminación por presencia de estas micropartículas desde el año 2019 se ha incrementado de sobre manera por la exacerbación del consumo de plástico de un solo uso (Patterson *et al.*, 2019). Este consumo acelerado se ha incrementado desde la pandemia COVID-19 el mismo que ha normalizado el uso de protección personal desechables deteniendo el progreso de varias medidas regulatorias (Maharana *et al.*, 2020). Se sabe que a partir de marzo del 2020 se generaron aproximadamente de 1,6 millones de toneladas diarias de residuos plásticos a nivel mundial, asimismo se desechan diariamente 3.400 millones de mascarillas desechables (Liu *et al.*, 2021). Estas alteraciones en los hábitos de consumo han incrementado la presión sobre sistemas para la gestión de desechos particularmente en países que poseen con una infraestructura inadecuada de eliminación de residuos y saneamiento (Orona, 2022).

En el Perú, es importante señalar que son alrededor de 33.72 millones de habitantes, el hombre en la actualidad ha hecho del plástico un material muy común e indispensable, llegando a ser uno de los materiales más producidos por el hombre. Es por ello que existen varias empresas locales de alimentos que ofrecen muchos materiales de un solo uso de espuma de poliestireno, como utensilios que se utilizan para el servicio de la mesa (vasos platos, cubiertos y cajas) (De-la-Torre *et al.*, 2020). Estos micro plásticos son arrastrados principalmente por los vientos y corrientes terrestres específicamente la Corriente Costera del Perú (PCC) es una corriente superficial impulsada por el viento que fluye hacia el norte de la costa peruana por lo cual se menciona que hay un transporte aéreo de contaminantes micro plásticos (De la Torre,2019).

A nivel regional Arequipa desecha 2 millones de bolsas de plástico cada semana. Los residuos plásticos generados son vertidos principalmente al río Chili (Bautista,2021), estos desechos se fragmentan debido principalmente a la meteorización y fotolisis lo que produce micro plásticos que poseen un tamaño de 5 mm (Torres, 2021), los cuales son ingeridos por animales de medio acuático como mariscos o peces debido a que los microplásticos son de fácil acceso para el consumo de dichos organismos. Asimismo, la presencia de micro plásticos en el río Chili impacta de manera potencial la flora y fauna del río Chili. Tanto el río Chili como los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca, desempeñan un rol importante el cual es riego a la mayoría de los cultivos agrícolas que son para el consumo de los pobladores Arequipeños (Vargas, 2022).

El presente estudio demuestra la relevancia de la identificación de microplásticos que tienen estos embalses de agua. Por lo cual, el objetivo de este proyecto contempla en determinar el estado espacio/tiempo de las partículas micro plásticas en los embalses Frayle, Pañe y Aguada Blanca pertenecientes a la cuenca colca- chili alto. Como resultado, se podría ejecutar una estimación más precisa del efecto negativo ambiental que poseen los microplásticos sobre los embalses. La información sobre la calidad del agua es fundamental para establecer pautas de gestión de recursos hídricos. La información disponible es necesaria para que las organizaciones y entidades privadas y públicas, promuevan estrategias apropiadas como planes de gestión; gestionar y promover medidas de protección hacia la población de riesgos ambientales futuros. La investigación actual aporta a seguir los objetivos establecidos en la Política Nacional del Ambiente para reducir el deterioro ambiental, con respecto al segundo eje político “Gestión integral de la calidad ambiental”,

en particular al actual al deterioro actual del agua, donde se afirma que se debe “promover el conocimiento tecnológico y científico con el fin de poseer precauciones para prevenir los efectos de la contaminación del agua, frente a la salud humana, ecosistemas y recursos naturales”(MINAM,2021).

1.2. Justificación

1.2.1. Social

Es fundamental comprender la calidad de agua de los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca y tener conocimiento si tiene presencia de algún contaminante micro plástico, de tal modo que se podrá determinar distribución de dicho contaminante, ya que los reservorios son de gran importancia para el abastecimiento de recurso hídrico a las poblaciones de Arequipa ya que albergan 116 hm³ de agua lo cual representa un 91.2% de su capacidad hidráulica que poseen (SUNASS,2018). Por otro lado la producción de energía hidroeléctrica está bajo la administración de EGASA, la misma que se encarga de la producción de la hidroeléctrica del sistema de Charcani el cual depende e involucra al caudal controlado en el embalse Aguada Blanca, la hidroeléctrica constituye un conjunto de 6 hidroeléctricas, destacando la central hidroeléctrica de Charcani V como la más importante , la cual abastece el sistema de energía a la población arequipeña brindando un potencia real de 135 MW correspondiente a Charcani (ANA, 2014), asimismo los reservorios proveen agua atendiendo todas las necesidades de la población Arequipeña tanto para sus actividades productivas y económicas como la ganadería y agricultura como para su consumo, la evaluación del espacio/tiempo de partículas microplasticas se podrá tener en conocimiento si existe la presencia de micro plásticos para poder evitar que la población se vea afecta de manera directa tantos en sus actividades económicas y en su consumo diario y poder tomar las medidas necesarias para mitigar el impacto de contaminación por micro plásticos en los 3 reservorios.

1.2.2. Económica

Es muy conveniente determinar el estado espacio/tiempo de partículas microplasticas para tener un mayor entendimiento acerca de cómo impacta la contaminación por micro plásticos en los embalses de El Frayle, El Pañe y Aguada blanca harán posible la estandarización de monitoreos ambientales de calidad de agua, los cuales permitirán localizar la exposición y presencia que tienen los

microplásticos especialmente en cuerpos de agua; contribuyendo así al cuidado de la calidad de agua mediante estándares de calidad ambiental que son evaluados mediante dichos monitoreos evitando repercusiones en el ámbito económico puesto que los reservorios contribuyen como factores claves para actividades de desarrollo económico siendo estos fuente principal de abastecimiento para la actividades económicas de agricultura, ganadería y consumo de agua potable para el área de influencia directa que es la población.

1.2.3. Ambiental

La información de la realidad que se tiene acerca de la contaminación y el impacto ambiental que posee los micro plásticos es muy escasa, por lo cual sería muy conveniente determinar la presencia en cuanto a distribución y abundancia de micro plásticos en los 3 embalses dado que los embalses tienen gran relevancia debido al aporte del abastecimiento para riego de zonas agrícolas y zonas ganaderas; asimismo para la población Arequipeña por su abastecimiento de recurso hídrico que alberga 116 hm³ de agua lo cual representa un 91.2% de su capacidad hidráulica que posee. La determinación de la presencia de microplásticos será de gran importancia debido a la escasa información acerca del impacto de los microplásticos en embalses y no existe variedad de estudios que hablen del impacto perjudicial en Perú, por lo cual el trabajo de investigación difundirá información a investigaciones futuras y quedando como antecedente el impacto que causa los microplásticos en los embalses afectando así a la sociedad, economía y al medio ambiente (SUNASS,2018).

Los embalses tienen como principal función suministrar, almacenar y asegurar el recurso hídrico de la región Arequipeña, atendiendo todas las necesidades de la población Arequipeña tanto para sus actividades productivas y económicas como para su consumo ya que se podrá tener medidas preventivas para un uso y mantenimiento adecuado de mencionados embalses, lo cual brindara conocimiento del impacto de no poseer un mantenimiento adecuado , ya que la ingesta de micro plásticos en personas y animales causaría daños perjudicial , es por ello que esta evaluación de distribución que se llevara a cabo aportará en gran magnitud para mitigar y/o prevenir la contaminación de micro plásticos en el recurso hídrico de los 3 embalses.

Cabe recalcar que la represa Aguada Blanca establece el sistema regulador, el cual recibe el caudal de agua de todos los embalses aguas arriba, cuyo caudal promedio es de 11.13 m³/s equivalente a 351 Hm³/año que pasan por dicho embalse (ANA, 2009). Asimismo la ganadería del área de la

Campaña y las irrigaciones La Joya, con 7,585 ha y 9,145 ha respectivamente, se benefician del Sistema Regulado Chili (embalses Aguada Blanca y El Frayle sobre la sub cuenca Chili) (ANA, 2014), Sedapar (Empresa de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado) proporciona agua potable en Arequipa es brindado por la empresa, las fuentes del recurso hídrico son: una que deriva de la regulación del flujo en el Embalse de Aguada Blanca y el otro que pertenece a la cuenca del río Andamayo .La represa el Frayle se construyó en el año 1958 para regular las aguas del río Blanco perteneciente del río Chili. Ubicada a 78 km de la ciudad de Arequipa, posee una capacidad de almacenaje 200 millones de metros cúbicos de agua utilizadas para irrigar las pampas de la Joya. El Pañe, El Frayle, Aguada Blanca y Dique los Españoles, que almacenan más de 300 millones de metros cúbicos (MMC) de agua, así como 87 kilómetros de canales y obras conexas. (ANA 2014).

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Determinar la presencia según espacio/tiempo de los microplásticos depositados en los embalses Frayle, Pañe y Aguada Blanca pertenecientes a la cuenca Colca-Chili-Alto

1.3.2. Objetivo Específicos

- I. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses de Chili Colca Alto
- II. Determinar la ocurrencia de los microplásticos en los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca
- III. Identificar la estructura química de los micro plásticos de los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis de investigación

Dado que la contaminación por microplásticos se ha incrementado debido a la dispersión atmosférica global la causante de la aparición de microplásticos en áreas incluso con baja densidad de población y áreas de gran altitud, asimismo la generación excesiva y mala gestión de residuos plásticos, es probable hallar abundancia y distribución de estos residuos en 3 embalses de Arequipa:

El Frayle, El Pañe y Aguada blanca.

1.4.2. Hipótesis nula

No existe una distribución ni abundancia significativa de microplásticos en los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada Blanca, o su presencia no está relacionada con factores como la dispersión atmosférica global ni la gestión de residuos plásticos.

1.4.3. Hipótesis alterna

Existe una distribución y abundancia significativa de microplásticos en los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada Blanca, influenciada por la dispersión atmosférica global y la gestión inadecuada de residuos plásticos



CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO



2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación (Estado del arte)

En el artículo titulado “*Microplastics as vectors of contaminants*” por Caruso (2019), menciona que la contaminación por microplásticos y antibióticos representa una amenaza creciente para la salud ambiental, humana y animal. Aunque existen numerosos estudios sobre la presencia de plásticos en los ecosistemas acuáticos, la investigación sobre la concentración de contaminantes biológicos y químicos adheridos a los microplásticos, así como las interacciones entre estos contaminantes y los plásticos, está aún en sus primeras etapas. Este artículo destaca el papel de los microplásticos como vectores de contaminantes en los cuerpos de agua, subrayando la necesidad de más estudios en este campo. En particular, se explora la interacción de los microplásticos con organismos pequeños como bacterias y microalgas, que pueden colonizar estos desechos, y su rol en la propagación de contaminantes biológicos y químicos, incluidos los antibióticos resistentes. Dado el potencial de los microplásticos para transportar contaminantes y patógenos marinos, se enfatiza la urgencia de investigar sus efectos en todos los niveles tróficos de los ecosistemas marinos y su impacto en la salud humana.

En el artículo titulado “*Spatial distribution of microplastic pollution in sediments and surface waters of Aras River and reservoir: an international river in northwestern Iran*” por Vayghan *et al.* (2022), este estudio sobre la distribución de microplásticos (MP) en el río Aras proporciona información relevante sobre la presencia y acumulación de estos contaminantes en ambientes de agua dulce, específicamente en una presa y sus alrededores. A continuación, te ofrezco un resumen de los hallazgos clave: Abundancia de microplásticos: La abundancia de microplásticos en sedimentos y aguas superficiales en la presa de Aras mostró una variabilidad significativa, con valores que iban de 32 a 528 elementos /kg de peso seco (promedio de $217,8 \pm 132,6$) en los sedimentos y de 1 a 43 elementos/m³ en las aguas superficiales. Estos valores son indicativos de una distribución considerable de microplásticos en el área de estudio.

En el artículo titulado “*Distribution and origin of microplastics in China’s second largest reservoir: Danjiangkou*” publicado por Lin *et al.* (2021) proporciona un análisis detallado de la contaminación por microplásticos en el embalse de Danjiangkou, que es un importante sistema de

almacenamiento de agua en China. Al centrado en la distribución y las fuentes de microplásticos en este embalse de aguas profundas, el trabajo aborda un problema de creciente preocupación en términos ambientales y de salud pública, ya que los microplásticos son una amenaza no solo para los ecosistemas acuáticos, sino también para la fauna y, potencialmente, para los seres humanos debido a su inclusión en las cadenas alimentarias. A continuación, resalto algunos puntos clave del estudio y sus implicaciones: Distribución Vertical de Microplásticos. Los microplásticos se acumulan principalmente en la capa media del embalse, lo que indica que las partículas no se distribuyen de manera uniforme en toda la columna de agua. Esto es relevante porque muchos estudios previos se han centrado en las aguas superficiales, lo que podría llevar a una subestimación de la contaminación real. La investigación sugiere que los estudios de solo las aguas superficiales no son suficientes para evaluar la magnitud total de la contaminación por microplásticos en embalses de aguas profundas.

En el artículo “*Microplastics and associated PAHs in surface waters of Feilaixia Reservoir on the Beijiang River, China*” publicado por Tan *et al.* (2019) detallan el estudio que describe aborda el problema creciente de los microplásticos en el embalse de Feilaixia, en la provincia de Guangdong, China, y su interacción con contaminantes orgánicos persistentes (COP), como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Estos contaminantes son relevantes porque pueden adsorberse en las partículas de microplásticos, lo que facilita su transferencia a los organismos acuáticos, afectando la salud ecológica y humana.

En el artículo “*The effect of dams on river transport of microplastic pollution*” publicado por Watkins *et al.* (2019) menciona valiosa evidencia sobre el papel de las represas en la acumulación de microplásticos en los cuerpos de agua. Según los resultados, la concentración de microplásticos en el sedimento detrás de la represa es considerablemente mayor que en el agua en movimiento que se encuentra por encima de la represa. En particular, se observa que las concentraciones de microplásticos en el embalse son más bajas en las muestras de agua superficial y más altas en las de sedimento. Esto sugiere que los microplásticos en el agua superficial se están depositando en el sedimento debido a la ralentización del flujo en el embalse, lo que favorece la sedimentación. Además, la distribución de los tipos de plástico varió según la ubicación de la muestra, aunque tanto las muestras de agua como las de sedimento fueron dominadas por partículas de fibra. El

estudio también subraya la necesidad de incluir la presencia de presas en los modelos de cuantificación del transporte de microplásticos, ya que las represas y los vertederos pueden actuar como mecanismos clave para la retención de plásticos en las cuencas hidrográficas. Esto implica que las represas no solo afectan la dinámica del agua, sino que también podrían jugar un papel crucial en la acumulación de contaminantes plásticos a lo largo del tiempo.

En el artículo *“Microplastics in the environment: a critical review of current understanding and identification of future research needs”* publicado por Akdogan & Guven (2019) Los microplásticos están contaminando cada vez más los océanos y pueden ser peligrosos para los animales marinos y para las personas. Aunque hay microplásticos en la tierra, en el agua y en el aire, a menudo se piensa que son cosas diferentes. Pero en realidad, están todos conectados. Este estudio busca revisar lo que se ha investigado sobre los microplásticos en distintos lugares del medio ambiente y encontrar qué áreas aún no se han estudiado lo suficiente para saber en qué enfocarse en el futuro. Se encontró más de 200 estudios sobre la contaminación por microplásticos, que van desde 2006 hasta 2018. Se eligen artículos de investigación originales en diferentes categorías científicas para estudiar los microplásticos en distintos lugares como mares, ríos, lagos, suelo y atmósfera. Los papeles sobre mares, ríos y lagos se dividen en tres partes: cómo y dónde se encuentran, cómo afectan a los seres vivos y cómo se mueven por el ambiente. Los estudios muestran que se ha investigado mucho sobre los microplásticos en el mar, pero aún no sabemos mucho sobre cómo afectan a los ríos, lagos, suelos y aire en tierra firme.

En el artículo *“Global meta-analysis of microplastic pollution in reservoirs with a novel framework”* publicado por Guo *et al.* (2021) detalla sobre cómo los embalses se están llenando de microplásticos, lo cual es un problema grave que preocupa a muchas personas en el mundo. Aun no entendemos del todo cómo y por qué aparecen los microplásticos en los embalses, ni cuáles son los peligros que pueden traer consigo. Según estudios en 30 artículos científicos, creamos una base de datos con muestras de microplásticos recogidas en 43 embalses de todo el mundo. Utilizamos un sistema de análisis de datos y estadísticas para analizar la información. El objetivo es entender cómo se contaminan los embalses con pequeños trozos de plástico, viendo dónde están, por qué sucede y qué problemas puede causar al medio ambiente. Encontramos que hay mucha diferencia en la cantidad de pedacitos de plástico en los embalses, con algunos teniendo hasta 1000000 veces

más que otros. La mayoría de los microplásticos que se encuentran en los embalses de todo el mundo son muy pequeños, de menos de 1 milímetro de tamaño. Los polímeros que se encontraron con más frecuencia en los seres acuáticos fueron los transparentes, las fibras y el polipropileno (un tipo de plástico). La cantidad de microplásticos en un lugar depende de dónde esté, la época del año y cómo se usa la tierra. La forma de detectar también era importante, ya que mostraba que era necesario contar con métodos confiables y que se siguieran un mismo estándar. La influencia de estos factores hacía que los microplásticos se distribuyeran más. Los microplásticos tienen distintas formas y tamaños dependiendo de si están en el agua o en el fondo del mar. En el agua son más variados que en el sedimento. A medida que los microplásticos se alejan entre sí, se vuelven menos parecidos en su forma. Los embalses tienen mucha contaminación de microplásticos y esto causa problemas para el ambiente. Las reglas que hay ahora para tratar de resolver este problema no son suficientes. En un estudio sobre la contaminación por microplásticos en Asia, se encontraron embalses en zonas templadas y subtropicales como lugares de riesgo. Se proponen diferentes formas de analizar el agua y el lodo de estos embalses para detectar estos microplásticos y así poder prevenir su impacto negativo en el medio ambiente. Este método se puede usar para controlar y manejar la contaminación en embalses, y también sirve para otros tipos de contaminantes. Es una buena manera de guiar cómo proteger nuestros ecosistemas.

En el artículo “*Evaluation of microplastic contamination in water and economic fish in different trophic guilds of an urban water supply reservoir after a flood.*” publicado por Wu *et al.* (2021) hace referencia a que los eventos de inundación y lluvia tienen responsabilidad en el transporte de microplásticos en los ecosistemas de agua dulce en su investigación redacta estudios de características y concentraciones de microplásticos presentes en cuerpos de agua y de especies económicas en embalse de Dafangying con diversos gremios de alimentación . Los resultados detallan concentraciones altas de microplásticos en agua en comparación a las concentraciones de los lagos naturales lo que denota una entrada excesiva de microplásticos a través de un proceso físico que es la escorrentía superficial provocada por eventos de inundaciones; dicha investigación tuvo como resultados concentraciones significativas más altas de microplásticos en especies planctívoras y herbívoras dado que la toma de captura fue por alimentación de infiltración ya que los microplásticos son densos y se adhieren a la superficie de la planta lo cual los peces a través de la ingestión de macrófitos puede concentrar una elevada concentración de microplásticos.

En el artículo “*Progress and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: a UK perspective*” publicado por Meng *et al.* (2020) hacen referencia a las partículas de plásticos y su documentación en los ecosistemas de agua dulce las cuales han traído consigo grandes preocupaciones por los posibles riesgos que pueden generar para la salud ambiental. Esta investigación evaluó el estado actual de conocimiento en el Reino Unido , se realizó una revisión de literatura actual de microplásticos e agua dulce a, se realizó una evaluación de muestreo utilizadas en la actualidad y de metodologías analíticas para cuantificar , caracterizar y detectar los tipos de microplásticos ,el transporte , la ocurrencia y el destino de los mismos pero sobre todo la interacciones de la biota con el microplásticos en diversos ambientes de agua dulce en el Reino Unido. Resultando que los impactos de la biota contaminada por microplásticos lo reflejaran en medio ambiente marino.

En el artículo “*Pathways of microplastic contamination in raw and drinking water*” publicado por Oladoja & Unuabonah (2021) detalla en su investigación la Se estudió si el agua que bebemos puede estar contaminada con microplásticos por su tamaño pequeño y ligereza, lo que los hace fáciles de mover y están en todas partes en el medio ambiente. Aunque todavía no se sabe muy bien cómo afectan los microplásticos al medio ambiente y al cuerpo humano, es importante analizar si nuestro sistema de agua potable está en riesgo para poder mejorar su calidad y evitar posibles daños. Se revisó qué tan sensible es el suelo a los contaminantes usando la forma en que se mueven y se comportan en el suelo, y cómo se tratan en la planta de tratamiento de agua de la ciudad. La contaminación por sustancias químicas es más común en ríos y lagos que en el agua bajo tierra. Aunque el sistema de tratamiento de agua era muy bueno para eliminar la suciedad, aún quedaba bastante mugre en el producto final. Se detectó que hay poca cantidad de partículas contaminantes en el agua que proviene de la planta potabilizadora abastecida con agua subterránea. Aunque el suelo absorbe la contaminación, ésta se mueve muy despacio dentro de él. Se cree que la falta de movimiento se debe a un flujo hacia arriba que es causado por una ruta al revés. Esto es más fuerte porque las partículas son muy pequeñas y no hay muchas juntas.

En el artículo “*Microplastics in surface water and sediments of the Three Gorges Reservoir, China*” publicado por Di & Wang (2018) menciona en su investigación se estudió cuántos

microplásticos hay en el agua y en el lodo del embalse de las Tres Gargantas. El TGR es el lago más grande de China y está en Chongqing y Hubei. La cantidad de microplásticos en el agua varía entre 1597 y 12,611 partículas por metro cúbico, y en el lodo va desde 25 hasta 300 partículas por kilogramo en peso húmedo. En los ríos y lagos cerca de las ciudades, la suciedad era peor, y en los fondos de las aguas en campos lejos de la ciudad, había más suciedad. Las fibras de plástico fueron las que más encontramos, eran principalmente transparentes y la mayoría eran pequeñas. El plástico más común que encontraron fue el poliestireno, luego estaba el polipropileno y por último el polietileno. Los microplásticos pesados se quedan más fácilmente en el fondo del agua que los ligeros. Se estudiaron con un aparato especial algunos químicos pegados a pedacitos de plástico muy pequeños, como pinturas y medicinas. Los resultados de este estudio pueden ayudarnos a saber cuántos microplásticos hay en el TGR y cómo nos afectan.

En el artículo “Los efectos ecotoxicológicos de los microplásticos en la red alimentaria acuática, desde el productor primario hasta el ser humano: una revisión” publicado por Wang *et al.* (2019) detallan la propagación de microplásticos en aguas de todo el mundo ha generado preocupación sobre su posible impacto en la biota acuática. En el medio acuático, los microplásticos se encuentran en casi todas partes, en todos los compartimentos, desde las aguas superficiales hasta los sedimentos bentónicos, lo que les permite ingresar a la diversa biota acuática que ocupa diferentes hábitats. La exposición a microplásticos puede tener efectos nocivos en los organismos acuáticos. Esta revisión describe la presencia generalizada de microplásticos ingeridos por animales acuáticos y evalúa los efectos ecotoxicológicos de los microplásticos y productos químicos relacionados en la biota acuática, incluido el fitoplancton y animales como los charranes, en ambientes de agua dulce. También se analiza la transferencia trófica de microplásticos y contaminantes relacionados a través de las cadenas alimentarias acuáticas y sus posibles efectos sobre la salud humana. Finalmente, esta revisión destaca las lagunas de conocimiento actuales y proporciona recomendaciones para trabajos futuros.

En el artículo “*Microplastics in surface water and sediments of the Wei River in northwest China*” publicado por (Ding *et al.*, 2019) detalla la contaminación por microplásticos es un problema medioambiental cada vez más importante. Muchos estudios muestran la presencia de microplásticos en nuestros sistemas ambientales. Sin embargo, los sistemas de agua dulce no se

conocen bien, especialmente en el noroeste de China. Investigamos la aparición y las características de los microplásticos en la cuenca del río Weihe, ubicada en el noroeste de China. El río Weihe es el mayor afluente del río Amarillo y atraviesa tres provincias principales. En el río Weihe, la concentración de microplásticos en las aguas superficiales oscila entre 3,67 y 10,7 elementos/litro, mientras que la cantidad de microplásticos en los sedimentos oscila entre 360 y 1.320 elementos/kg. La fibra (50,1%) fue la especie dominante en las muestras de agua y sedimentos. El tamaño pequeño (<0,5 mm) (68,1%) es el tamaño principal de los microplásticos Weihe. Se utilizó espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier para identificar tipos de microplásticos como polietileno, cloruro de polivinilo y poliestireno. Este estudio puede proporcionar una referencia valiosa para comprender mejor la contaminación por microplásticos en el interior del noroeste.

En el artículo “*A watershed-scale citizen science approach to quantify microplastic concentration in a mixed- land-use river*” publicado por Barrows *et al.* (2018) demuestra que los estudios voluntarios de concentración de microplásticos son un método valioso para cuantificar los microplásticos en grandes cuencas con usos mixtos de la tierra. Las microfibras son el principal tipo de microplástico encontrado, lo que refleja hallazgos similares de estudios en todo el mundo. La presencia de microplásticos en afluentes aislados plantea preguntas adicionales sobre el transporte atmosférico y otras fuentes de contaminación aún no documentadas. El tipo de material microplástico puede indicar que el uso recreativo en la cuenca de Gallatin es un factor en la contaminación del agua, lo que sugiere que una fuente no estudiada previamente está afectando la cuenca remota. Los períodos de caudal elevado están asociados con la dilución de las concentraciones de microplásticos en las cuencas, pero los patrones pueden diferir entre cuencas con diferente infraestructura de gestión de aguas pluviales y durante una sola inundación. Finalmente, las comparaciones iniciales de la contaminación por microplásticos en esta cuenca y otras regiones más desarrolladas proporcionaron un gradiente más amplio de influencia humana que ayuda a indicar el desarrollo de la cuenca como fuente de microplásticos en los ríos a escala continental. Se necesitan más análisis para comprender mejor las fuentes de los microplásticos en los ríos, comprender el lugar de los ríos en el presupuesto global de microplásticos y evaluar el impacto de los microplásticos en los procesos biológicos en ambientes de agua dulce.

En el artículo “*Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran*

Coasts)” publicado por Aliabad *et al.* (2019) menciona la Este estudio es el primero en examinar la aparición, distribución e identificación de microplásticos en la Bahía de Chabach. Se encontraron microplásticos en las siete estaciones de muestreo de agua. La densidad de los microplásticos en las aguas superficiales osciló entre $0,07 \pm 0,03$ y $1,14 \pm 0,27$, con una densidad media de $0,49 \pm 0,43$ $\text{pc} \cdot \text{m}^{-3}$. Los microplásticos se encuentran principalmente en forma de fibras y los colores principales de las muestras de microplásticos recolectadas son el blanco, el azul y el rojo. Además, los espectros FT-IR confirmaron que la mayoría de las partículas analizadas eran polietileno, polipropileno y poliestireno. En este estudio también se observaron bajas concentraciones de tereftalato de polietileno y alcohol polivinílico. Algunas de las muestras de microplásticos recolectadas eran pintura descascarada causada por la pintura y la limpieza del barco. En general, los resultados de este estudio respaldan la hipótesis de que los microplásticos están muy extendidos en las aguas superficiales de la bahía de Chabaha. La cantidad de microplásticos en esta bahía varía mucho. Debido al peligro que suponen los residuos microplásticos para el medio marino, los gobiernos y las organizaciones medioambientales necesitan urgentemente tomar decisiones globales para reducir el uso de plástico y evitar que estos residuos entren en el medio marino. Además, se recomiendan estudios sobre la distribución de microplásticos en los sedimentos y la biota de la Bahía de Chabaha para investigar sus efectos sobre la vida marina y la salud humana.

En el artículo “ *Microplastics contamination in the surface water of the Yangtze River from upstream to estuary based on different sampling methods*” publicado por (Niu *et al.*, 2022) estudio analizó todos los tamaños de basura plástica en forma de microplásticos, identificando el tipo de plástico y su forma, en el agua y el lodo del embalse de Jiayan, ubicado en el oeste de China. Este embalse forma parte de una serie de embalses en el Alto Río Yangtze. Encontramos mucha basura en todas las muestras de agua y lodo. La cantidad de microplásticos encontrada en el agua superficial varió de 11,000 a 61,700 elementos por metro cúbico (promedio de $27,500 \pm 23,300$ elementos por metro cúbico), y en el sedimento de 2,600 a 15,700 elementos por kilogramo (promedio de $6,900 \pm 5,960$ elementos por kilogramo). La mayoría de las partículas de material particulado eran SMP y estaban hechas principalmente de plástico polietileno. El pequeño PE fue la principal causa de que hubiera mucha basura en el embalse de Jiayan. No prestar atención a las señales de peligro puede llevar a cometer errores al evaluar la forma, partes y causas principales de un problema. Estudiando cómo se rompen las cosas, vimos que las partículas sólidas se

mantienen mejor cuando son más grandes, pero las fibras se rompen fácilmente en pedazos más chicos. La mayor cantidad de partículas sólidas en el embalse de Jiayan provienen de la agricultura y la contaminación del aire. Según este estudio, los embalses pueden ser lugares importantes donde se acumulan partículas sólidas. Es importante prestar más atención a lo que sucede con estas partículas en los embalses para futuras investigaciones.

En el artículo “*Ecological risk assessment of microplastics in coastal, shelf and deep-sea waters taking into account environmentally relevant size and shape*” publicado por Jung *et al.* (2021) aborda la problemática de la evaluación del riesgo ecológico asociado con los microplásticos en ambientes marinos, destacando la dificultad que genera la falta de concordancia en los tamaños y formas de los microplásticos utilizados en los estudios de campo y los ensayos de laboratorio. Se realizó un análisis de diferencias entre los microplásticos analizados en los monitoreos de campo y los utilizados en los bioensayos de laboratorio dificultan la evaluación del riesgo ecológico. Esta discrepancia, mencionada por Shim y Thompson *et al.* (2015), pone en evidencia la necesidad de una evaluación más precisa para poder entender los efectos de los microplásticos en los ecosistemas.

En el artículo “*Continental microplastics: presence, characteristics and environmental transport pathways*” publicado por detalla la preocupación que genera la contaminación por los microplásticos (MP) dado que estos son contaminantes ubicuos en medio ambiente, estos contaminantes están presentes en el suelo, aire y en ambientes marinos y de agua dulce, esta investigación menciona el entendimiento sobre las principales vías de transporte de los microplásticos para un conocimiento integral del comportamiento de los microplásticos en el medio ambiente continental. Con dicha revisión se proporcionó una comprensión más eficaz de las vías continentales de microplásticos y los desafíos a un futuro para comprender de este contaminante emergente

En el artículo “*Characteristics and source pathway of microplastics in China's freshwater system: a review*” publicado por Zhao *et al.* (2022) detalla un análisis específico de la contaminación por microplásticos (MP) en los sistemas de agua dulce de China, destacando la magnitud y las características de este problema a nivel nacional. A continuación, se resume el contenido clave del

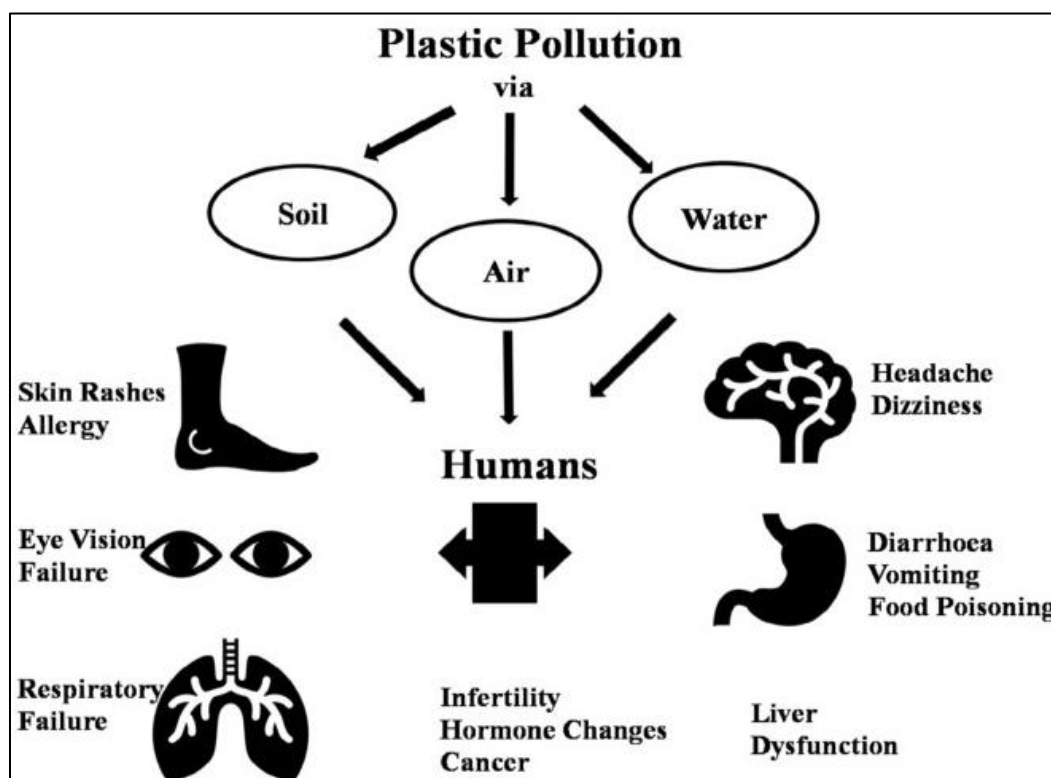
Papel que China desempeña en la contaminación por microplásticos. Se considera que China juega un papel crucial en la producción, consumo y eliminación de plásticos a nivel mundial. Esto ha generado preocupaciones crecientes sobre la contaminación por microplásticos, especialmente en los sistemas de agua dulce chinos, que incluyen tanto aguas superficiales como sedimentos. Se concluye con un análisis más detallado de los factores que influyen en la abundancia de MP y se señala que tanto las actividades humanas como los factores naturales, así como las propiedades fisicoquímicas de los microplásticos, afecta la presencia de estos en aguas superficiales y sedimentos. Esto implica que la contaminación por microplásticos no solo depende de la cantidad de desechos plásticos generados por las actividades humanas, sino también de características como la composición, tamaño y forma de los microplásticos, lo que podría alterar su movilidad y distribución en el ambiente acuático.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Plásticos

Los plásticos son aquellos polímeros orgánicos que provienen del petróleo que incluye poliéster, polietileno (PE), polipropileno (PP) y cloruro de polivinilo, de los cuales PE y PP, ocupando como primer lugar y segunda posición pertinentemente en el mercado global, seguida por PET que representa alrededor del 18% en producción mundial, lo que conlleva a convertirlo en el tercer plástico más fabricado (Leng *et al.* 2018). El término plástico se refiere a una variedad de elementos que en algún proceso de su fabricación pueden fluir de tal manera, que se pueden moldear, extruir, retorcer, preformar (Bergmann *et al.*, 2022). Mediante el proceso de polimerización de monómeros se producen los polímeros sintéticos que son derivados del petróleo o gas, agregando a varias sustancias químicas. En el ecosistema se han ido introduciendo plásticos esto debido en primer lugar a las acciones antropogénicas o a los desechos masivos de industrias textiles, las plantas de tratamiento de agua o aguas residuales, la acumulación de plástico terrestre finalmente se trasporta y fluye hacia los sistemas hídricos debido a sistemas de enterramiento de vertederos inadecuados (Issac *et al.*, 2021).

Figura 1. Contaminación plástica



Fuente: Imagen extraída de *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021; 28(16): 19544–19562.

Tabla 1. Cuadro con características de materiales de plásticos que influyen en el comportamiento de sus micropartículas

Característica	Influencia en el comportamiento de los parlamentarios	Comentarios
Densidad	La flotabilidad en el agua de mardetermina en qué parte de la columna de agua es probable que resida inicialmente el MP.	Los rangos de densidad de las clases de plásticos son generalmente conocidos, pero pueden modificarse tanto mediante cargas como mediante incrustaciones superficiales.
Cristalinidad parcial	El grado de cristalinidad determina la facilidad de degradación oxidativa y fragmentación durante la	Hay rangos generales de valores disponibles para diferentes plásticos, pero estos pueden

	meteorización.	cambiar según el historial de la muestra.
Resistencia a la oxidación o intemperismo	Las estructuras químicas determinan la facilidad con la que el plástico se oxidará en el medio ambiente. La fragmentación es una consecuencia de una extensa degradación oxidativa.	La facilidad de oxidación sugerida por la estructura química en los plásticos puede variar significativamente e incorporan estabilizadores y aditivos.
Biodegradabilidad	Determina la tasa de mineralización y la posible eliminación parcial de plásticos de la columna de agua o sedimento.	Los plásticos comunes son generalmente bioinertes. Existen excepciones en el caso de los plásticos sintéticos y los biopolímeros.
Monómero residual	Toxicidad de la lixiviación de monómeros residuales en MP para organismos marinos que ingieren plásticos.	Se conocen de forma fiable tanto los niveles de monómeros residuales en los plásticos habituales como su toxicidad.
Accesorios de transporte.	La biodisponibilidad de los monómeros residuales, aditivos y COP absorbidos por los MP depende de sus tasas de lixiviación en el ambiente intestinal.	Estas propiedades son conocidas para las resinas vírgenes, pero pueden cambiar porque el grado de cristalinidad puede variar según el historial de la muestra o los aditivos.
Aditivos	La concentración y toxicidad de los aditivos en los MP pueden contribuir a los impactos adversos en las especies que los ingieren.	La química, los niveles de uso en plásticos y las toxicidades son generalmente conocidos. Pero estos niveles de disruptores endocrinos no se conocen de forma fiable.
Propiedades de la superficie	La tasa de contaminación de los escombros flotantes determina las tasas de erosión y hundimiento de los MP.	Se conocen las propiedades superficiales y los índices de ensuciamiento de los plásticos comunes.

Fuente: Andrady et al., 2017

Los plásticos pueden clasificarse en dos categorías principales: Plásticos termoestables y termoplásticos.

- **Plásticos Termoestables:** Este tipo de plásticos se caracterizan por su formación al solidificarse de manera irreversible al calentarse, tienden a incendiarse cuando se someten a temperaturas muy altas, significando su durabilidad y resistencia, siendo generalmente no reutilizables (Schwarz *et al.*, 2019)
- **Plásticos Termoplásticos:** Esta clasificación tiene a caracterizarse debido a que tienden a ablandarse cuando se exponen al calor y recupera su forma natural a temperatura ambiente. No es posible modificaciones en las propiedades químicas o físicas del polímero, pero pueden moldearse con facilidad en una gran variedad de productos, como envases para detergentes, leche, pisos, tarjetas de crédito, entre otros, Estos plásticos permiten su reciclado con mayor facilidad. Los termoplásticos comprenden un gran porcentaje de ventas anuales de ese tipo de plásticos (Liboiron *et al.*, 2021)

2.2.2. Microplásticos

Son fragmentos de plástico de un tamaño menor de 5 mm de cualquier dimensión con un límite inferior indefinido. A los microplásticos se añaden químicos para mejorar el rendimiento y la eficiencia de estos, están compuestos por polímeros sintéticos que se obtienen principalmente a partir del gas natural y el petróleo. Dichos compuestos poseen alta plasticidad y gran masa molecular debido a que se añaden químicos para aumentar la eficiencia y el rendimiento de estos. Tales aditivos químicos son los que le brindan las características deseadas en cuanto a su maleabilidad, temperatura, textura, estabilidad brillo y resistencia entre otras propiedades. Los microplásticos son considerados contaminantes emergentes detectables frecuentemente en ecosistemas acuáticos, los microplásticos son llevados a los ecosistemas de agua dulce mediante la escorrentía, descarga de aguas residuales y arrastre por vientos (D'avignon *et al.*, 2022). La producción de plásticos mundial anual se ha multiplicado por casi 20 años desde la década de 1950 y alcanzó los 322 millones de toneladas métricas (Dusaucy *et al.*, 2021)

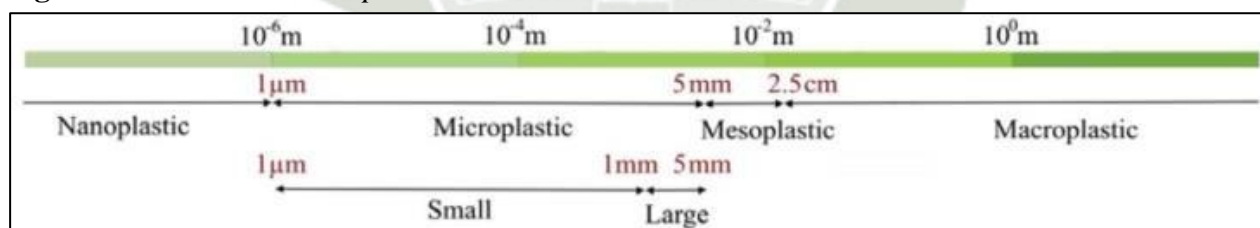
Los microplásticos generalmente se transportan por transporte aéreo y deposición (vientos) o por

efluentes a lo largo de la cuenca cuando el transporte es vía aérea son trasladados largas distancias pueden depositarse en áreas que van desde una gran ciudad hasta en una cuenca remota en una montaña es decir el plástico no se fija en el área que ingreso inicialmente, estos contaminantes pueden redistribuirse con facilidad por la circulación atmosférica y oceánica (Xiong *et al.*, 2018).

Los microplásticos están presentes en distintas formas como fibras, esferas, y fragmentos. Por lo general todos los microplásticos se dan a través del deterioro de plásticos abundante denominados microplásticos Los microplásticos (MP) tienden a fragmentarse en un tamaño menor, con el transcurrir del tiempo y eventualmente se convierten en nano plásticos teniendo un tamaño ($<1 \mu\text{m}$) .Dado a las características de los microplásticos como las bajas tasas de degradación y la inercia química de la mayoría de los desechos plásticos tienden a acumularse en el medio ambiente lo que causa un grave riesgo ecológico.

La contaminación por microplásticos por el uso masivo de plástico y la mala gestión en la eliminación de estos desechos ha conllevado a que no solo afecte los valores estéticos de los ecosistemas sino también a que se presenten problemas severos de contaminación persistentes en los cuerpos de agua (Hale *et al.*, 2020).

Figura 2. *Tamaño de microplásticos*



Fuente: Araujo *et al.*, 2018

2.2.3. Clasificación de microplásticos según su morfología (forma)

Los microplásticos engloba un grupo heterogéneo de varia en tamaño composición, forma, color y tamaño, etc. Con respecto a la caracterización por su forma, se basan en cinco categorías para clasificarlo (Tabla 2) aunque los pellets, fragmentos y fibras se consideran predominante (Olmos Espinar *et al.*, 2021).

Tabla 2. Categorías utilizadas para clasificar los microplásticos según su forma

Clasificación por morfología	Términos englobados	Características
Fragmentos	Polvo, gránulos, escamas, virutas	Partículas duras de forma irregular
Films	Films, laminas	Partícula delgada y plana que generalmente puede doblarse sin romperse.
Fibras	Filamentos, microfibras, hebras	Material fibroso largo que es significativamente más largo que ancho.
Pellets	Granza, "nurdles", "nibs"	Partícula dura esférica, lisa o granular
Esferas	Granos, microesferas	Partículas flexibles con bordes lisos o angulares
Espumas	Poliestireno, poliestireno expandido	Partículas casi esféricas o granular

Fuente: Olmos Espinar *et al.*, 2021

2.2.4. Clasificación química de microplásticos según su composición química

Los microplásticos pueden presentar diversas composiciones poliméricas. Estos materiales, como el polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), poliuretanos, polietileno tereftalato (PET), poliéster (PES) y otros, se consideran "plásticos vírgenes" y son responsable de alrededor del 90% de la producción mundial de plástico (Plastics Europe, 2018; Andrady y Neil 2009; Espinosa *et al.*, 2016).

Los polímeros plásticos son ampliamente diversificados, además de los polímeros conocidos (PE, PP, PS, PET, PVC, PU, PA) también existen una amplia variedad de copolímeros (que corresponden a una mezcla de dos o más polímeros) y aditivos incorporados en su fabricación. Respecto a los microplásticos y sus diferentes tipos, se caracterizan los más comúnmente producidos junto a sus características y propiedades:

- Celulosa (*cellulose*): Consistente de una cadena larga de polímeros, es un polímero estructurado presente como microfibras en las células vegetales en su forma natural. Puede ser de origen natural o semi-sintético, este último de la mezcla con otros polímeros e incorporación de aditivos. Partículas artificiales obtenidas de la celulosa pueden encontrarse en ambientes acuáticos a nivel mundial. La celulosa es un componente principal de las paredes celulares en consecuencia, es el polímero orgánico más abundante en la Tierra, se caracteriza la celulosa por ser un polímero que no es fácilmente soluble en agua, posee resistencia térmica (Savoca *et al.*, 2019).
- Celofán (*cellophane*): El celofán está compuesto de celulosa de madera, algodón, cáñamo u otras fuentes; presenta resistencia ante aceites y grasas, asimismo actúa como una excelente barrera contra la humedad y el oxígeno (Laurence W. McKeen, 2017), comúnmente usado en empaques o films, se caracteriza por poseer un aspecto de una película fina, transparente, flexible y resistente a esfuerzos de tracción, inherentemente rígido a superficies húmedas (FAO, 2017).
- Tereftalato de polietileno (*polyethylene Terephthalate* - PET): Es un poliéster termoplástico semicristalino considerado uno de los materiales plásticos más utilizados que se caracteriza por sus propiedades mecánicas excelentes por su versatilidad, durabilidad y reciclabilidad, resistente al desgaste y al plegado, excelente como buena barrera a CO₂ y aceptable a oxígeno y humedad, alta resistencia química e indeformabilidad térmica, alta resistencia y tenacidad, buena resistencia a la abrasión y al calor, baja fluencia a temperaturas elevadas, buena resistencia química y excelente estabilidad dimensional, transparente, admisible a algunos colorante y ligero, es un fuerte bloqueador de gases y humedad, es producido para diversos productos como radiografías, fibras textiles, geotextiles, envases diversos como botellas (Manrique R., 2019).
- Poliestireno (*polystyrene*- PS): Es un plástico que es ampliamente usado en varios productos debido a su alta capacidad de tensión y maleabilidad, aislante térmico, capacidad para resistir el agua y propiedades amortiguadoras y químicas estables y de viabilidad económica; asimismo por su bajo costo para su producción (Shahida A. *et al.* 2023), Usado en interiores de frigoríficos, partes del automóvil, cubiertas de construcción, contenedores, instrumentos médicos u otros (Manrique R., 2019).

- Rayon: Es un tipo de celulosa semi-sintética, sus propiedades químicas son similares a fibras naturales como algodón o jute lo que la hace difícil de distinguir; usado comúnmente para producción de vestimentas, es biodegradable (FAO, 2017).
- Poliacrilonitrilo (*polyacrylonitrile* - PAN): También denominada fibra de poliacrilonitrilo y fibra acrílica, es un tipo de fibra sintética hecha de polimerización de acrilonitrilo, tiene resistencia a la tracción, a la luz, intemperie y buena dispersión y absorción de aceite. Usado en fibras, membranas, velas, precursores en la producción de fibra de carbono (FAO, 2017).
- Nylon: Poliamida – PA, está hecho de una larga cadena de polímeros sintéticos que tiene propiedades de impermeabilidad, es más fuerte y más elástico que el poliéster, es comúnmente usado en fabricación de cuerdas y redes de pesca (FAO, 2017).
- Polietileno (*polyethylene* - PE): Es un material polímero que presente alta, media y baja densidad; de alta densidad presenta las cadenas de moléculas muy juntas, es carente de color y resistente a impactos, de características importantes como aislante térmico y químico, con gran resistencia; de media densidad es de gran resistencia por ello usado por ejemplo en tuberías de gas natural, es mayormente identificable por color amarillo; por ultimo de baja densidad presenta moléculas más dispersas y menos ligadas, no tóxicos y más ligeras y flexibles (Condori J, *et al.*, 2023). El PE es usado en empaques, contenedores, tuberías, partes de maquinarias, aislamientos; su biodegradación es extremadamente limitada (FAO, 2017).
- Poliéster (*polyester* - PES): Es un material sintético obtenido mayormente a partir de compuestos derivados de petróleo, caracterizado por ser resistente a la humedad y productos químicos; comúnmente usado en empaques de comida e industria textil (FAO, 2017).
- Polipropileno (*polypropylene*- PP): Material termoplástico que es obtenido a partir de la polimerización del polipropileno. Usado en empaques, contenedores, mueblería y tapicería (FAO, 2017).
- Cloruro de polivinilo (PVC): Material termoplástico versátil; es ampliamente usado en tuberías, juguetes y cables por su gran fuerza y resistencia a temperaturas, no inflamabilidad, y bajo costo de producción;

Los polímeros como el PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno), PE (polietileno), PVC

(policloruro de vinilo), PS (poliestireno) y nailon son ampliamente utilizados en una variedad de aplicaciones, incluidas aquellas que implican contacto con alimentos. Estos materiales tienen diversas propiedades que los hacen atractivos para la industria, pero su uso también presenta ciertos riesgos contaminantes (Sutton y Sedlak, 2017).

A los polímeros comunes se les asignan números de reciclaje específicos que indican su tipo, lo que facilita procesos de reciclaje. Estos números no sólo ayudan a clasificar y procesar materiales reciclables de manera eficiente, sino que también promueve prácticas ambientalmente conscientes al alentar eliminación y reprocesamiento adecuados de residuos plásticos. Existe una subdivisión popular la cual se basa en el uso y fuente en el cual se clasifica en micro plásticos primarios y secundarios.

2.2.5. Subdivisión de microplásticos

Existe una subdivisión popular la cual se basa en el uso y fuente en el cual se clasifica en micro plásticos primarios y secundarios.

Micro plásticos primarios

El micro plástico primario es aquel creado intencionalmente de dimensiones minúsculas, dichas partículas son denominadas también como microesferas ($<500 \mu\text{m}$) específicamente se fabrican en el rango de tamaño micrométrico por ejemplo, los que se utilizan en abrasivos industriales, gránulos de preproducción de plástico (“*nurdels*”) o en productos de aseo y cuidado personales en los que se encuentran cremas, limpiadores y agentes exfoliantes las cuales contienen “microperlas” de polietileno (Horton *et al.*, 2017).

Los microplásticos primarios son aquellos que se fabrican con un tamaño microscópico desde el principio, con el objetivo de ser utilizados directamente en productos específicos. A diferencia de los microplásticos secundarios, que se originan a partir de la descomposición de plásticos más grandes, los microplásticos primarios se introducen directamente en el medio ambiente en su forma pequeña y no requieren un proceso adicional de fragmentación para ser considerados microplásticos, por lo tanto, estas partículas se terminan liberando en los cuerpos de agua en el mismo estado que fueron fabricados.

Mayormente son microesferas (que pueden ser hallados en cosméticos) y debido a su dimensión se cuelan con facilidad por los desagües y no son filtrados. Asimismo, se ejemplifica a pasta de dientes, los limpiadores faciales, geles exfoliantes, vectores de medicamentos o piezas de impresión 3D. También es importante tener en cuenta los pellets (partículas de plástico de 2 a 5 mm).

Microplásticos secundarios

Los micro plásticos secundarios son productos generados a partir de una degradación de objetos plásticos de mayores tamaños es decir de la fragmentación de la basura macro plástica y meso plástica. Dicha degradación puede ocurrir fenómenos químicos o físicos como la exposición a niveles elevados de radiación ultravioleta (Picó & Barceló, 2019).

El micro plástico secundario está compuesto por fibras y fragmentos. El proceso de fragmentación es la vía por la cual los desechos plásticos se reducen de tamaño un proceso menos sutil que el proceso de degradación (Mejía, 2021). Los microplásticos secundarios se forman cuando se da la degradación de otros plásticos de mayor tamaño. El tiempo, la exposición prolongada a la luz ultravioleta (UV) y la abrasión física provocan la fragmentación del plástico. Estos pueden provenir de fuentes terrestres o marinas. Los de origen terrestre pueden provenir de bolsas de plástico, materiales de empaque o desechos de la industria del plástico, por otro lado, los de origen marino pueden provenir de equipos de pesca y aguas residuales de los barcos. Los plásticos pueden fragmentarse antes de que sean desechados al medio ambiente, como ocurre con las fibras sintéticas al lavar la ropa (Ramos, 2024).

2.2.6. Cuenca del río Quilca - Chili

El sistema hidráulico del río Chili es complejo, entre los 2 o 3 más complejos del Perú, ya que está incluido en 4 obras de regulación, posee un canal de derivación-trasvase de 77.5 km de longitud, y 4 bocatomas para captar recursos hídricos sin regulación con una capacidad útil de aproximadamente 342 MMC. Solicita el uso de la subcuenca Chili, hasta la sección Aguada Blanca, la cual cuenta con un área colectora de 3,895 km², y recursos hídricos con una media anual de 10.688 m³/s; en esta subcuenca se encuentran el embalse El Frayle y el embalse Aguada Blanca, que es el embalse final que regula el sistema. Debido a los usos multisectoriales, el requerimiento

de recursos hídricos es complejo. En primer lugar, se encuentra el suministro de agua potable a la ciudad de Arequipa, que cuenta con alrededor de 700,000 habitantes; las necesidades agrícolas de casi 16,000 ha concentradas en La Campiña de Arequipa y las Irrigaciones de La Joya; la necesidad hidro energética del sistema Charcani y el requerimiento hidroenergético del sistema Charcani, que posee 6 centrales hidroeléctricas con una capacidad instalada de 165.15 MW, de las cuales Charcani V tiene una capacidad de 135 MW; y por último, la necesidad de la minería para el complejo Cerro Verde y otros usos industriales. La complejidad dificulta una concertación interinstitucional adecuada para un manejo integral del recurso hídrico, enfocado en su preservación y desarrollo. Por otro lado, el uso de una ingeniería que se relaciona con los aspectos sociales, económicos y medioambientales de la subcuenca está obstaculizado por esta complejidad. El desarrollo del área de la subcuenca Chili también destaca el aumento del caudal controlado en el embalse Aguada Blanca para satisfacer la necesidad de una población creciente de aumentar la frontera agrícola y generar más energía utilizando la capacidad instalada en Charcani V, así como para satisfacer el desarrollo de otros sectores.

2.2.7. Bofedales

Los bofedales son humedales altoandinos, estos ecosistemas son de gran relevancia ecológica, caracterizados por su alta fragilidad debido a su dependencia de las aguas subterráneas y superficiales. Estos humedales desempeñan un papel fundamental en la captura de carbono, la regulación del agua y el suministro de forraje como alimento para el ganado ya que almacenan y mantienen el agua, estos ecosistemas, debido a su composición geológica, son considerados grandes embalses naturales debido a su capacidad para almacenar grandes cantidades de agua. Esto se debe a su naturaleza porosa y a la presencia de suelos saturados, que permiten que el agua se retenga durante largos períodos, especialmente en épocas de lluvia.

La capacidad de almacenamiento de los bofedales es crucial, ya que retienen el agua durante las temporadas de lluvias intensas y la liberan gradualmente durante los periodos más secos. Esto ayuda a evitar inundaciones repentinas en las épocas de lluvia y a mantener el flujo de agua constante en las épocas de sequía. Además, la baja transmisión de flujo en estos ecosistemas hace que el agua se conserve de manera eficiente, permitiendo una regulación natural del caudal.

El rol de los bofedales como reguladores de caudal es especialmente importante en las comunidades que dependen de estos recursos hídricos. En muchas regiones andinas y en otras zonas de alta

montaña, las comunidades humanas y la fauna local dependen del agua almacenada en los bofedales para el consumo, la agricultura y el abastecimiento de otras necesidades. La conservación de los bofedales es, por lo tanto, clave para asegurar la estabilidad de los recursos hídricos en estas regiones. Además de su función como reservorios de agua, los bofedales también contribuyen a la calidad del agua. Actúan como filtros naturales, purificando el agua al absorber contaminantes y sedimentos. La vegetación presente en estos ecosistemas ayuda a mantener un equilibrio en el ciclo del agua, controlando la erosión y contribuyendo a la biodiversidad local. Los bofedales son esenciales para la gestión sostenible del agua en muchas regiones de alta montaña, jugando un rol de reguladores de caudal y garantizando la disponibilidad de este recurso vital para las comunidades locales y los ecosistemas circundantes (INAIGEM, 2023).

Los bofedales pueden ser estacionales o permanentes, otras características es la presencia de suelo orgánico y un aspecto verde durante todo el año. En la normativa peruana, Ley General del Ambiente (Ley N° 28611), los bofedales son considerados como ecosistemas frágiles debido a que varias especies de flora y fauna dependen de ellos, por ende, son consideradas áreas de conservación o protección (Maldonado F., 2015).

Los bofedales están presentes en 19 departamentos del Perú, de los cuales Puno, Arequipa y Cusco contienen más del 57% de los bofedales, en la región de Arequipa poseen una extensión aproximada de 133 434.8 ha, lo que representa el 2.11% del territorio departamental; más del 50% se concentra en la provincia de Caylloma, en la cuenca de Camaná; se indica que gran parte se encuentra en la Reserva Paisajística Subcuenca del Cotahuasi y en la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca (INAIGEM, 2023).

2.2.8. Embalses

De acuerdo con el Glosario aprobado por la ANA por RJ 180-2016-ANA los términos reservorios y presas son sinónimos, así mismo define a los Embalses como grandes depósitos generalmente cerrados que se forman natural o artificialmente que generalmente se encuentra cerrada la boca de un valle mediante un dique o presa y en el que se almacenan aguas para riego, abastecimiento de poblaciones y producción de energía (ANA, 2016).

Se define a un embalse como un ecosistema espacial de agua dulce. Los embalses y las presas se construyeron principalmente para proporcionar riego y agua potable, producir energía eléctrica y

proteger contra inundaciones. Esto se debe a la gestión que brindan los embalses, lo que los convierte en ecosistemas especiales de agua dulce. Estos embalses artificiales interrumpen el curso natural de un río y afectan el flujo y la calidad del agua en el río aguas abajo (Weber *et al.*, 2017).

Los embalses son áreas de alto riesgo de enriquecerse por partículas microplásticos, el Sistema Regulado Chili por embalses Aguada Blanca y El Frayle sobre la subcuenca Chili, el embalse El Pañe que pertenece a la cuenca Camaná-Majes-Colca; y el canal Pañe Sumbay sirve para las irrigaciones de La Campiña útil para la agricultura y de las irrigaciones de La Joya.

Represa Aguada Blanca

La represa o vaso regulador de Aguada Blanca posee un volumen total de almacenamiento 27.5 MMC, lo que simboliza el 90% de su capacidad máxima útil.

Esta presa fue denominada Aguada Blanca y construida a finales de los años 60 con una capacidad de 42 millones de metros cúbicos (MMC). Ubicadas aguas abajo de la confluencia de los ríos Blanco y Sumbay, a una altura de 3670 m.s.n.m. y a 40 kilómetros de la ciudad de Arequipa. Está compuesta por una presa enrocada de 46 m. de altura, con una extensión de corona de 80 metros, está construido de un material impermeable gracias una pantalla metálica adherida aguas arriba. La descarga de la presa se realiza a través de las compuertas de fondo, de regulación y un vertedero de demasías (tipo Morning Glory), con una capacidad total de 630 m³/seg. y a través de un túnel en la margen derecha de la presa de 240 m de longitud. Esta presa es el vaso regulador de embalses y tiene altos niveles de nutrientes calificando como agua eutrofizada, donde la vulnerabilidad de la presencia del manganeso en forma soluble se presente en cualquier momento, así como la gran medida de materia orgánica que arrastra, por lo cual obligatoriamente se debe utilizar un pretratamiento con esta agua para oxidar la materia orgánica (SUNASS, 2018).

Represa El Frayle

Entre 1958 y 1960, se edificó la represa de El Frayle sobre el río Blanco a 4,010 m.s.n.m. a una distancia de 70 kilómetros de Arequipa. La presa está constituida por una presa con un arco de doble curvatura de 72 m. de altura, con longitudes y espesores variables. Se tiene al Dique de

Bloques como parte del embalse, cerrando una depresión lateral, a unos 800 m. de la presa el denominado, con una longitud de 226 m. y una altura máxima de 20 metros, constituido por grandes bloques de concreto colocados de manera intercalada con juntas horizontales y verticales. Una pantalla metálica en la cara de aguas arriba asegura la impermeabilidad de esta estructura. La capacidad máxima del Embalse El Frayle equivale al 84% de su capacidad total con 200 millones de metros cúbicos aproximadamente la presa está constituida de un vertedero de demasías en la parte superior y uno de descarga constituido por dos válvulas "HowellBunger" y una válvula de descarga de fondo cuyo sistema ha sido actualmente modernizado con relación a las últimas técnicas de control y operación (SUNASS,2018).

Represa El Pañe

En el lapso de los años 1963 y 1966 esta represa fue construida. Se encuentra ubicada a 55 kilómetros de Imata sobre el río Negrillo, a 55 kilómetros de Imata y con una altura de 4,550 m.s.n.m. a 200 Km. de la ciudad de Arequipa. El reservorio de Pañe, posee una longitud de 580 metros y su capacidad de embalse llega hasta los 100 millones de metros cúbicos.

Asimismo, en volumen de almacenamiento que presenta es del 51.8 MMC, es decir su capacidad máxima útil es de 52% de su capacidad máxima útil. El agua del embalse se entrega al río Bamputañe por medio de un canal con una capacidad de 6 metros cúbicos por segundo, revestido de concreto armado de 05 kilómetros de longitud. Las aguas embalsadas son trasvasadas desde la cuenca Camaná-Majes-Colca (SUNASS,2018).

2.2.9. Contaminación de agua por microplásticos

El problema central que impacta actualmente el medio ambiente proviene de las causas que trae consigo la basura plástica, debido que la basura no se degrada mediante ningún agente biológico ya que no existe organismo que pueda transformar en materia orgánica. El elemento plástico no se queda intacto dado que el plástico se segmenta, degrada, y desintegra, y por ende se mantiene en el ambiente a medida que se va convirtiendo cada vez más reducido. La influencia del viento, los rayos ultravioletas y la temperatura, entre otras cosas, lo van quebrantado mecánicamente hasta convertirlo en micro y nano microplásticos. El plástico es uno de los contaminantes que se liberan

en gran cantidad al agua, el cual, por medio de la degradación química, física y/o microbial se convierte en microplásticos, así mismo, estas partículas también son descartadas en su forma original con un tamaño inferior a 5mm (De & Ambiental,2020).

La contaminación de agua comprende la fragmentación de la calidad hídrica por la introducción de sustancias externas en el medio marino como el plástico de forma directa o indirecta de parte de los seres humanos. Existen estudios toxicológicos con humanos y animales que han demostrado que algunos de estos aditivos son altamente cancerígenos, nocivos para las neuronas afectando así el sistema endócrino del ser humano. Según (Rosero, 2024) la exposición a microplásticos en el agua puede tener diversas repercusiones en la salud humana, afectando múltiples sistemas del cuerpo. Los posibles efectos en cada uno son:

- a. **Piel y Faneras:** La exposición a microplásticos en la piel puede generar diversos efectos adversos, entre los que se incluyen irritación cutánea, dermatitis y reacciones alérgicas. Los microplásticos pueden actuar de manera directa como irritantes físicos, ya que sus partículas pueden dañar la barrera cutánea, provocando enrojecimiento, picazón o incluso inflamación.
- b. **Sistema Respiratorio.** Las partículas de microplásticos pueden irritar las vías respiratorias, lo que provoca inflamación. Esta inflamación, a largo plazo, puede agravar condiciones preexistentes como el asma, la bronquitis crónica o la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)
- c. **Sistema Cardiovascular:** Cuando los microplásticos ingresan en el cuerpo, ya sea por ingestión, inhalación o penetración dérmica, podrían desencadenar una respuesta inflamatoria. Este proceso inflamatorio puede dañar los vasos sanguíneos y aumentar la rigidez arterial, factores clave en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Además, la inflamación crónica está vinculada a condiciones como la aterosclerosis (endurecimiento y estrechamiento de las arterias debido a la acumulación de placas) y la hipertensión (presión arterial alta), ambas directamente relacionadas con un mayor riesgo de infartos y accidentes cerebrovasculares.
- d. **Sistema Linfáticos:** El sistema linfático es parte del sistema inmunológico y juega un papel crucial en la defensa del cuerpo contra infecciones y en la eliminación de desechos. Si los microplásticos entran en contacto con los ganglios linfáticos, que son puntos clave

donde se filtran agentes extraños y se generan respuestas inmunológicas, esto podría desencadenar una inflamación local. Además, la acumulación de microplásticos en los ganglios linfáticos podría interferir con su capacidad para filtrar eficazmente los patógenos y los desechos celulares, lo que podría afectar la función inmunológica.

- e. **Sistema Renal:** La presencia de microplásticos y aditivos químicos podría inducir respuestas inflamatorias en los riñones, lo que podría afectar su capacidad para filtrar desechos y regular líquidos y electrolitos, a largo plazo, la acumulación de estos compuestos podría interferir con el funcionamiento normal de los riñones, comprometiendo su capacidad de filtrar sangre, lo que podría conducir a trastornos como insuficiencia renal o daño en los tejidos renales.
- f. **Sistema Digestivo:** La ingestión de microplásticos puede desencadenar una respuesta inflamatoria en el tracto gastrointestinal. Las partículas pueden irritar las mucosas del estómago y los intestinos, lo que podría resultar en inflamación crónica. Esto puede conducir a trastornos digestivos, dolor abdominal, y posiblemente a enfermedades inflamatorias intestinales como la colitis. Asimismo, los microplásticos alteran el equilibrio del microbiota intestinal, que es fundamental para la digestión, la absorción de nutrientes y la protección contra patógenos.
- g. **Sistema Nervioso Central:** Los microplásticos pueden inducir inflamación y estrés oxidativo en diversos órganos, incluido el cerebro. Esta inflamación crónica puede dañar las neuronas y las células gliales, lo que afecta la transmisión de señales en el cerebro, lo que a su vez podría contribuir a los trastornos neurológicos, los microplásticos pueden atravesar la barrera hematoencefálica, que normalmente protege al cerebro de sustancias nocivas. Esto puede dar lugar a la acumulación de partículas en el cerebro, lo que potencialmente afecta la función cognitiva, el comportamiento y la regulación emocional.
- h. **Sistema Endocrino:** Los microplásticos tienen a actuar como disruptores endocrinos, Debido a que estas micropartículas pueden contener sustancias químicas tóxicas, como ftalatos, bisfenol A (BPA) y metales pesados, que tienen la capacidad de interferir con la producción, liberación y acción de las hormonas. Estos compuestos pueden imitar o bloquear la acción de las hormonas naturales, alterando así el equilibrio hormonal. Uno de los efectos potenciales más destacados de los microplásticos en el sistema endocrino es su posible contribución al hipotiroidismo, una condición en la que la glándula tiroides produce

cantidades insuficientes de hormonas tiroideas. Además, los disruptores endocrinos en los microplásticos pueden estar asociados con otros trastornos hormonales, como alteraciones en la fertilidad, problemas en el desarrollo fetal, trastornos metabólicos y cambios en el comportamiento.

- i. **Sistema Inmunológico:** La exposición continua a microplásticos debilita el sistema inmunológico, generando inflamación crónica. Además, existe la preocupación de que los microplásticos están relacionados con el desarrollo de cáncer debido a sus propiedades genotóxicas y citotóxicas.

Adicionalmente, los plásticos tienen la capacidad de adsorber y acumular otros elementos tóxicos y nocivos para el ambiente. Cabe recalcar que existe una certeza de que los organismos acuáticos acumulan compuestos químicos seguidos de la ingestión de plástico. Sin embargo, la información actual existente acerca de la dinámica de intercambio de estos elementos entre el plástico y los organismos del ambiente es escasa (Kirstein *et al.*, 2021). Los microplásticos (MP) son pequeños fragmentos de los desechos plásticos poco visibles no obstante representan una alerta por su ubicuidad en ambientes terrestres y sobre todo acuáticos. Debido a su tamaño inferior, los microplásticos son denominados biodisponibles para cualquier organismo de toda la red alimentaria. Los microplásticos pueden afectar la cadena alimentaria empezando con los ecosistemas acuáticos, en particular a las algas que forman biopelículas. La superficie de los microplásticos se reduce debido a la degradación de las superficies que colonizan, lo que puede aumentar el potencial de exposición de los organismos a la toxicidad de los microplásticos. Los productos químicos presentes en los microplásticos pueden infundirse en los tejidos de las algas que los colonizan, lo que puede afectar negativamente su capacidad de realizar la fotosíntesis.

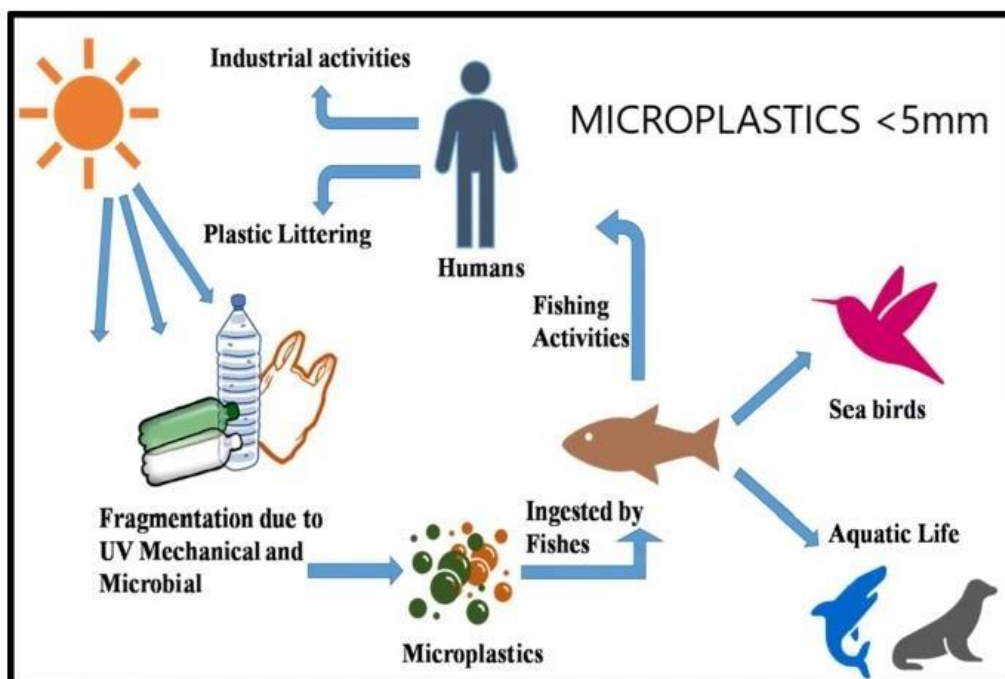
Esto es relevante dado que las algas son fundamentales en muchos ecosistemas acuáticos, ya que son los principales productores primarios y proporcionan recursos a muchos organismos. Sin embargo, debido a la toxicidad de los microplásticos, la productividad de las algas que forman biopelículas podría verse comprometida. Las propiedades tóxicas de los microplásticos podrían socavar los beneficios de los recursos espaciales que las algas aprovechan para su crecimiento y función. La presencia de microplásticos en los ecosistemas marinos puede tener efectos negativos sobre las algas, afectando su capacidad para realizar fotosíntesis y, en consecuencia, reduciendo su productividad (Raamsdonk *et al.*, 2020).

El estudio de (Sheehan et al., 2023) menciona que la investigación de los microplásticos en los ecosistemas acuáticos es crucial, no solo por su impacto en la vida marina, sino también por sus repercusiones en la salud humana. Los microplásticos, que son fragmentos diminutos de plástico, se han infiltrado en las redes alimentarias marinas, afectando a diversas especies en varios niveles tróficos. En particular, el impacto de los microplásticos en los peces, que constituyen una fuente importante de proteína animal para los seres humanos, es de gran preocupación. Los peces que consume el ser humano, incluidos los mariscos, han sido reportados con acumulaciones de microplásticos en sus cuerpos. Esto ocurre porque los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos marinos como algas, copépodos y peces, y seguir a través de la cadena alimentaria. En los peces, los microplásticos pueden inducir bloqueos gastrointestinales, alterar su función fisiológica y bioquímica, e incluso ser una vía para la bioacumulación específicamente el proceso de (transformación) de sustancias químicas tóxicas. Esta biotransformación puede hacer que los contaminantes presentes en los microplásticos se acumulen en los tejidos de los animales, creando un riesgo de envenenamiento para los consumidores a lo largo de la cadena alimentaria. Además, los efectos de los microplásticos no solo afectan a las especies que directamente consumen plásticos, sino que también pueden extenderse a los depredadores de nivel superior. Si estos depredadores, incluidos los humanos, consumen peces contaminados con microplásticos, los contaminantes podrían llegar a los consumidores humanos, lo que plantea riesgos para la salud pública.

La bioacumulación de microplásticos en las redes alimentarias representa un contaminante emergente, lo que subraya la importancia de continuar la investigación de cómo estos plásticos se transfieren entre los diferentes niveles tróficos y cómo afectan a la salud de los ecosistemas y de las especies que dependen de ellos. Dado que existen embalses que son la única fuente de agua importante para las poblaciones aledañas como poblaciones costeras marinas donde la actividad económica es la pesca y el consumo de los peces es mayor, estos organismos acuáticos pueden consumir micro plásticos al alimentarse o por la filtración de agua para obtener alimento. Según investigaciones se detectaron microplásticos en intestinos y las branquias de peces. Teniendo como resultados abundancia media de microplásticos en los intestinos relativamente alta, asimismo las mayores concentraciones de microplásticos tanto en los intestinos como en las branquias. Además, los embalses al ser la única fuente directa de consumo en algunas ciudades los microplásticos pueden ser absorbidos por el uso de aguas contaminadas para la agricultura como para el riego de

cultivo o la producción de alimentos de origen acuático, las plantas absorben través de las raíces y luego son transferidos a los tejidos comestibles, A medida que los microplásticos se transfieren a los animales acuáticos y a las plantas, eventualmente pueden llegar a los seres humanos a través del consumo de productos alimenticios de origen acuático o agrícola, lo que aumenta el riesgo para la salud humana (Jiajun et al.,2021).

Figura 3. Efectos de la contaminación por microplásticos



Fuente: Issac & Kandasubramanian (2018).

2.2.10. Microscopia Infrarroja

La espectroscopia posee la característica de identificar partículas microplásticas a través de su espectro vibratorio, para cada tipo de polímero este espectro es único y se introduce en configuraciones microscópicas, lo que autoriza la obtención de imágenes químicas. Las ventajas que poseen los atributos de mediciones espectroscópicas permiten la medición simultánea del tamaño y número de partículas MP (microplásticas) y la identificación de diversos polímeros, lo cual este método lleva ventaja frente a otros métodos analíticos. Las técnicas espectroscópicas vibraciones (FTIR) tienen una amplia tradición en caracterización y análisis de polímeros orgánicos sintéticos y productos en relación, lo que ofrece esta técnica es un identificación precisa de partículas de polímeros plásticos que se fundamenta en los espectros de huellas dactilares característicos de las vibraciones moleculares, el análisis espectroscópico puede adquirir

información enriquecida en características espaciales que permite la caracterización de composición química y morfología (Xu *et al.*, 2019).

Para el análisis se aplica espectroscopia infrarroja transformada de Fourier de reflexión total atenuada (ATR-FT-IR) e imágenes micro-FT-IR, esta metodología permite la identificación de polímeros de todos los microplásticos hasta un tamaño de 5 μm (Mintenig *et al.*, 2017).

2.3. Marco legal

– **Ley N°28611- Ley general del ambiente-MINAM:**

En esta ley se potencia los derechos de los ciudadanos en materia ambiental y al mismo tiempo los que tienen la obligación a contribuir para una gestión integral ambiental y su protección.

– **Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos-ANA-MINAM:**

La gestión integral del agua y su uso están regulados por la mencionada normativa.

– **Ley N°30588 - Ley de reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua como derecho constitucional-SINIA-MINAM:**

El artículo 7°A incluye el reconocimiento del derecho de todas las personas a acceder gradualmente y universalmente al agua potable, asegurando este derecho mediante la priorización del consumo humano sobre otros usos y promoviendo el manejo sostenible del agua.

– **Ley N°29338 - Ley de Recursos Hídricos- SINIA- MINAM:**

Normativa legal que regula el uso y la gestión integrada del agua.

– **Decreto Supremo N°004-2017-MINAM - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias:**

La normativa legal elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, mientras que mantiene otros que fueron en decretos anteriores (D.S. 2008, 2009, 2015).

– **Resolución Jefatural N°010 – 2016-ANA - Protocolo Nacional para el monitoreo de la**

calidad de los recursos hídricos superficiales:

Es necesario seguir esta regulación para llevar a cabo monitoreos de calidad ambiental del agua de los cuerpos de agua costeros y continentales

- **Resolución Jefatural N° 010-2019-MINAM, aprueba las Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos.**
- **Resolución Jefatural N°056-2018-ANA - Aprueban la Clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales:**

Mencionada resolución tiene por objetivo principal aportar la conservación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales, teniendo en cuenta el uso presente y potencial, siempre de la mano con el ECA.

- **Resolución Jefatural N°084-2020-ANA - Aprueban metodología: “Índice de calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS):**

Esta metodología ayuda a evaluar el estado de la calidad de los cuerpos de agua naturales describiéndolos de manera clara y comprensible.



CAPITULO III METODOLOGÍA

3. METODOLOGIA

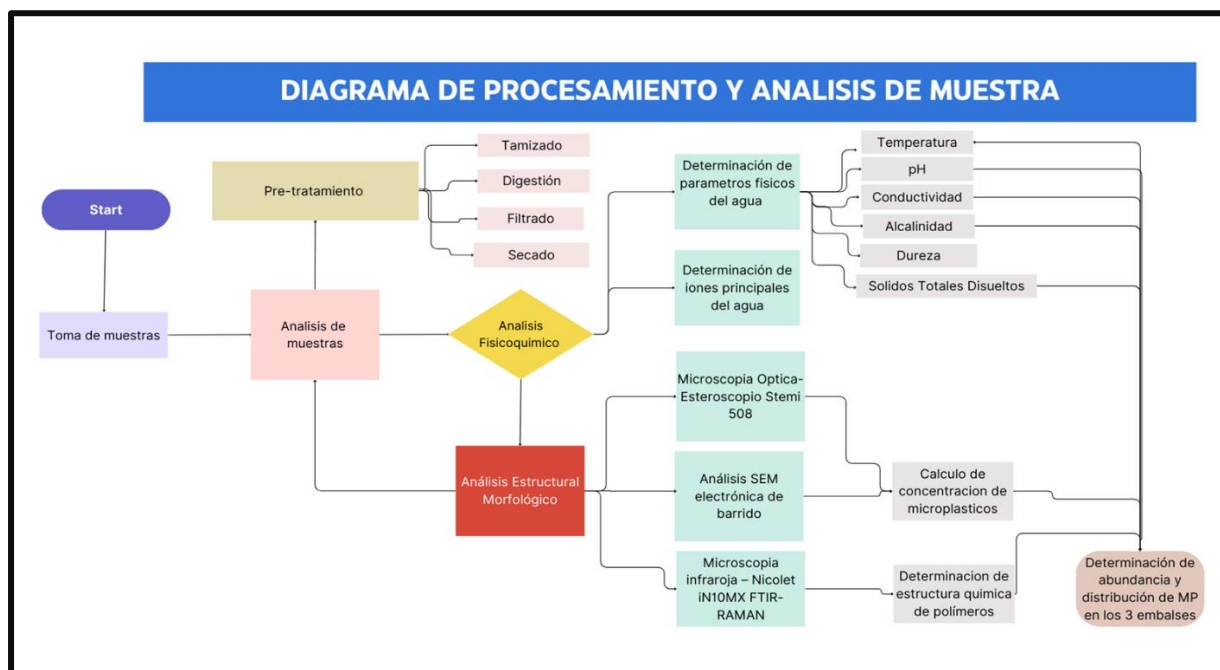
3.1. Tipo y nivel de investigación

Esta investigación es de *nivel descriptivo correlacional* debido a que se quiere observar presencia de microplásticos en aguas de los 3 embalses. Asimismo, se identificará la distribución de microplásticos en los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca. En cuanto al tipo de investigación según el enfoque es *cuantitativo* debido a que para la comprobación de los objetivos y la hipótesis del estudio es necesario que sea de forma empírica; por lo que se realizarán análisis de las muestras recolectadas. Referente a su finalidad de dicha investigación es de tipo *básica* dado que se generará un conocimiento sobre la distribución de microplásticos presentes en los embalses y su riesgo ecológico potencial de los mismo, esta revisión permitirá en lo posterior la realización de investigaciones medidas o formas de mitigación para el transporte y alojamiento de microplásticos en los embalses.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño por emplear en este trabajo de investigación será *no experimental – transversal*, ya que se realizará toma de muestras y analizará la distribución de micro plásticos en los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada, de tal modo que se logrará caracterizar la investigación mediante observaciones y análisis para determinar la presencia de las partículas microplásticas en dichos embalses, Según (Manterola.2018) menciona que una investigación de tipo transversal es útil para informar o divulgar resultados en las áreas de prevención y tratamiento, etiología, daño o morbilidad; diagnóstico, pronósticos e historia natural contextos en los que otorgaran diferentes grados de evidencia y niveles de recomendación. Este diseño de investigación será no experimental debido a que se realizará un análisis exhaustivo mediante diferentes muestras recolectadas para abarcar diversos grupos de interés de estudio y a si tomar medidas de prevención evitando la contaminación de los embalses.

Figura 4. Diagrama de Procesamiento y Análisis de Muestras



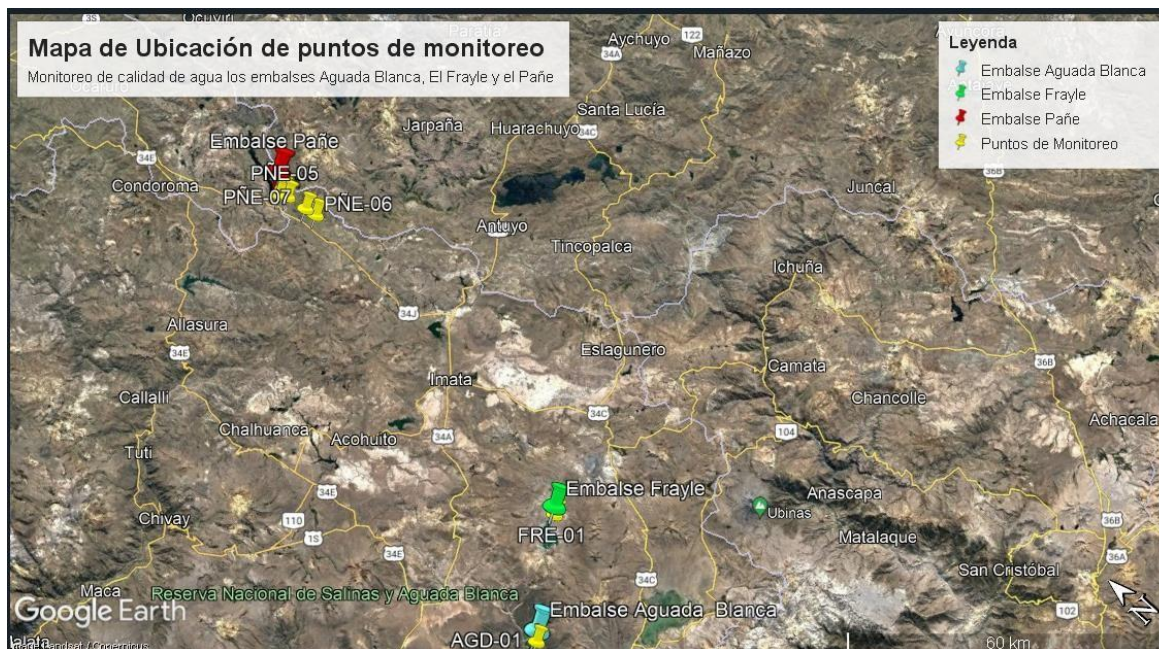
Fuente: Elaboración propia

3.3. Área de Estudio

3.3.1. Ubicación del Área de Estudio

Se realizó la toma de muestras con repeticiones en las 3 represas Aguada Blanca, El Frayle y El Pañe.

Figura 5. Mapa de Ubicación de puntos de monitoreo



Fuente: Elaboración propia

Accesibilidad

El lugar de la toma de muestras fue seguro se evitó caminos empinados dado que donde se realizó el muestreo se realizaban actividades antropogénicas, el lugar fue de acceso rápido, teniendo en cuenta las condiciones del agua favorables, fue fácil de acceder para la realización del trabajo.

El acceso a los embalses, es mediante la carretera partiendo de Ayacucho por la carretera asfaltada en 307 km; luego desde la Reserva Nacional Aguada Blanca hasta el punto de muestreo tiene una distancia de 8.5 metros por carretera asfaltada camino hacia el embalse de Aguada blanca son aproximadamente 21.9km para luego seguir por carretera hacia el norte para la toma de muestra del embalse EL Frayle que se encuentra a una distancia de 17.3km hacia la de carretera afirmada, finalmente se sigue la carretera por el norte hacia se voltea por carretera Imata siendo 54km la distancia que se tenía hacia el punto de monitoreo del embalse El Pañe se tuvo un recorrido aproximado de 5 horas con 33 minutos.

3.3.2. Ubicación del área de estudio

La cuenca del río Quilca-Chili está localizada al sur del Perú, y su ámbito está relacionado principalmente en el Departamento de Arequipa, sin embargo, están incluidos sectores pequeños

de los Departamentos de Cusco, la Figura 5 muestra la ubicación de los reservorios del Pañe, el Frayle y Aguada Blanca, asimismo se muestra la ubicación de bofedales aledaños a los reservorios junto a la red vial nacional para ver los accesos que tienen cada uno de estos reservorios.

Coordenadas geográficas:

Represa El Frayle

E: 268392.30 N: 8216041.90

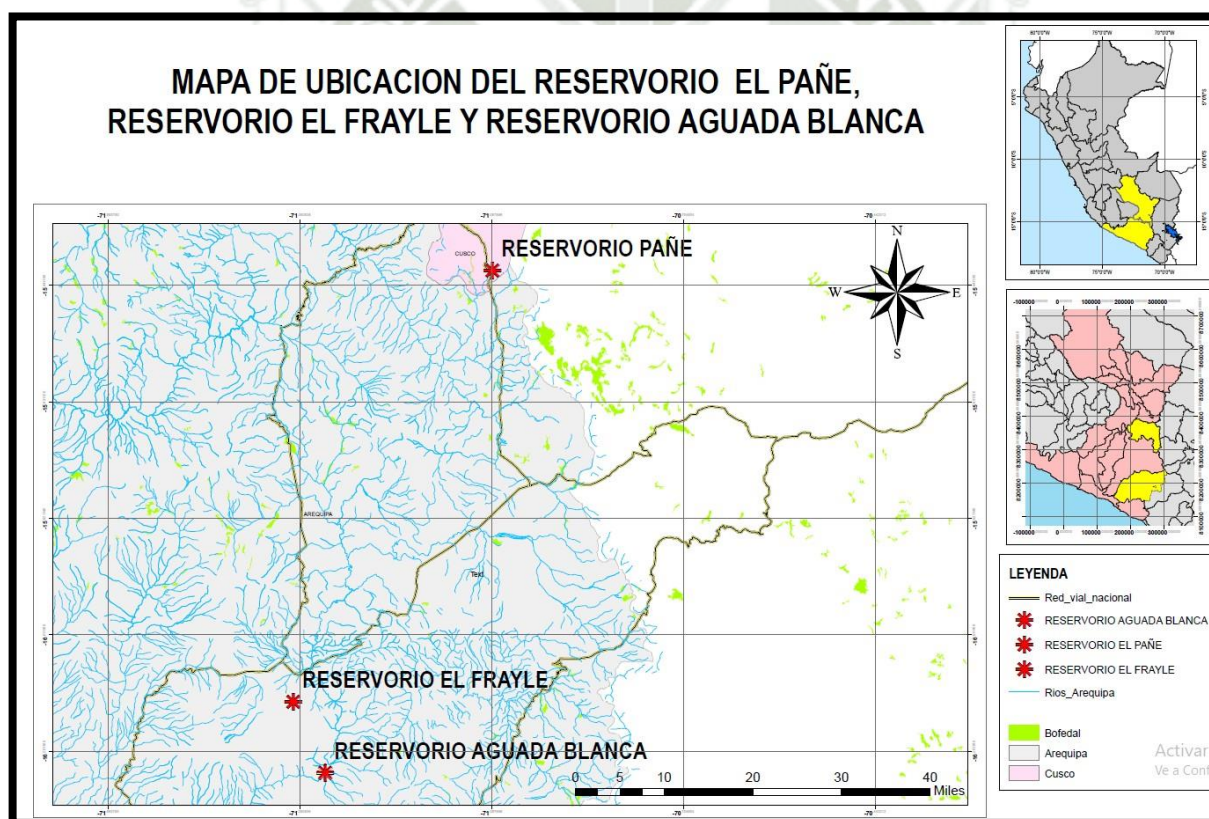
Represa Aguada Blanca

E: 249943.20 N: 8203631.70

Represa El Pañe

E: 277500 N: 8292500

Figura 6. Mapa de Ubicación del Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. Muestra

Los parámetros fisicoquímicos son de gran importancia dado que se encargan de determinar la calidad del agua, haciendo notar las condiciones actuales del agua, es decir los resultados mediante

la evaluación de los parámetros fisicoquímicos son precisos en la dimensión cronológica y no relatan mucho de la evolución de una carga altamente contaminante y la capacidad amortiguadora y resiliente de los ecosistemas del medio acuático (Barraza-Garza *et al.*, 2020).

3.3.4. Toma de muestras del Área de Estudio

La toma de muestras se realizó en los 3 embalses con repeticiones, posteriormente se ejecutó codificación para las siguientes estaciones:

Tabla 3. *Codificación de cada Embalse*

COD	ESTACION
FRE-01	EMBALSE EL FRAYLE
PÑE-01	EMBALSE EL PAÑE
AGB-01	EMBALSE AGUADA BLANCA

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Coordenadas de toma de muestras de los puntos de monitoreo

Tabla 4. *Estación de monitoreo de cada Embalse*

Estación de Monitoreo							
Embalse	Datos	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	Localización			
				Coordenadas UTM WGS 84	Descripción	Latitud	Longitud
Aguada Blanca	AGB- 01	18-10-23	10:00 am	Cuadrante 19K	Dentro del embalse	16°14'45.64"S	71°20'48.39"O
Frayle	FRE-01	18-10-23	11:00 am	Cuadrante 19K	Dentro del Embalse	16° 7'37.82"S	71° 9'50.84"O
Pañe	PÑE-01	18-10-23	11:00 am	Cuadrante 19K	Dentro del embalse	15°25'9.80"S	71° 4'2.80"O
Pañe	PÑE-02	18-10-23	11:00 am	Cuadrante 19K	Fuera del embalse	15°25'9.70"S	71° 4'2.80"O

Fuente: Elaboración propia

El trabajo de campo se inició con la recolección de las muestras de cada estación en época de estiaje

o época seca en el mes de octubre, por lo que se siguió el siguiente protocolo empezando por:

– **Preparación de materiales e Insumos**

Este procedimiento fue elaborado dentro del laboratorio INNOVERGY, como laboratorio, previamente se realizó la extracción de muestras de la muestra total colectada, así como para corregir su acondicionamiento fue corregida, escribiendo en el área de observaciones cuestiones acerca de la cantidad con el que inicio, la fecha del día realizada la observación, asimismo la fecha del vencimiento de los insumos y finalmente su colocación dentro de la cadena de custodia.

– **Procedimiento de monitoreo**

Se utilizó la metodología modificada de acuerdo al libro *American Public Health Association. (2023). Water Environment Federation. Lipps WC, Braun-Howland EB, Baxter TE, eds. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* menciona recurso más actuales y completos para medir los atributos químicos, biológicos y físicos del agua, asimismo ofrece orientación para elegir metodologías disponibles para elementos y compuestos específicos. La metodología usada es precisa y probada para analizar aguas naturales, suministros de agua, aguas residuales y embalses. El monitoreo se llevó a cabo con botas de seguridad asimismo se utilizó guantes quirúrgicos para el monitoreo del agua, el primer procedimiento de monitoreo inicio con el recojo de muestras, para ello el recipiente utilizado fue limpiado y lavado con agua del mismo embalse en dos oportunidades, seguidamente se procedió al recojo de la muestra con la Red de fitoplacton. Posteriormente de la toma se realizó una correcta rotulación del etiquetado con plumón indeleble y se recubrió la etiqueta con cinta adhesiva transparente con datos exactos de cada toma. Las muestras de agua recolectadas se colocaron en frascos de vidrios y se almacenaron de muestra en un cooler con refrigerante (ice pack) a temperatura a -4°C lo que aseguro su llegada al laboratorio en condiciones óptimas de conservación, finalmente se rellenó el formato de cadena de custodia.

Posteriormente, in situ se utilizó la red de plancton de $20\ \mu\text{m}$, esta es una de las redes empleadas para la evaluación de la comunidad del fitoplancton en ambientes acuáticos. Los extremos de la red de plancton (superior e inferior) están fabricados en lona resistente el

cuerpo de la red posee una forma troncocónica, es elaborado con malla Nylal. Su parte inferior está diseñado para colocar nuestros colectores de plancton. Asimismo, posee un depresor o peso lo cual permitió sumergir la red correctamente (Cai *et al.*, 2024). El método estándar de colecta con esta red se realizó mediante un arrastre horizontal en la superficie del mar con un periodo de 5 minutos a un máximo de 2 nudos de velocidad. Se filtró 50 ltrs con lapso con una repetición de 10 veces y el material filtrado se recolecto en un embace de 300 mL.

3.4. Métodos de Investigación

3.4.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses de Chili Colca Alto

3.4.1.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Se realizó la determinación de parámetros fisicoquímicos de las tomas de muestra de cada estación y se analizó: Temperatura, pH, Conductividad, Solidos Totales Disueltos, Conductividad, Dureza y Alcalinidad.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos In Situ utilizando el multiparámetro debidamente calibrado por INACAL. Asimismo, se analizó los parámetros de dureza y alcalinidad con diferentes metodologías.

3.4.1.2. Determinación de dureza

Se utilizo el método complejo métrico con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) tuvo una Concentración de EDTA (0.02 N o 0.01 M) posteriormente se pesó 0.9307 gramos de reactivo de EDTA y se diluyó con agua destilada en 250 mL (fiola de 250 mL) hasta enrazar. Se usó hidróxido de sodio (NaOH, 1 N) para regular el pH al momento de realizar el análisis (40 gramos preparo en 1L; 20 gramos en 0.5 Litros;10 gramos en 0.25 litros, seguidamente se cargó una muestra de 25 mL de agua de represa en un matraz de 250 mL. A la muestra de 25 mL se agregó 50 mL de agua destilada con una probeta. Luego se añadió 1 a 2 mL de NaOH (1.0 N) para llevar a pH alcalino ($\text{pH} > 10$), luego se agregó una pisca de murexida (Indicador para dureza cálcica).Se llevó a titular ó valorar la solución problema/muestra con EDTA (0.02 N) con una bureta, cuando se realizó cambio de color rosa a un lila de titulación (cambio de viraje). Finalmente se anotó el gasto de titulación/valoración y se calculó la dureza del analito

mediante la formula 1.

Formula 1:

$$\text{Dureza, mg/L} = V_{\text{EDTA}} \cdot C_{\text{EDTA}} \cdot 50000 / \text{mL muestra}$$

VEDTA: Gasto mL de la solución de 0.02 N

CEDTA: Concentración de EDTA 0.02 N

mL muestra: Volumen de la muestra cargada

3.4.1.3. Determinación de Alcalinidad

Se utilizó el método potenciométrico/titulación, se preparó H₂SO₄ a la concentración de 0.02 N (se diluyó 3 mL de ácido sulfúrico concentrado en 1.0 L; 1.5 mL de ácido sulfúrico en 0.5 L; 0.75 mL de ácido sulfúrico en 0.25 L), después se cargó una muestra de 50 mL en un matraz de 250 mL, luego se agregó 5 gotas de indicador de anaranjado de metilo, seguidamente se agitó el matraz y se tituló con el ácido sulfúrico en una bureta, cambio de color de amarillo a naranja; finalmente se anotó el gasto y se calculó la alcalinidad del analito mediante la fórmula 2.

Formula 2:

$$\text{Alcalinidad, mg/L} = V_{\text{ac.sulf}} \times C_{\text{ac sulf}} \times 50000 / \text{mL muestra}$$

Vac.sulf: Gasto mL de la solución de ácido sulfúrico 0.02N

Cac sulf: Concentración de Ácido Sulfúrico

mL muestra: Volumen de la muestra cargada.

3.4.1.4. Determinación de iones principales del agua

Se evaluaron las muestras tomadas de cada embalse (Frayle, Pañe y Aguada Blanca) y fueron analizadas en el laboratorio INNOVERGY-VRI-UCSM con automuestreador de cromatógrafo *Iónico Dionex AS-AP de Thermo Scientific*.

Tabla 5. Concentraciones de varios aniones y cationes en los embalses

EMBALSE	ANIONES			CATIONES				
	Cl-	S-	P-	Na	NH4+	K+	Mg+	Ca+
PAÑE IN	4.5581	3.0969	3.2564	12.95816	0.131108	6.40245	2.670696	11.80193
PAÑE OUT	53.8749	123.9705	9.4963	52.72743	0.03225	15.21268	10.89953	48.76298
FRAYLE	3.70325	4.2122	3.3955	14.59691	0.066608	6.271767	3.169488	14.87383
A.BLANCA	4.75445	4.22065	3.9378	15.67514	0.264325	6.555517	3.547425	17.65734

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 5 muestra las concentraciones de varios aniones y cationes en los embalses: PAÑE IN, PAÑE OUT, FRAYLE y A. BLANCA. Estas variaciones permiten evaluar diferencias en la composición iónica entre estos sitios, posiblemente asociadas a factores ambientales o a actividades humanas.

Para los aniones, el cloruro (Cl-) presenta su concentración más alta en PAÑE OUT (53.8749), mucho mayor que en el resto de los sitios, que varían entre 3.70325 y 4.75445. Esta alta concentración en PAÑE OUT sugiere una posible fuente de contaminación o una acumulación de cloruros. En PAÑE IN, FRAYLE y A. BLANCA, las concentraciones son bajas y uniformes, lo cual podría reflejar un entorno menos impactado. El sulfuro (S-) también muestra un valor elevado en PAÑE OUT (123.9705), aproximadamente 30 veces mayor que en los otros sitios. Este aumento significativo podría deberse a actividad industrial o a procesos específicos de descomposición. En cuanto al fósforo (P-), PAÑE OUT presenta un valor más alto (9.4963), mientras que en los otros sitios las concentraciones son más estables y oscilan entre 3.2564 y 3.9378, lo cual sugiere una fuente adicional de fósforo en PAÑE OUT.

Para los cationes, el sodio (Na) muestra valores elevados en PAÑE OUT (52.72743) en comparación con los otros sitios (12.95816 a 15.67514). Este aumento es coherente con los altos valores de aniones y podría indicar una fuente adicional de sodio, como aguas residuales o un aporte natural concentrado. Los otros sitios presentan valores similares, lo que sugiere menor influencia externa. El amonio (NH4+) tiene concentraciones bajas en todos los sitios, alcanzando

su punto más alto en A. BLANCA (0.264325) y el más bajo en PAÑE OUT (0.03225). En general, la baja presencia de amonio podría estar asociada a baja actividad de descomposición o a la ausencia de fuentes externas significativas.

El potasio (K^+) también varía entre 6.271767 y 15.21268, alcanzando su mayor concentración en PAÑE OUT, lo que podría estar relacionado con una fuente externa de potasio. Los valores de magnesio (Mg^+) son más altos en PAÑE OUT (10.89953) y más uniformes en los demás sitios (2.670696 a 3.547425), lo cual podría reflejar un aporte adicional de magnesio en PAÑE OUT. Finalmente, el calcio (Ca^+) alcanza su concentración más elevada en PAÑE OUT (48.76298), mientras que en A. BLANCA se mantiene relativamente alto (17.65734). Estos altos valores de Ca^+ sugieren una posible contribución de fuentes minerales o influencias antropogénicas en PAÑE OUT.

En resumen, las concentraciones significativamente elevadas de Cl^- , S^- , P^- , Na , K^+ , Mg^+ y Ca^+ en PAÑE OUT indican que este sitio podría estar recibiendo un impacto notable, ya sea de origen humano o natural, mientras que PAÑE IN, FRAYLE y A. BLANCA presentan valores más bajos y estables. Esta distribución de concentraciones iónicas permite obtener una perspectiva sobre la calidad del agua y la influencia de diferentes factores ambientales en cada sitio de muestreo.

3.4.1.5. Análisis de calidad de agua

a. Índice de calidad de agua (métrica de sensibilidad)

El Índice de Calidad del Agua (ICA), es una de las herramientas más utilizadas, permite identificar los factores que involucran el cambio de la calidad; la evaluación de la calidad del agua es un componente crucial que garantiza el análisis completo de los recursos hídricos y permite la implementación de acciones para un manejo completo de los recursos hídricos.

El Índice de Calidad del Agua fue creado y diseñado con la intención de brindar un método básico con la finalidad de describir la calidad de las aguas superficiales que son utilizadas para agua potable, obteniendo la ventaja de los (Parámetros ICA NSF) otros índices previos reflejan la adecuación del agua para un uso específico (Álvarez *et al.*, 2020).

b. Cálculo de la Concentración de Microplásticos

Estimación de masa de microplásticos: acerca de las unidades de concentración de microplásticos Actualmente no hay un consenso acerca de las unidades de concentración de microplásticos, se presenta tanto en las partículas como la masa de los plásticos. Una correlación brindada por (Tošić *et al.*, 2020) que se basa en mediciones de la masa total medida en gr/km^2 y el número de partículas de plástico en 570 remolques en todo el mundo.

El cálculo para hallar la relación empírica es:

$$\text{Log}_{10} M = 1.21 * \log_{10} N - 3.00 \text{ [g / km}^2\text{]}$$

Donde:

M: Concentración de masa [g / km^2]

N: Número de elementos por superficie [Elementos / km^2]

3.4.2. Determinación de la ocurrencia de los microplásticos en los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca

3.4.2.1. Pretratamiento

– Eliminación de interferentes

Se empezó realizando un tamizado de las 4 muestras del “Pañe E-1-2-3” (dentro del embalse-Pañe in) “Pañe E-4-6” (fuera de la cuenca-Pañe out), “Aguada Blanca E-7”, “Frayle E-8-9 se utilizó con un tamiz N°10 de 8 pulg. (203 mm) de diámetro, cada muestra que poseía 50 ltrs. de cada estación de muestreo se tamizó solo 300 ml de agua para separar y retener las partículas más grandes de las micropartículas, durante el tamizado se encontraron material interferente como musgo, piedras de tamaño, regular, residuos plásticos, residuos desechos entre otros, estos se retiraron con la ayuda de una pinza (Morales *et al.*, 2019)

– Reducción de volumen de muestra

Seguidamente en esta etapa se redujo el total del agua de las cuatro estaciones muestreadas Pañe (in), Pañe (out), Frayle y Aguada Blanca, es decir los 300 ml filtrados de cada estación se filtró nuevamente mediante el tamiz N°20 con tamaño de 850 μm , el contenido sobrante

se fue directo para la oxidación de agua que se realizó para su digestión (Sandoval Yoval *et al.*, 2019)

– **Degradación de materia orgánica**

Posteriormente se realizó la digestión de cada una de las muestras de las estaciones las cuales fueron tamizadas, este proceso se realizó debido a que todas las estaciones muestreadas no deben contener materia orgánica.

A cada una de las muestras tamizadas y reducidas su volumen se le añadió peróxido al 30 %, luego se llevó todas las muestras a la estufa para su secado por el periodo de 7 días; Cabe mencionar que diariamente se le hizo un monitoreo si el peróxido había secado se le añadió 5 a 6 gotas esto se realizó para obtener la misma cantidad de volumen en todas las muestras (Silva., 2023)

3.4.2.2. Filtrado de muestras para aislamiento de microplásticos

Se realizó el filtrado de cada una de las muestras digeridas a través del sistema de filtración “*Advantec Mfs, Inc “ Item # 311000- Kg13 Porta Filtro De Vidrio 13 Mm, Frit De Vidrio,* este sistema su cuerpo es de material de vidrio , el embudo que posee es de 1000 ml , con un tapón de silicona de goma N° 5 y con un diámetro del filtro de 13 mm. Se realizó filtración al vacío de las estaciones de muestreadas para el análisis de partículas, esto ayudó al análisis de agua para determinar contaminación por partículas de plásticos siendo este un método gravimétrico.

Dicha filtración trabajó conjuntamente con la bomba ideal para aplicación de filtración que es la bomba de vacío (*Vacuum Pump*) con dimensiones de 210 x170x250 con una potencia de motor de 160 w modelo 622.12.001. Finalmente se colocó a la estufa las 04 muestra durante 24^h 45°C para su secado y esterilización de las 04 muestras. Se almacenaron en un desecador a temperatura ambiente (M. Guo *et al.*, 2024).

Figura 7. *Eliminación de interferentes en muestras*



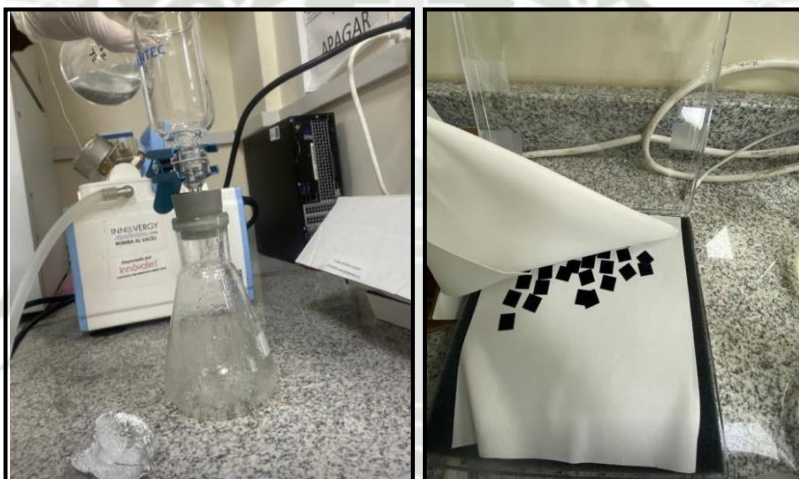
Figura 8. *Reducción de volumen de las muestras*



Figura 9. Degradación de materia orgánica con peróxido de hidrogeno al 30 %



Figura 10. Filtrado de muestras con filtros de silicio para aislamiento de microplásticos



La metodología usada es precisa y probada para analizar aguas naturales, suministros de agua, aguas residuales y embalses seguidamente se procedió al recojo de la muestra con la Red de fitoplancton.

3.4.2.3. Distribución de microplásticos

En diversos estudios, la distribución de microplásticos se centra en la agrupación de microplásticos según su morfología, color, tamaño y tipo de polímeros que muestran a través de mapas de distribución; el propósito de observar los efectos en estas áreas.

3.4.3. Identificación de la estructura química de los micro plásticos de los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca

3.4.3.1. Análisis Estructural Morfológico

a. Microscopia Óptica- Esteroscopio Stemi 508

Microscopio estéreo es una clase de microscopio óptico sirve para producir imágenes nítidas y luminosas en tres dimensiones. Diseño Greenough eficiente para demostrar y maximizar la calidad de imagen. Se caracteriza por poseer lentes apocromáticas que comparado con otros microscopios donde la muestra se observa solo en dos dimensiones corrigen el error de lente para los colores rojo, verde y azul y permiten obtener imágenes brillantes de color real comparado con otros microscopios que solo examinan la muestra en dos dimensiones. Este microscopio controla y realiza la compensación de la distancia entre pupilas y los defectos de visión individualmente, es decir que observan la muestra a través de dos lentes diferentes, lo que autoriza que la imagen puede ser ligeramente distinta para cada ojo, los estereoscopios son microscopios de luz reflejada lo que significa que un foco ilumina la muestra y la luz que se refleja por la muestra es observada a través de los objetivos y oculares por lo cual es innecesario laminar las muestras (ZEISS, 2019).

b. Microscopia Infrarroja – Microscopio Infrarrojo Nicolet iN10MX FTIR UFTI

La microespectroscopía de infrarrojo transformada de Fourier (FTIRM) es nombrada una técnica actual que con el transcurso del tiempo ha tenido auge en el estudio de sistemas que son biológicos. Dicha técnica es el resultado del vínculo de la espectroscopia de infrarrojo (FTIR) con la microscopia óptica. Permite ejecutar análisis exhaustivo del estado bioquímico de la célula, lo que permite monitorear los niveles de las indispensables biomoléculas que se encuentran dentro de la célula. La metodología de espectroscopia FTIR es un instrumento muy eficaz y bastante popular. El enfoque fundamental de esta técnica se basa en la excitación de grupos moleculares por un haz de luz infrarroja (2.5 a 15 μm ; equivalente a número de onda que oscila entre 4000 a 650 cm^{-1}), lo que provoca movimientos vibracionales en los enlaces moleculares. La espectroscopía FTIR, se origina principalmente en la interferencia de la radiación entre dos haces produciendo una señal que varía según el cambio de longitud de trayectoria entre los dos haces para producir un interferograma (Kirstein *et al.*, 2021). Los componentes que básicos del FTIR son: El interferómetro de Michelson, fuente Global o Nernstm espejos móviles y la región de infrarrojos

medio; que tiene una onda entre 4000 cm^{-1} hasta los 400 cm^{-1} y se puede fragmentar en 4 áreas. Del estiramiento X-H, denominada como la región de las vibraciones fundamentales comprendido entre 4000-2500 cm^{-1} de la región del infrarrojo medio (Yuri & Huayllani, 2020).

c. Análisis SEM electrónica de barrido

La microscopia electrónica de barrido (MEB o SEM) es una técnica que permite obtener imágenes de alta resolución a partir de las muestras con un haz de electrones, los electrones que se liberan son agilizados por una rejilla polarizada que posee carga positiva. Cuando se lleva a la muestra, el haz es enviados a un lugar a través de bobinas electromagnéticas, por lo que estas permitir hacer un barrido de la superficie a estudiar utilizando un detector de electrones que detecta electrones secundarios y luego, una computadora debe mostrar la lectura de los electrones para mostrar una imagen precisa de la superficie de una muestra con niveles extremadamente altos de detalle y nítidos (hasta 3 nm a 30kV), es decir, 1,000,000 X de aumento. Debido a su alta resolución y la capacidad de analizar las características estructurales, morfológicas y químicas de las muestras recopiladas en cada embalse, esta técnica de obtención de imágenes será eficaz en la investigación de microplásticos (Hernandez,2019).

d. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico mediante el programa OriginlabPro a través de histogramas de estaca se plotearon y se analizaran todos los espectros liberados posteriormente del conteo de microplásticos mediante estereoscopio luego la data se agregó a la matriz de datos donde estaba las estaciones de muestreo: estación de muestreo Aguada Blanca, Frayle y Pañe donde se encontraban con su respectiva codificación y medición de los MPs. Se conecto la data que se tenia en la matriz de Excel, se selecciono todo y se grafico (ploteo) y se hallaron los gráficos correspondientes.



CAPITULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del sistema de embalses de Chili Colca Alto

4.1.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Se realizó el monitoreo de calidad de agua de acuerdo a lo establecido en el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de recurso hídricos superficiales de la autoridad nacional del agua emitido en la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, en el cual se estandariza los criterios y procedimientos técnicos para evaluar la calidad de los recursos hídrico, continentales y maricosteros considerando el diseño de las redes de puntos de monitoreo, la frecuencia, el programa analítico, la medición de parámetros de campo (In situ), la recolección, preservación, almacenamiento, transporte de muestras de agua. El aseguramiento de la calidad y la seguridad del desarrollo del monitoreo. Los parámetros fueron obtenidos utilizando un medidor multiparámetro portátil HI9829 multiparámetro correctamente calibrado por la entidad competente INACAL.

Tabla 6. Resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos

Código de muestra	Descripción	T °C	pH	CND, uS/cm	STD, mg/L	Alcalinidad, mg/L	Dureza, mg/L
PÑE-01	Pañe	19.97°C	7.49	59.44	34.19	22	12
AGB-01	Aguada Blanca	20.30°C	7.85	286.30	143.50	46	98
FRE-01	Frayle	20.20°C	8.40	505.30	253.00	76	80

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron resultados de temperatura pH, conductividad eléctrica, solidos totales disueltos, alcalinidad y dureza de las 04 estaciones de muestreo; la estación de muestreo el Pañe obtuvo parámetros de temperatura de 19.97°C, pH 7.49 y una conductividad 59.44 uS/cm, solidos totales disueltos 34.19 mg/L, una alcalinidad 22 mg/L y una dureza 12 mg/L, en la estación de muestreo de Aguada Blanca con temperatura 20.30° pH 7.85, conductividad de 286.30 uS/cm, solidos totales 143.50 mg/L, alcalinidad de 46 mg/L, 98 mg/L, en la estación de muestreo Frayle con temperatura de 20.20 °C, pH 8.40, con conductividad 505.30 uS/cm, solidos totales disueltos 253 mg/L, alcalinidad 76mg/L y una dureza de 80mg/L.

Según el D.S. N° 004-2017-MINAM “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, dicho decreto aprobó Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Se realizó una comparación de los resultados con los niveles dispuestos en dicho reglamento en las categorías de Categoría 1: Poblacional y Recreacional, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales y la categoría 4: Conservación del ambiente acuático (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de resultados de análisis de parámetros fisicoquímicos con los ECAs de calidad de agua

Estación	Parámetros	Unidad de medida	Resultados obtenidos	Categoría 1: Poblacional y Recreacional			Cat 3: Riego de vegetales y bebida de		Categoría 4:
				A1	A2	A3	D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales	E1: Lagunas y lagos
				Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado			
PÑE-01	Temperatura	°C	19.97	Δ 3	Δ 3	**	Δ 3	Δ 3	Δ 3
	pH	Unidad de pH	7.49	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6,5 a 9,0
	CND	(μS/cm)	59.44	1500	1600	**	2500	5000	1000
	STD	mg/L	34.19	1000	1000	1500	**	**	**
	Alcalinidad	mg/L	22	**	**	**	**	**	**
	Dureza	mg/L	12	500	**	**	**	**	**
AGB-01	Temperatura	°C	20.0	Δ 3	Δ 3	**	Δ 3	Δ 3	Δ 3
	pH	Unidad de pH	7.85	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6,5 a 9,0
	CND	(μS/cm)	286.3	1500	1600	**	2500	5000	1000
	STD	mg/L	143.50	1000	1000	1500	**	**	**
	Alcalinidad	mg/L	46	**	**	**	**	**	**
	Dureza	mg/L	98	500	**	**	**	**	**
FRE-01	Temperatura	°C	20.0	Δ 3	Δ 3	**	Δ 3	Δ 3	Δ 3
	pH	Unidad de pH	8.40	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	6,5 a 9,0
	CND	(μS/cm)	505.30	1500	1600	**	2500	5000	1000
	STD	mg/L	253	1000	1000	1500	**	**	**
	Alcalinidad	mg/L	76	**	**	**	**	**	**
	Dureza	mg/L	80	500	**	**	**	**	**

Fuente: Elaboración propia

** : No aplica para la categoría según la normativa.

Δ 3 : significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada. Elaboración propia

La calidad del agua está relacionada con la contaminación por microplásticos, se ha demostrado que la contaminación por microplásticos ha progresado más en aguas de poca calidad que en aguas de buena calidad, lo que indicaría que el proceso de entrada y las fuentes de origen de los microplásticos son similares a aquellos de otros contaminantes (Rawintra E. *et al.*, 2022).

Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad, Sólidos Totales Disueltos y dureza están dentro del rango permitido por la normativa de los ECA en las distintas categorías, indicando que las condiciones de calidad del agua de los embalses para estos parámetros son estables. Si bien la alcalinidad es un parámetro no estandarizado en la normativa, se puede determinar que su presencia en las muestras es baja; para la alcalinidad los límites razonables para fines de calidad y tratamiento de aguas están entre 30mg/L y 250mg/L, si es inferior a 10 mg/L sería agua con menor capacidad amortiguadora existiendo riesgo de producir fuertes variaciones en el pH (Diaz T. *et al.*, 2019).

4.2. Determinación de la ocurrencia de los microplásticos en los reservorios El Frayle, El Pañe y Aguada blanca

4.2.1. Análisis Estructural Morfológico de microplásticos presentes en embalses

4.2.1.1. Identificación de microplásticos por Microscopia Óptica- Esteroscopio Stemi 508

Se realizó un conteo mediante el Esteroscopio Stemi 508 para describir, identificar, cuantificar y categorizar por tamaño (diámetro y altura), forma (amorfa, film y fibra), tipo (caracterización de polímeros por FTIR) y color; asimismo se detectó específicamente el número total de partículas microplásticas mediante el uso del programa ZZEISS y SteREO Discovery.V1W2 que poseía cada muestra que estaba en los filtros de mistura de esteres.

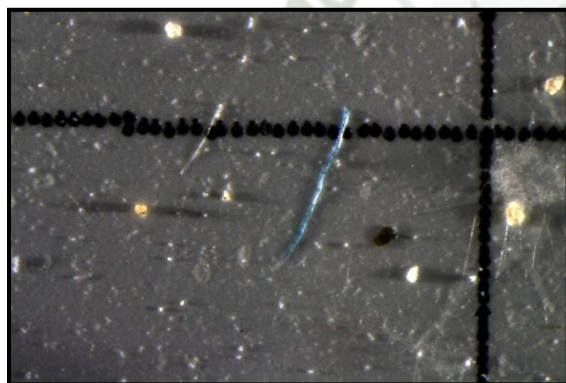
En la **Figura 11** se muestra el proceso de conteo de partículas microplásticas de los embalses, de la estación Pañe con el Objetivo 50X se muestra una fibra azul tipo de polímero (*celulosa*) de tamaño mediano junto a una fibra blanca tipo de polímero (*PET*) con menor diámetro, posteriormente se observa de la estación Frayle con el Objetivo 80X una partícula amorfa de tipo de polímero (*Etileno acetato de vinilo*) color fucsia con un diámetro regular y finalmente en Aguada Blanca con el objetivo 80X se observó 3 fibras delgadas de diferentes tamaños de diámetros de color translucido de tipo de polímero (*PET*) negro tipo de polímero (*celofán*) y marrón de tipo de polímero (*poliéster*).

En el **Anexo 1** se muestran imágenes de los microplásticos de los embalses Aguada Blanca, Pañe y Frayle tomadas mediante estereoscopio a diferentes objetivos o zoom.

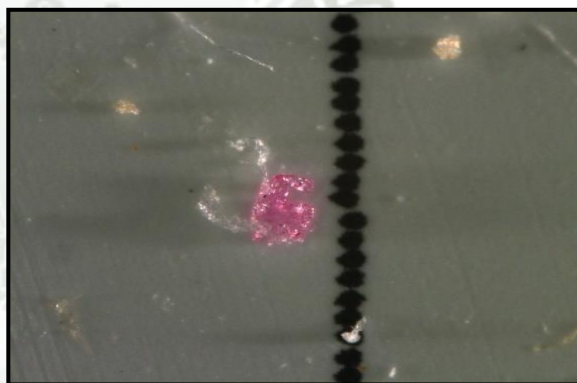
Figura 11. *Conteo de microplásticos en Estereoscopio a diferentes objetivos de las estaciones de muestreo Pañe, Frayle y Aguada Blanca.*



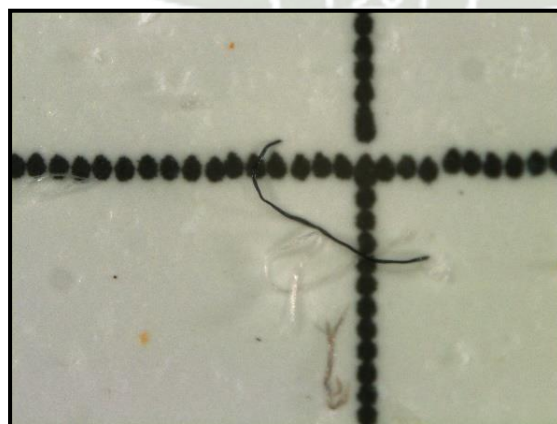
Estereoscopio y uso del programa ZZEISS y SteREO Discovery.V1W2



Pañe (objetivo 50X)



Frayle (objetivo 80X)



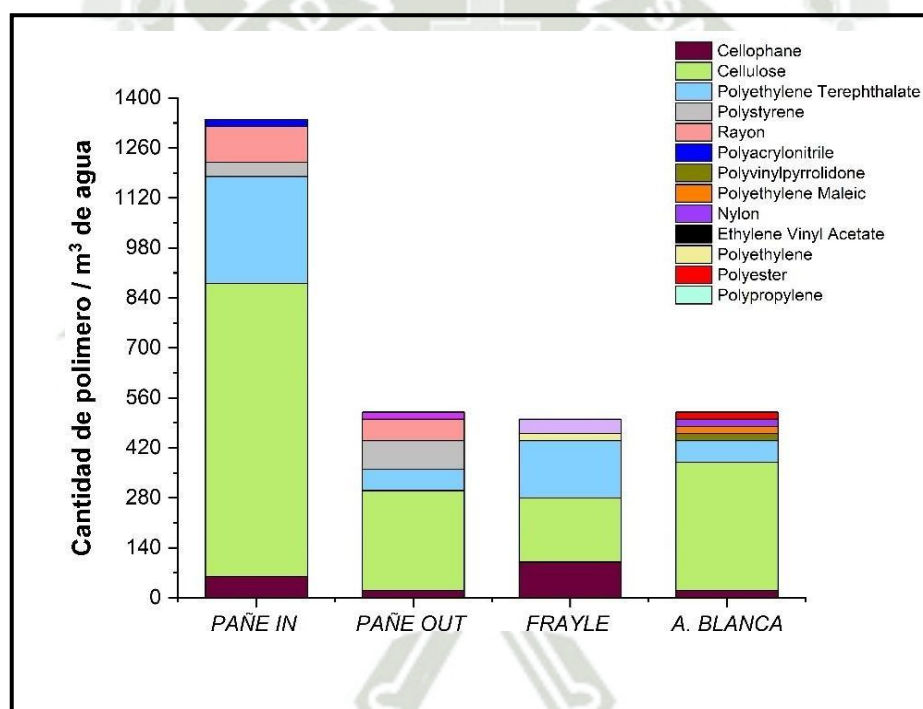
Aguada Blanca (objetivo 80X)

4.2.1.2. Caracterización de microplásticos por Microscopia Infrarroja – Microscopio Infrarrojo Nicolet iN10MX FTIR UFTI

Se realizaron diversos gráficos de estaca que reflejan: la estructura química de los microplásticos, distribución de tipo, distribución de volumen, distribución de N° de partículas y distribución de tamaño y distribución de colores con sus unidades de medición correspondientes presentes en las estaciones de muestreo de Pañe dentro (PAÑE IN), Pañe fuera (PAÑE OUT), Frayle y Aguada Blanca todas las partículas microplasticas fueron identificados mediante el Microscopio Infrarrojo Nicolet iN10MX FTIR mediante el programa estadístico OriginLabPro.

a. Distribución de tipo de microplásticos de embalses por identidad química

Figura 12. Estructura molecular - Identidad química de microplásticos en embalses



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 12 se presenta un gráfico de estaca que refleja la identidad química y cantidad de los microplásticos presentes por estación de muestreo.

La estación Pañe dentro (Pañe In) presenta en mayor porcentaje celulosa (*cellulose*) con una cantidad de 840 mp/m³ de agua; seguido de tereftalato de polietileno (*polyethylene Terephthalate* -PET) con 280 mp/m³ de agua y Rayon con 100 mp/m³ de agua. En menor proporción presenta

celofán (*cellophane*), poliestireno (*polystyrene*) y poliacrilonitrilo (*polyacrylonitrile*).

La estación fuera del embalse (Pañe Out) posee una menor cantidad de polímeros con respecto a la toma de muestra (Pañe in), donde destaca en mayor porcentaje la presencia de celulosa (*cellulose*) con una cantidad de 280 mp/m³ de agua, seguidamente de poliestireno (*polystyrene*), tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate* -PET), celofán (*cellophane*), rayon, nylon.

La estación del Frayle presenta en mayor cantidad los polímeros de celulosa (*cellulose*) y tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate*-PET), seguidamente de celofán (*cellophane*) y polietileno (*polyethylene*) en menor cantidad.

La muestra tomada en la estación de Aguada Blanca posee una mayor cantidad de celulosa (*cellulose*) con 350 mp/m³ de agua, seguido en un menor porcentaje de polímeros como tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate*-PET), celofán (*cellophane*), poliéster (*polyester*), nylon, polietileno maleico (*polyethylene maleic*), polivinilpirrolidona (*polyvinylpyrrolidone*).

La gráfica en conjunto indica que la estación dentro del embalse (Pañe In) evidencia una mayor cantidad de polímeros por m³ de agua en comparación con las otras tres estaciones de muestreo (Pañe out, Frayle y Aguada Blanca) que presentan una cantidad semejante entre sí.

Respecto a la distribución de los polímeros, se observa que celulosa (*cellulose*) se encuentra en mayor proporción dentro cada una de las estaciones, seguido del polímero tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate* -PET) y celofán (*cellophane*).

La identificación de microplásticos por Microscopia Infrarroja FT-IR y RAMAN es ampliamente usada para la identificación de microplásticos (*Vianello et al., 2013*). Los microplásticos se reportan de formas variadas como polipropileno (*polypropylene*), polietileno (*polyethylene*), tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate*), entre otros. Sin embargo, algunos tipos de celulosa semi-sintética como celofán (*cellophane*), rayon y la celulosa (*cellulose*) muestran gran predominio en estudios de microplásticos; estas partículas son de base celulosa y sus características químicas son similares a las fibras como algodón y yute, por lo cual son complicadas de distinguir

entre fibra natural o semi-sintética (Peeken *et al.*, 2018).

En el presente estudio se puede inferir que las cantidades registradas se atribuyen a la distribución que pueden presentar los microplásticos en los reservorios, presentándose mayores cantidades de celulosa (*cellulose*) en todas las muestras; al ser de origen natural o semi-sintético, se relaciona como posible fuente de contaminación la presencia de producción acuícola y el alto grado de eutrofización por floraciones algales en represas como el Pañe (Mamani, 2017). Asimismo, se tiene la presencia de celofán (*cellophane*) en todas las muestras; el celofán está compuesto de celulosa de madera, algodón, cáñamo u otras fuentes. tiene resistencia ante aceites, grasas y actúa como una excelente barrera contra la humedad y el oxígeno (Laurence W. McKeen, 2017), por ello se puede inferir el mismo origen que la celulosa.

Respecto a la presencia del polímero tereftalato de polietileno (*polyethylene terephthalate - PET*) se encuentra presente en todas las muestras en cada embalse, pudiendo derivar su origen desde restos de productos como envases de alimentos, botellas, redes, cuerdas, sugiriéndose como fuentes locales la actividad acuícola.

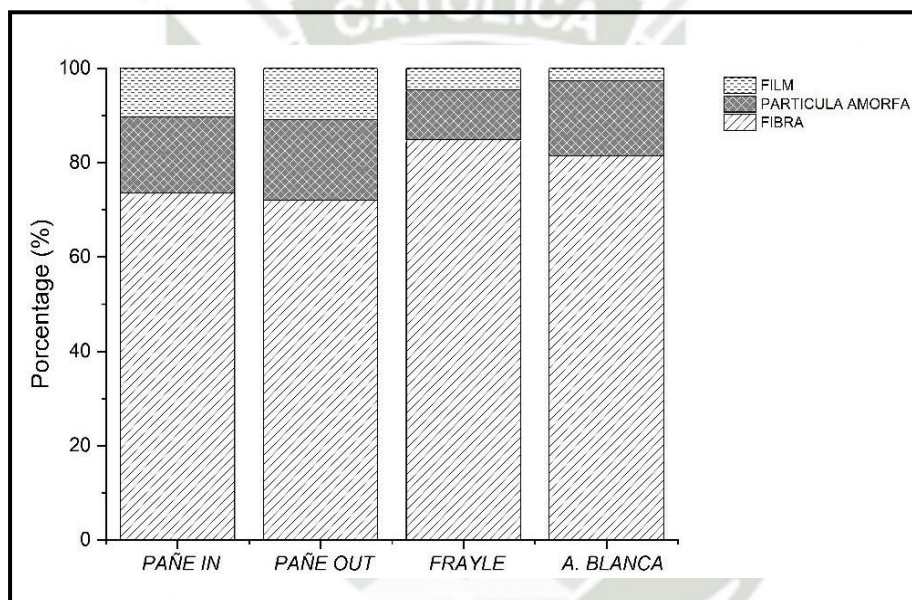
En las estaciones de Pañe in y Pañe out se encuentra poliestireno (*polystyrene*); el poliestireno es ampliamente usado en varios productos debido a su alta capacidad de tensión y estiramiento, propiedades químicas estables y viabilidad económica; su uso es extenso a nivel industrial por su bajo costo (Shahida A. *et al.* 2023). Los microplásticos originados en el área pueden ser provenientes de la degradación de elementos plásticos más grandes en equipos de actividades de pesca.

Respecto a la presencia de menores cantidades de microplásticos de polímeros como poliéster, rayon, nylon, polietileno maleico, polivinilpirrolidona en estación Aguada Blanca; polietileno es estación del Frayle; poliácronitrilo en estación Pañe In y nylon en estación Pañe Out; además de indicar como posible origen las actividades acuícolas y de pesca locales, también se puede señalar como fuente la contaminación importante la deposición atmosférica y vertimientos de drenajes autorizados) y actividades cercanas (fuentes contaminantes, pasivos mineros, actividades productivas e industriales, zonas acuícolas y recreativas).

Diversos estudios y modelos atmosféricos han demostrado que la dispersión atmosférica global puede ser causal de la aparición de microplásticos en áreas incluso con baja densidad de población y áreas de gran altitud (Evangelidou *et al.*, 2020; Isobe *et al.*, 2017), por tanto, aunque las represas del Pañe, Aguada Blanca y el Frayle se encuentran geográficamente lejanas a centros urbanos no están exentas de presentar contaminación por dichos microplásticos, aunque en menores cantidades.

b. Distribución de tipo de microplásticos de embalses

Figura 13. *Distribución de tipo de microplásticos*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se presenta el porcentaje de distribución de los tipos de microplásticos basados en la apariencia y morfología, se identificaron tres tipos de microplásticos: Film, partículas amorfas y fibra. Los resultados muestran que existe un mayor porcentaje dominante es del tipo fibra, teniendo como primer lugar la estación del Frayle, seguido de Aguada Blanca y una proporción semejante en las muestras del Pañe (In y out).

Las partículas amorfas se encuentran en proporciones semejantes de menos del 20% en las estaciones de Pañe in, Pañe out y Aguada blanca, por otro lado, en el Frayle se encuentran en un 10%. Las partículas de tipo Film se encuentran en mayor proporción en las estaciones del Pañe in

y Pañe out con un 10%, y en menor porcentaje en el Frayle y Aguada Blanca.

Las partículas del tipo fibra son de forma alargada y delgada como hilos, en contraste con las partículas del tipo film son películas delgadas y planas como plástico ligero. Las partículas amorfas son procedentes de fragmentos duros o elementos de plásticos rotos (Jiang *et al.*, 2018).

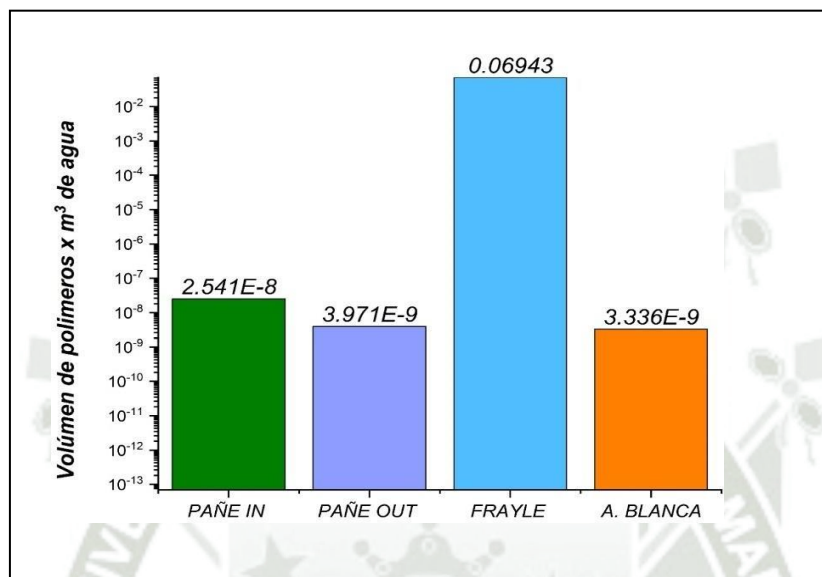
Comparado con el estudio de (Díaz *et al.*, 2019) en la región Cusco donde se realizó cuantificación de microplásticos en el sistema de agua potable, se identificó en las muestras de agua tomadas en la laguna de Piuray un 76 % de partículas amorfa y 24 % de fibras, comparando con nuestra investigación llegando hasta 90 % y 80% de partículas de tipología fibra en el embalse de Frayle y Aguada Blanca respectivamente, es un tema realmente alarmante, destacando la importancia del embalse de Aguada Blanca que constituye el sistema regulador, la cual recepciona el agua que descargan todos los embalses aguas arriba, cuyo caudal promedio es de 11.13 m³/s equivalente a 351 Hm³/año que pasan por dicho embalse (Puente de la vega *et al.*, 2019).

Basados en otros estudios, se indica que los tipos de microplásticos más comúnmente encontrados en aguas superficiales lenticas son las del tipo morfológico fibras (Jiang *et al.*, 2018). La abundancia de las partículas del tipo fibra en la investigación podría correlacionarse a la alta presencia del tipo celulosa (*cellulose*), algunas fibras semisintéticas encontradas en las muestras pueden ser derivadas de restos de herramientas de pesca como cuerdas.

Por otra parte, la presencia de polímeros de tipo partícula amorfa y film que se presentan en menores cantidades estaría en correlación con la presencia de otros polímeros, principalmente tereftalato de polietileno (*polyethylene Terephthalate* -PET) según resultados mostrados en Figura 12, este polímero es común en materiales de contenedores, botellas que terminan como residuos en los ecosistemas acuáticos (Yuxi Y. *et al.*, 2020).

c. Distribución de volumen de microplásticos

Figura 14. *Distribución de volumen*



Fuente: Elaboración propia

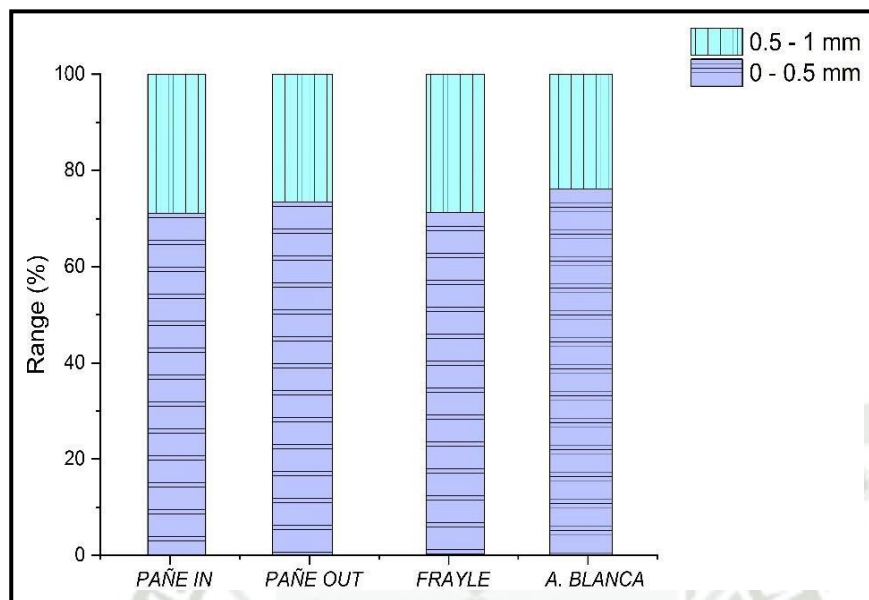
En la figura 14 se observa la distribución de volumen de polímeros por m³ de agua en las cuatro estaciones, teniendo el mayor volumen de polímeros la estación muestreada del Frayle con un volumen 69.43034 cm³/m³ de agua, asimismo le sigue con un menor volumen respecto al Frayle, la estación del (Pañe in) con un volumen de 2.54343 cm³/m³ agua y por último en las estaciones de Pañe out y Aguada Blanca poseen menor volumen de 0.39714 y 0.2504 cm³/m³ respectivamente.

De acuerdo a ello, se puede observar que el volumen de polímeros del Frayle es significativamente alto en comparación a los otros embalses analizados, lo que indica que los microplásticos presentes en el Frayle son de un tamaño mucho mayor que los otros y por ende genera mayor volumen. Según Semensatto D. *et al.*, (2022), el tamaño de la partícula y su morfología puede producir diferentes resultados para muestras con el mismo número de partículas; es así que, aunque en la muestra del embalse Pañe In se tenga mayor número de partículas que del embalse El Frayle (figura 18), estas pueden presentar características distintas que influyen, como el tamaño.

d. Resultados de número de partículas y distribución de tamaño

Distribución de tamaño

Figura 15. *Distribución de tamaño*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el porcentaje de distribución de tamaño de las micropartículas plásticas en los cuatro estaciones Pañe in, Pañe out, Frayle y Aguada Blanca. Se puede observar que un mayor porcentaje de partículas se encuentran en el rango de 0 – 0.5 mm, teniendo alrededor de un 70% a 75%; en cuanto al otro rango de 0.5 – 1 mm, se tiene una menor incidencia en las cuatro estaciones con un porcentaje del 25 al 30 %.

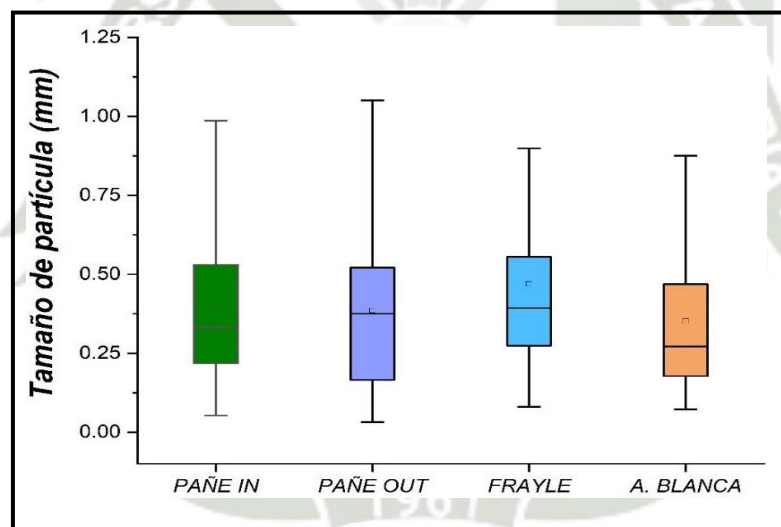
La mayor aparición de microplásticos del tamaño entre el rango 0.5 – 1 mm puede indicar que los polímeros plásticos tuvieron el tiempo suficiente para fragmentarse desde mayores tamaños de residuos; los microplásticos pueden degradarse en micro partículas menores a 1mm después de 12 meses de exposición a irradiación ultravioleta y fenómenos de abrasión mecánica por arenas (Song, *et al.*, 2017).

Las zonas rurales altoandinas al sur del Perú, como la zona donde se encuentran ubicadas los tres embalses del presente estudio, reciben altos grados de radiación solar (Molina *et al.*, 2019), es así que se podría concluir que los fragmentos de partículas pueden haber sufrido por degradación y

fragmentación por exposición a irradiación ultravioleta y fenómenos de abrasión. Es relevante el conocimiento del tamaño de las partículas dado que en el estudio realizado por (Aliabada et al., 2019) se halló la presencia de microplásticos en aguas superficiales del mar de la bahía de Chabahar de 1mm hasta 5 mm identificando los posibles impactos por origen de vertimiento de aguas residuales entre los que destaca el lavado de ropa, comparado con nuestra investigación la mayor significancia de que estos embalses son el abastecimiento y fuente directa de consumo para la población de Arequipa hallando partículas de hasta 1mm resalta la relevancia del problema en nuestra ciudad.

Distribución de tamaño con variación

Figura 16. Diagrama de caja de bigotes de distribución de tamaño de microplásticos presentes en embalses



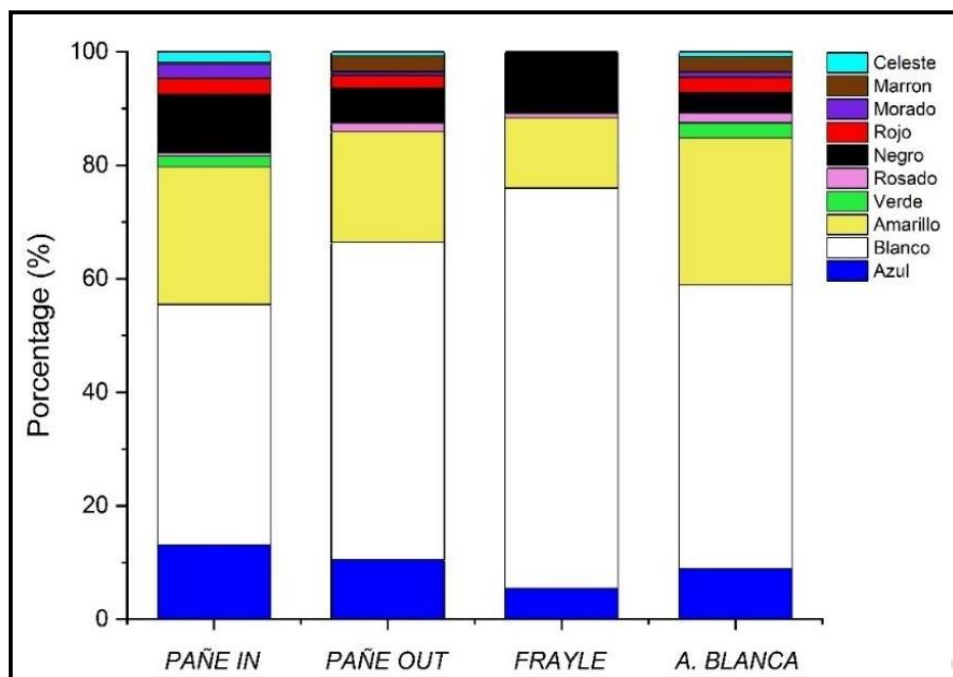
Fuente: Elaboración propia

En la figura N°16 se representa la variación de tamaños de partícula en global que posee cada estación de muestreo.

El diagrama permite distinguir los patrones de distribución espacial, con una concordancia entre las medianas las cuatro muestras, cabe indicar que no se presentan datos atípicos fuera de los rangos mostrados. La muestra del Pañe out muestra mayor rango de variedad en cuanto los tamaños de partículas, seguido del Pañe in, Fayle y Aguada Blanca.

En la muestra del Pañe In el tamaño de partícula varia de 0.05mm a 0.98mm, para el Pañe out varia de 0.03mm a 1.05mm, en el Fayle varia de 0.08mm a 0.9mm, por último, para la estación Aguada Blanca varia de 0.07mm a 0.87mm.

Figura 17. *Distribución de colores de microplásticos*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 muestra el grafico una diversificación de colores de las partículas microplásticas presentes en las cuatro estaciones.

Se halló en la muestra de Aguada Blanca la mayor diversificación de colores de partículas microplásticas, encontrándose colores como celeste, marrón, morado, rojo, negro, rosado, verde, azul, teniendo al color blanco como porcentaje predominante seguido del amarillo.

Posteriormente se encuentra con un alto porcentaje de diversificación de colores la muestra del Pañe in, donde se observan colores como celeste, morado, rojo, negro, rosado, verde, azul, presentando un mayor porcentaje el color blanco seguidas del color amarillo. La muestra del Pañe out contiene partículas del color verde, café, morado, rojo, negro, rosado, azul, amarillo y una gran dominancia en color blanco.

El Frayle a comparación de las otras tres estaciones muestreadas posee la menor diversificación de colores, se encuentran los colores negro, rosado, amarillo, azul y con gran predominancia el color blanco.

El color de los plásticos aumenta las características estéticas de los productos, puede ser aplicado como pintura externa o moldeado con el producto, es decir coloreado internamente mediante la adición de colorantes en la sustancia plástica (Asim N. *et al.*, 2024).

Para el presente estudio, los resultados demuestran que los microplásticos del color blanco es el más frecuente en las represas del El Pañe, Aguada Blanca y El Frayle, seguido de los microplásticos de color amarillo, azul y negro.

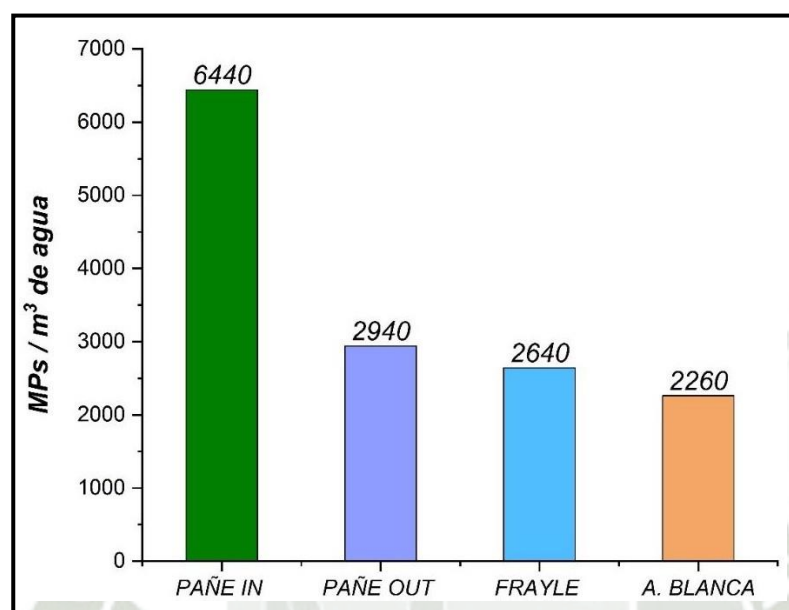
Resultados similares han sido identificados en otras emblases, como en el embalse de Guarapiranga, Sao Paulo (Gerolin, C.R. 2024), donde la predominancia de color de partículas en el embalse fue de blanco/transparente, negro y azul, asimismo uno de los polímeros más abundantes también fue de PET. En los reservorios Lakes Mead y Mohave, Rio Colorado - USA (Baldwin A.K, *et al.*, 2020) el color más común fue transparente, atribuido en parte a la decoloración por degradación, asimismo las partículas azules fueron comunes en todas las muestras. En el reservorio Three Gorges, China (Di M, Wang J, 2018) el color dominante en microplásticos fue el transparente de tamaño pequeño.

Considerando que las microfibras son las más abundantes en el presente estudio (figura 13) se podría relacionar que la mayoría de las partículas son del color blanco del tipo morfológico fibra; las microfibras de diferentes colores son probablemente originadas de textiles sintéticos (Rochman CM, *et al.*, 2019). La abundancia en colores claros, como el blanco y amarillo, puede ser causado por la función de desgaste y descoloramiento con la luz y efectos hidráulicos (Ren X., *et al.*, 2020).

Cabe señalar que el color puede influenciar en la fauna al ingerir microplásticos, algunos estudios sugieren que los microplásticos con colores específicos son seleccionados por algunos organismos (Rochman CM, *et al.*, 2019). Algunas especies de peces omnívoros consumieron más fragmentos

de los colores amarillo y azul, mientras algunos evadieron fragmentos del color blanco; podría explicarse que ciertos colores son más atractivos a algunos peces debido a las habilidades visuales de cada especie (Ríos J. *et al.*, 2022).

Figura 18. *Distribución de cantidad de microplásticos*



Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra la distribución de las cantidades presentes de microplásticos en las cuatro estaciones de muestreo, la estación de muestreo Pañe in se halló la mayor cantidad de plásticos presentes con un total de 6440 microplásticos/m³ de agua, posteriormente se encuentra la estación del Pañe out con una cantidad de 2940 microplásticos/m³ de agua, seguidamente de la estación de muestreo el Frayle con un total de 2640 microplásticos/ m³ de agua y finalmente se encuentra la estación de muestreo Aguada Blanca con un total de 2260 microplásticos/ m³ de agua teniendo el menor número de partículas microplásticas. En comparación a la investigación internacional realizada por (Xiong et al., 2021) muestra la distribución y origen de microplásticos en el embalse más grande de China: el embalse de Danjiangkouen en el cual detectaron microplásticos en las 39 muestras recolectadas, aquí se tuvo resultados de muestras de agua superficial del embalse, muestra intermedia y del fondo del embalse tendiendo una concentración de microplásticos desde 530 MPs/m³ a 24.798 MPs/m³ en el embalse lo que muestra una gran preocupación para seguir realizando investigaciones acerca de la presencia de microplásticos en los embalses del Perú

específicamente del Pañe, Frayle y Aguada Blanca dado que la toma de muestras y análisis de las mismas que se realizó, fueron superficiales lo que indicaría la posibilidad de encontrar mayores cantidades en el fondo de los embalses, teniendo así una gran relevancia el problema que de estos embalses por las presencia de estas micropartículas contaminantes.

En ese contexto, el embalse Pañe In muestra mayor cantidad de microplásticos en comparación a los otros embalses analizados, siendo un dato importante para el análisis final del presente estudio, ya que de acuerdo al grafico de estaca de distribución por volumen se muestra que en el Frayle se encuentra microplásticos en mayor volumen que en comparación al Pañe in, lo que indicaría que los microplásticos presentes en el Pañe in son de menor tamaño que los de Frayle y por ende de menor volumen; no obstante dichos resultados generan una gran preocupación en cuanto a la contaminación por microplásticos en ambos embalses trayendo posibles impactos ecológicos.

Se debe entender que los microplásticos no solo son la cantidad que presentan las muestras, sino también son un conjunto diverso de contaminantes que incorporan un rango diverso de tamaños, colores, formas, son compuestos de varios polímeros (Rochman CM, *et al.*, 2019); dos muestras que comprenden similares cantidades de microplásticos pueden tener diferentes impactos ecológicos (Semensatto D. *et al.*, 2022).

Debido al tamaño de los microplásticos, estos pueden ser ingeridos por todos los animales, desde zooplankton a predadores mayores como peces y aves. Los microplásticos de menor tamaño pueden salir del intestino y entrar a las células u otros tejidos de los organismos vivos (FAO, 2017). Es así que, en el embalse del Pañe, al presentar mayor cantidad de partículas de menor tamaño, es más probable que la contaminación por microplásticos derive a impactos en la biota por ingesta, lo que facilitaría su translocación y bioacumulación en la cadena trófica.

Respecto al Frayle, que presenta el mayor volumen de partículas, también presenta una mayor cantidad de fibra y la mayor cantidad de un polímero de mayor densidad como es el tereftalato de polietileno (polyethylene terephthalate - PET). Los microplásticos de forma de fibras son la categoría más abundante en contaminación por microplásticos (Li C. *et al.*, 2021); estudios han demostrado que las microfibras de PET pueden ser ingeridas por diversos organismos como el plankton, donde copépodos pueden ingerir microfibras PET confundiéndolas con fibras naturales

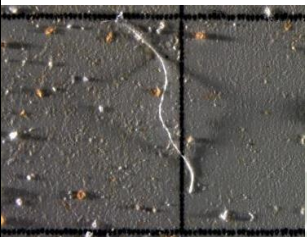
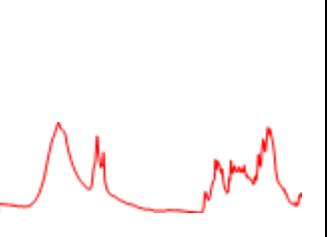

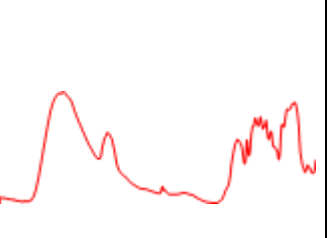
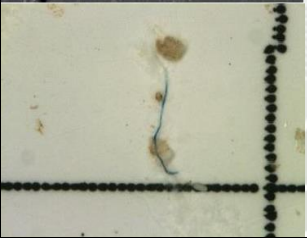
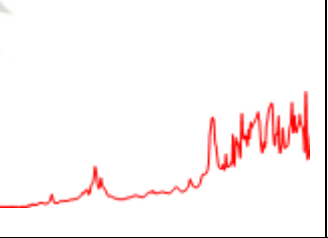
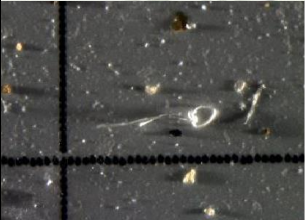
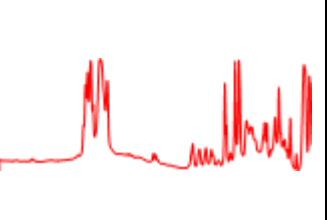
de plantas asociadas con la microbiota (Takahashi K. *et al.*, 2024); peces, que presentan microfibras de *PET* almacenadas en el intestino y estomago (Gong Y. *et al.*, 2024) e incluso animales terrestres como serpientes, donde se ha visto afectado su sistema digestivo (Song Y. *et al.*, 2019).


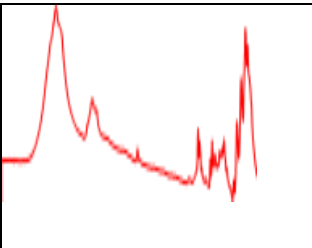

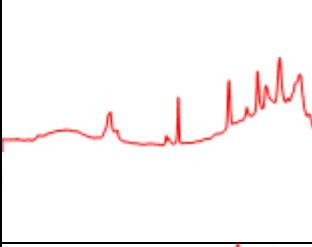

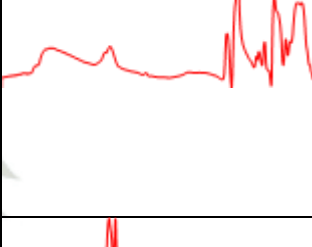
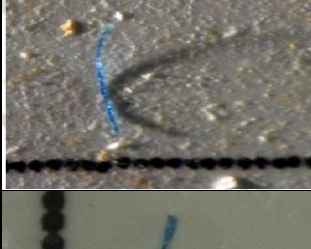
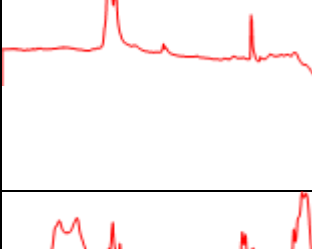


De acuerdo al contexto anterior, se muestra una tabla general comparativos de los tipos de polímeros hallados en la presente investigación (Tabla 8). Se realizó categorización de tipo de fibra con la comparación de las librerías correspondientes obteniendo porcentajes de similaridad, asimismo observándose los espectros, se realizó el Análisis Estructural Morfológico en el cual se halló la identificación de micro plásticos en los embalses.

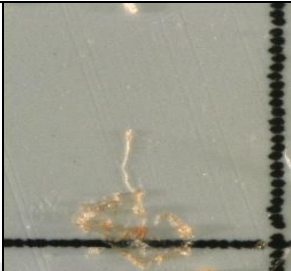
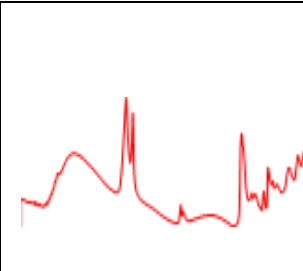
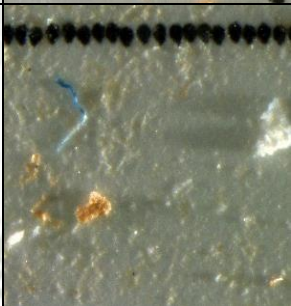
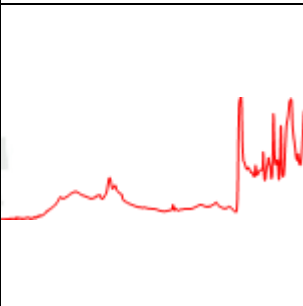
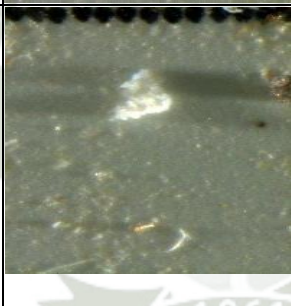
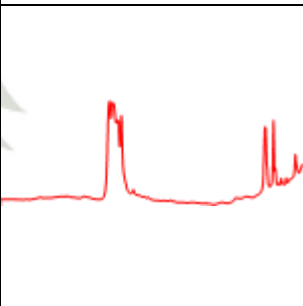
4.3. Identificar la estructura química de los micro plásticos de los embalses El Frayle, El Pañe y Aguada blanca

En la tabla N°8 muestra un cuadro comparativo de diferencias en concentración, morfología y tipos de polímeros los cuales se identificaron en los embalses Frayle, Pañe y Aguada Blanca, la tabla n°8 se encuentra clasificada según el tipo de polímero identificado según porcentaje de similaridad del espectro brindado a través de la microscopia infrarroja (Microscopio Nicolet) comparado por la librería para su identificación, asimismo se detalla su macrografía de los tipos de polímeros identificados en el área de estudio Embalse Frayle, Pañe y Aguada Blanca ,a su vez se describe el espectro resultante junto a su concentración de significancia de microplásticos describiendo y clasificando la morfología y concentración de cada polímero hallado. La tabla resume y compara todos los polímeros generales encontrados en los embalses, se puede observar las características de cada polímero, coloración, tamaño, tipo, entre otros. Esta tabla nos brinda antecedentes bibliográficos para posteriores investigaciones exhaustivas sobre la presencia de microplásticos en embalses. La tabla N°8 muestra los polímeros de uso más comunes y abundantes del área de estudio, pudiendo definir la presencia de la mayoría de polímeros según su composición química.

Tabla 8. Cuadro comparativo de diferencias en concentración, morfología y tipos de polímeros

NOMBRE DEL TIPO DE POLIMERO IDENTIFICADO	NOMBRE DE LA LIBRERÍA PARA SU IDENTIFICACION	% SIMILARIDAD	MACROGRAFIA	MORFOLOGIA	ESPECTRO	CONCENTRACIÓN
CELOFÁN	Hummel Polymer Sample Library	70%		FIBRA		Concentración con significancia de 200 MP _s /m ³
CELULOSA	Wizard Library	98%		FIBRA		Concentración con significancia de 1640 MP _s /m ³
TEREFTALATO DE POLIETILENO	HR Nicolet Sampler Library	71%		FIBRA		Concentración con significancia de 580 MP _s /m ³
POLIESTIRENO	Hummel Polymer Sample Library	87.16%		FIBRA		Concentración con significancia de 120 MP _s /m ³

RAYON	Synthetic Fibers by Microscope	95.23%		FIBRA		Concentración con significancia de 160 MPs/m ³
POLIACRILONITRILO	HR Polymer Additives and Plascizers	72.34%		FIBRA		Concentración con significancia de 20 MPs/m ³
POLIVINILPIRROLIDONA	HR Polymer Additives and Plascizers	60%		FIBRA		Concentración con significancia de 20 MPs/m ³
POLIETILENO MALEICO	Hummel Polymer Sample Library	87.19%		FIBRA		Concentración con significancia de 20 MPs/m ³
NYLON	Polymer laminate Films	70.13%		FIBRA		Concentración con significancia de 40 MPs/m ³

ETILENO ACETATO DE VINILO	HR Polymer Additives and Plascizers	80.37%		FIBRA		Concentración con significancia de 20 MPs/m3
POLIÉSTER	Synthetic Fiber by microscope	93.67%		FIBRA		Concentración con significancia de 20 MPs/m3
POLIPROPILENO	HR Polymer Additives and Plascizers	96.29%		PARTICULA AMORFA		Concentración con significancia de 40 MPs/m3

Fuente: Elaboración propia

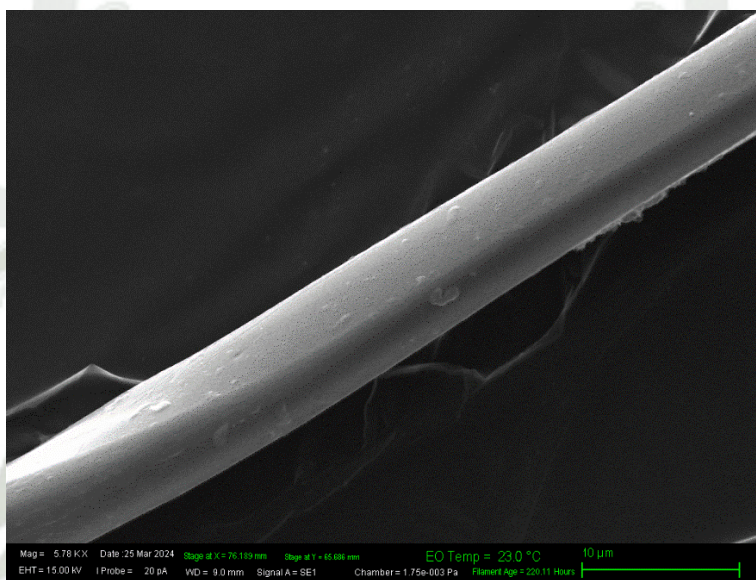
Interpretación: En la tabla N° 8 Cuadro comparativo de diferencias en concentración, morfología y tipos de polímeros nos brinda nombre del tipo identificado entre los cuales tenemos al “celofán” identificado mediante la librería “Hummel Polymer Sample Library” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 70% con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 200 MP/m³, asimismo se halló el tipo de polímero “celulosa” identificado mediante la librería “Wizard Library” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 98% con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 1640 MP/m³, a su vez se identificó el tipo de polímero “tereftalato de polietileno” identificado mediante la librería “HR Nicolet Sampler Library” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 71 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 580 MP/m³, se halló el tipo de polímero “poliestireno” identificado mediante la librería “Hummel Polymer Sample Library” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 87.16 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 120 MP/m³, se halló a su vez se identificó el tipo de polímero “rayon” identificado mediante la librería “Synthetic Fibers by Microscope” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 95.23 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 160 MP/m³, se identificó el tipo de polímero “poliacrilonitrilo” identificado mediante la librería HR Polymer Additives and Plascizers” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 72.34 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 20 MP/m³, se identificó el tipo de polímero “polivinilpirrolidona” identificado mediante la librería HR Polymer Additives and Plascizers” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 60 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 20 MP/m³, se identificó el tipo de polímero “polietileno maleico” identificado mediante la librería Hummel Polymer Sample Library” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 60 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 20 MP/m³, se halló el tipo de polímero “nylon” identificado mediante la librería Polymer laminate Films” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 70.13 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 40 MP/m³, se detectó el tipo de polímero “etileno acetato de vinilo” identificado mediante la librería “HR Polymer Additives and Plascizers” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 80.37 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 20 MP/m³, posteriormente se detectó el tipo de polímero “poliéster” identificado mediante la librería “Synthetic Fiber by microscope” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 93.67 % con una morfología de tipo fibra con una concentración de significancia de 20 MP/m³, finalmente se identificó el tipo de polímero “polipropileno” identificado mediante la librería “HR Polymer Additives and Plascizers” según el espectro resultante el porcentaje de similaridad que se encontró fue del 96.29 % con una morfología de tipo partícula amorfa con una concentración de significancia de 40 MP/m³.

4.3.1. Análisis SEM electrónica de barrido

La identificación visual es basada en las características físicas y morfológicas de las partículas, puede ser realizado haciendo uso de microscopía. La microscopía electrónica de barrido (*Scanning Electron Microscopy SEM*) produce imágenes de alta resolución y ha sido implementada en varios estudios (FAO, 2017). Esta permite la investigación de tamaño, forma y otros parámetros físicos y

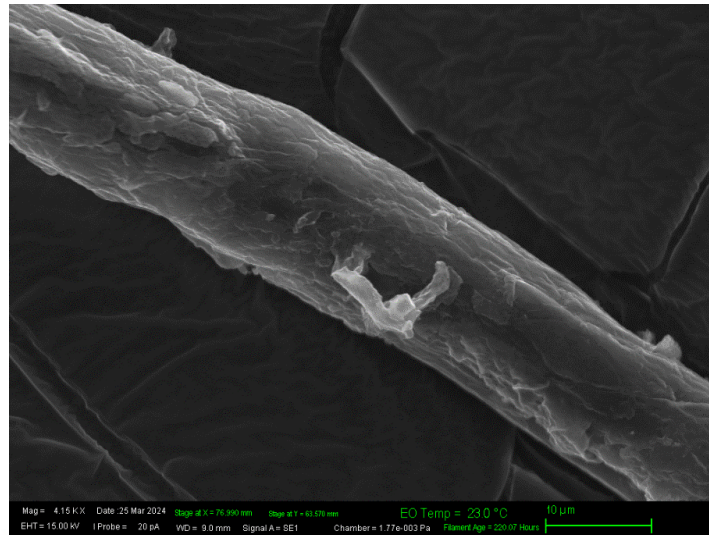
químicos; mediante un haz de electrones enfocados y dirigidos a la superficie del objetivo, donde se produce la formación de electrones retrodispersados (BSE) y electrones secundarios (SE), los que son colectados por detectores especiales. El resultado se representa en una imagen a escala de grises de la señal electrónica (Goldstein *et al.*, 2017). En **Anexo 2** se muestra imágenes por microscopia electrónica de barrido de las muestras de los embalses Pañe, Aguada Blanca y Frayle.

Figura 19. *Fibra del Pañe según SEM*



En la **Figura 19.-** Se muestra una superficie de fibra lisa sin desgaste, la emisión de barrido hace una imagen de mejor resolución, la cual reflejan tejidos nuevos.

Figura 20. *Fibra Aguada Blanca según SEM*



En la **Figura 20.-** Se muestra una fibra con superficie desgastada probablemente por la influencia de factores externos como fenómenos de abrasión mecánica degradación por radiación solar.

Figura 21. *Fibra del Frayle según SEM*



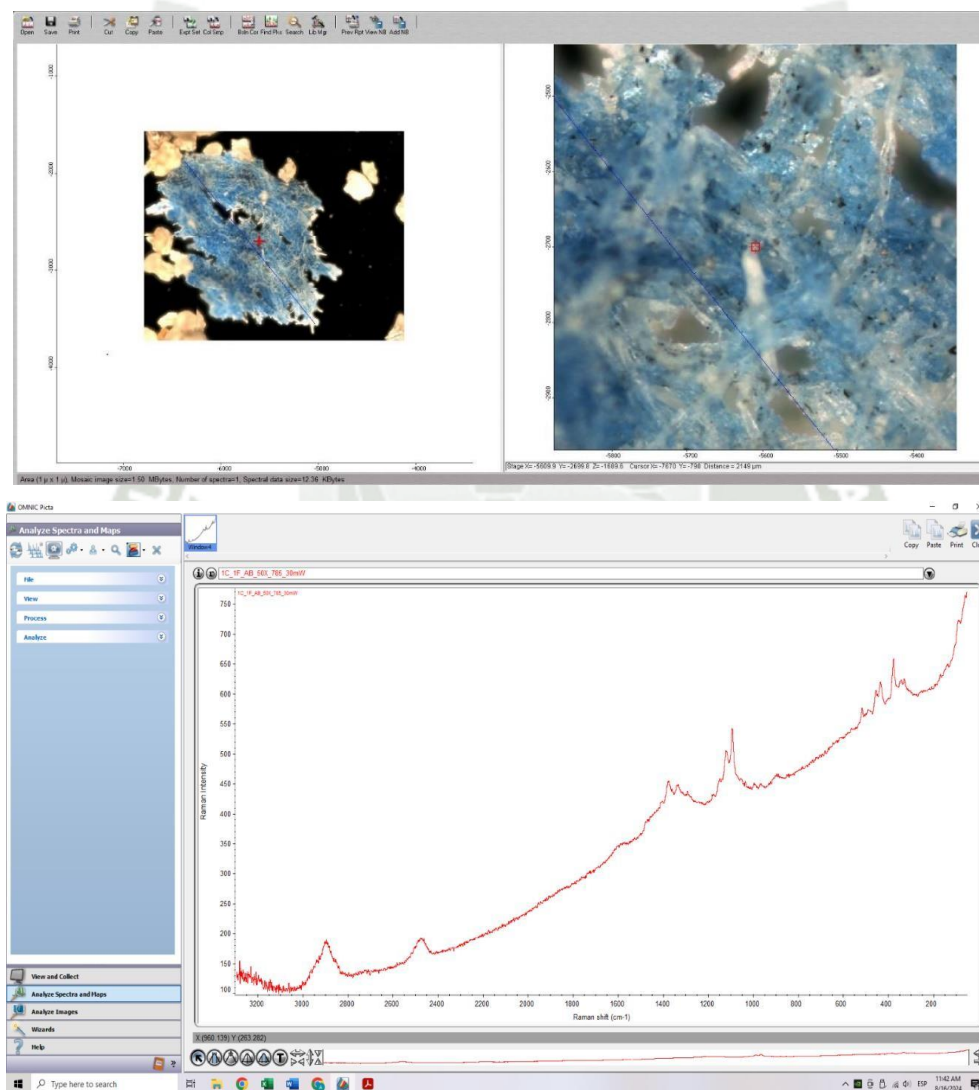
En la **Figura 21.-** Se muestra la micrografía SEM de una fibra extraída del embalse Pañe el cual tiene una superficie ligeramente lisa.

Se muestra las imágenes con mayor resolución del detalle de la textura de la superficie de los

microplásticos en forma de fibras de las represas Aguada Blanca, Frayle y el Pañe. Se observa un mayor desgaste en las muestras de Aguada Blanca y el Frayle en comparación con la muestra del Pañe, posiblemente por la influencia de factores externos como fenómenos de abrasión mecánica degradación por radiación solar.

4.3.2 Identificación de microplásticos (FTIR, RAMAN)

Figura 22. *Identificación de microplásticos por FTIR – RAMAN*



Imágenes de microplástico amorfo de color azul identificado mediante FTIR – RAMAN (arriba) con su espectro RAMAN (abajo), se adjuntan en **Anexo 3** las imágenes RAMAN de los embalses y en **Anexo 4** las imágenes de espectros RAMAN.

Los microplásticos pueden ser caracterizados por espectrometría de infrarrojo (*Fourier-transform infrared spectroscopes-FTIR*) y espectrometría Raman, las dos técnicas más populares para la identificación de microplásticos en el ambiente. En espectrometría, la muestra es apuntada con un haz de luz infrarrojo (IR) para FTIR o láser para Raman, resultando en un espectro que es posteriormente analizado (Schnepf U *et al.*, 2023). La espectrometría Raman y FTIR son preferentes debido a su naturaleza no destructiva y complementariedad (FAO, 2017).

La espectrometría de infrarrojo (FTIR) es un buen método que muestra eficiencia entre el tiempo demandado y el nivel de detalle requerido para identificar concentraciones de microplásticos en diferentes tipos de muestras; en adición, ya que FTIR es un método no destructivo en la mayor parte de estudios, este puede ser combinado o seguido del análisis con Raman u otras técnicas, de ser necesarias. No obstante, debido al límite de difracción, el límite de detección (LOD) de FTIR es entre 10 a 20 μm , donde la distribución de tamaño fue confirmada mediante la comparación con Raman hasta los 10 μm . Partículas $<10 \mu\text{m}$ son difíciles de medir con FTIR y necesitan ser identificadas con métodos adicionales. Además, otra limitación es que las medidas no pueden ser realizadas en presencia de agua ya que su espectro puede superponerse a los espectros objetivo (Primpke S, *et al.*, 2020).

La espectrometría Raman es también un método no destructivo, donde el rayo de luz es enfocado en la superficie de las partículas donde induce una dispersión inelástica de fotones, es decir excita las moléculas a un nivel mayor de energía, lo cual es conocido como el efecto Raman. Se permite la identificación química de la partícula analizada por la comparación de la huella vibracional resultante con las librerías existentes.

Para el análisis de microplásticos, se requiere un método que identifique la información química y caracterización morfológica a nivel del rango de tamaño de partículas (desde 1 μm hasta 5 mm), Raman ha sido altamente recomendado particularmente para análisis de partículas $<10 \mu\text{m}$ (Elert *et al.*, 2017). Comparado con FTIR, el análisis por espectrometría Raman muestra una cobertura espectral más amplia, una mayor sensibilidad a grupos funcionales no polares, menor interferencia del agua y bandas espectrales más estrechas (Elert *et al.*, 2017).

Cabe indicar que el análisis de la muestra por espectrometría Raman requiere mucho tiempo, es

decir varios días; siendo así que para partículas $>10\ \mu\text{m}$, este método no es recomendado debido a la cantidad de tiempo necesaria a invertir en comparación con la obtención de imágenes FTIR (Cabernard *et al.*, 2018). Es por ello que ambos métodos son complementarios.





CAPITULO V:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

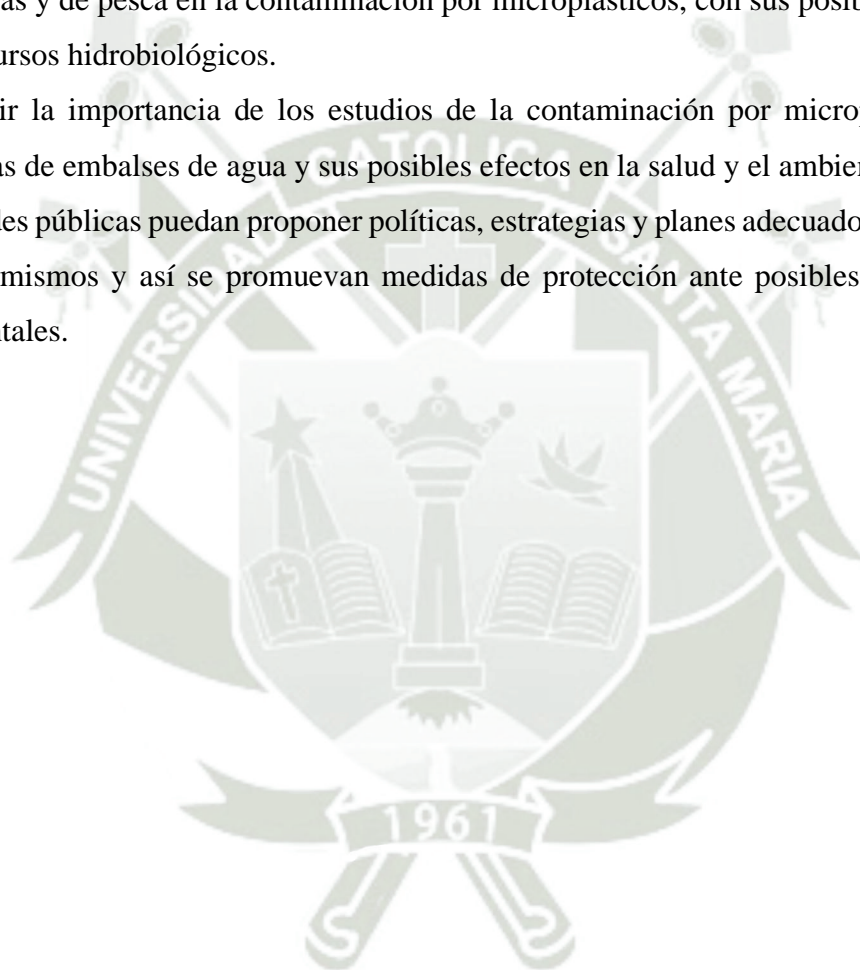
PRIMERO: Esta investigación nos brinda evidencia de que las partículas microplásticas se almacenan en los embalses de El Pañe, Aguada Blanca y El Frayle pertenecientes a la cuenca Colca-Chili Alto sin embargo los parámetros fisicoquímicos analizados de temperatura, pH, conductividad, Sólidos Totales Disueltos, dureza y alcalinidad muestran que las condiciones de calidad de agua de los embalses de El Pañe, Aguada Blanca y El Frayle son estables, no sobrepasan los niveles del ECA de agua.

SEGUNDO: Se diferencia una distribución relativamente homogénea en cuanto a colores y tamaños en todas las muestras, en coloración predomina el color blanco, seguido de los colores amarillo, azul y negro; en tamaño predomina el rango de 0 – 0.5 mm seguido de 0.5 – 1 mm. Respecto a morfología de los microplásticos se presenta partículas de tipo fibra en mayor proporción, seguido de partículas amorfas y mínimamente del tipo film. Respecto a la abundancia, la muestra del Pañe presenta mayor cantidad de microplásticos encontrados. Se encuentra mayor cantidad de fibras de color blanco de mayor tamaño de 0 a 0.5 mm con alto volumen de micropartículas en el embalse el Frayle, los resultados indican que existe abundantes microplásticos de menor tamaño que no son visibles, pero si tienen un mayor volumen en los tres embalses. El volumen de polímeros del Frayle es significativamente alto en comparación a los otros embalses analizados, lo que indica que los microplásticos presentes en el Frayle son de un tamaño mucho mayor que los otros y por ende genera mayor volumen.

TERCERO: Respecto a la identidad química, se ha identificado que dichos embalses presentan en mayor cantidad el polímero del tipo celulosa proveniente de la actividad de acuicultura, asimismo muestra una gran cantidad de tereftalato de polietileno que se pueden encontrar especialmente en envases, botellas, redes, cuerdas, entre otros.

5.2. Recomendaciones

- I. Se recomienda realizar muestreos periódicos por estaciones respecto a la presencia de microplásticos en los embalses del área de estudio.
- II. Se recomienda realizar mayor investigación en la bioacumulación de microplásticos en organismos acuáticos; asimismo estudios respecto a la contribución de las actividades acuícolas y de pesca en la contaminación por microplásticos, con sus posibles impactos en los recursos hidrobiológicos.
- III. Difundir la importancia de los estudios de la contaminación por microplásticos en los sistemas de embalses de agua y sus posibles efectos en la salud y el ambiente, para que las entidades públicas puedan proponer políticas, estrategias y planes adecuados para la gestión de los mismos y así se promuevan medidas de protección ante posibles futuros riesgos ambientales.



REFERENCIAS

- Adomat, Y., & Grischek, T. (2021). Sampling and processing methods of microplastics in river sediments - A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 758). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143691>
- Akdogan, Z., & Guven, B. (2019). Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. In *Environmental Pollution* (Vol. 254). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113011>
- Alex Bellido Huicho, J., & Garcia Zuñiga, F. (2019). Análisis Espacio-Temporal Del Comportamiento De La Clorofila A Mediante Imágenes Satelitales En La Represa Aguada Blanca Para El Año 2017. Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa Facultad De Ingeniería De Procesos Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental Tesis Presentada Por El Bachiller: Para Optar El Título Profesional De Ingeniero Ambiental.
- Aliabad, M. K., Nassiri, M., & Kor, K. (2019). Microplastics in the surface seawaters of Chabahar Bay, Gulf of Oman (Makran Coasts). *Marine Pollution Bulletin*, 143, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.037>
- Alvarez, A., Rubiños Panta, E., Gavi Reyes, F., José Alarcón Cabañero, J., Hernández Acosta, E., Ramírez Ayala, C., Mejía Saenz, E., Pedrero Salcedo, F., Nicolas Nicolas, E., & Salazar Sosa, E. (n.d.). 55° ANIVERSARIO *Revista Internacional de*.
- Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 119, Issue 1, pp. 12–22). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Araujo, C. F., Nolasco, M. M., Ribeiro, A. M. P., & Ribeiro-Claro, P. J. A. (2018). Identification of microplastics using Raman spectroscopy: Latest developments and future prospects. In *Water Research* (Vol. 142, pp. 426–440). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.05.060>
- Barraza-Garza, G., De La Rosa A, Alejandro Martínez-Martínez, L. A., Castillo-Michel, H., Cotte, M., & Alvarez-Parrilla, E. (n.d.). *SISTEMAS BIOLÓGICOS*. www.relaquim.com
- Barrows, A. P. W., Christiansen, K. S., Bode, E. T., & Hoellein, T. J. (2018). A watershed-scale,

- citizen science approach to quantifying microplastic concentration in a mixed land-use river. *Water Research*, 147, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.013>
- Bergmann, M., Collard, F., Fabres, J., Gabrielsen, G. W., Provencher, J. F., Rochman, C. M., van Sebille, E., & Tekman, M. B. (2022). Plastic pollution in the Arctic. In *Nature Reviews Earth and Environment* (Vol. 3, Issue 5, pp. 323–337). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
- Cai, G., Ge, Y., Dong, Z., Liao, Y., Chen, Y., Wu, A., Li, Y., Liu, H., Yuan, G., Deng, J., Fu, H., & Jeppesen, E. (2024). Temporal shifts in the phytoplankton network in a large eutrophic shallow freshwater lake subjected to major environmental changes due to human interventions. *Water Research*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.122054>
- Campanale, C., Stock, F., Massarelli, C., Kochleus, C., Bagnuolo, G., Reifferscheid, G., & Uricchio, V. F. (2020). Microplastics and their possible sources: The example of Ofanto river in southeast Italy. *Environmental Pollution*, 258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113284>
- Caruso, G. (2019). Microplastics as vectors of contaminants. *Marine Pollution Bulletin*, 146, 921–924. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.07.052>
- Condori J., et al. (2023). Influencia del polietileno de baja densidad y tereftalato de polietileno reciclados en el comportamiento físico y mecánico de unidades de adobe en la región Puno. Tesis para título profesional de Ingeniera Civil, Universidad Continental.
- D'avignon, G., Gregory-Eaves, I., & Ricciardi, A. (2022). Microplastics in lakes and rivers: an issue of emerging significance to limnology. In *Environmental Reviews* (Vol. 30, Issue 2, pp. 228–244). Canadian Science Publishing. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0048>
- De, C., & Ambiental, I. (2019.). *FACULTAD DE INGENIERÍA*.
- De Los, I., En, M., Cuenca, L. A., Rio, A. Del, Amarillo, J., De, O., Resumen, B., & Lozano Ortiz, L. (n.d.). *LABIOINDICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA*.
- De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Fernández, N. Y., Espinoza-Morriberón, D., & Saldaña-Serrano, M. (2020). Abundance and distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877>

Díaz, Z. L., Zavaleta, M., Ochoa, M. (2019). Detección y cuantificación de microplásticos en el sistema de agua potable de la ciudad del Cusco. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco Vol. 19 (1): 1-6 (2019)*.

Di, M., & Wang, J. (2018a). Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 616–617, 1620–1627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.150>

Di, M., & Wang, J. (2018). Microplastics in surface waters and sediments of the Three Gorges Reservoir, China. *Science of the Total Environment*, 616–617, 1620–1627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.150>

Diagnostico Hidrico Rapido Departamento De Control De Calidad Y Efluentes. (N.D.).

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>

Dusaucy, J., Gateuille, D., Perrette, Y., & Naffrechoux, E. (2021). Microplastic pollution of worldwide lakes. In *Environmental Pollution* (Vol. 284). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117075>

En, M., Suelo, E. L., Tramo, D., & Muyuna -, L. A. (n.d.). Universidad Nacional Agraria De La Selva Facultad De Recursos Naturales Renovables Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental.

Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022>

García-Huamán, F. T., Torres-Delgado, J., & Vergara-Medrano, S. E. (2019.). *Calidad Ecológica Del Agua Del Río Utcubamba En Relación*.

Guo, M., Noori, R., & Abolfathi, S. (2024). Microplastics in freshwater systems: Dynamic behaviour and transport processes. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 205). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107578>

- Guo, Z., Boeing, W. J., Xu, Y., Borgomeo, E., Mason, S. A., & Zhu, Y. G. (2021). Global meta-analysis of microplastic contamination in reservoirs with a novel framework. *Water Research*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117828>
- Guo, Z., Boeing, W. J., Xu, Y., Borgomeo, E., Mason, S. A., & Zhu, Y. G. (2021). Global meta-analysis of microplastic contamination in reservoirs with a novel framework. *Water Research*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117828>
- Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L., & Zeng, E. Y. (2020). A Global Perspective on Microplastics. In *Journal of Geophysical Research: Oceans* (Vol. 125, Issue 1). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/2018JC014719>
- Helinski, O. K., Poor, C. J., & Wolfand, J. M. (2021). Ridding our rivers of plastic: A framework for plastic pollution capture device selection. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 165). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112095>
- Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E., & Svendsen, C. (2017). Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. In *Science of the Total Environment* (Vol. 586, pp. 127–141). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.190>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña INAIGEM (2023) Memoria Descriptiva del Inventario Nacional de Bofedales del Perú 2023 Huaraz.
- Issac, M. N., & Kandasubramanian, B. (2023). *Effect of microplastics in water and aquatic systems*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2/Published>
- Jiajun, W., Zhongguan J., Yunzhao L., Zhao X., Liang Y., Wenxuan L. (2021). Microplastic contamination assessment in water and economic fishes in different trophic guilds from an urban water supply reservoir after flooding. In *Science of the Total Environment* (Volumen 299) pp. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113667>
- Jung, J. W., Park, J. W., Eo, S., Choi, J., Song, Y. K., Cho, Y., Hong, S. H., & Shim, W. J. (2021). Ecological risk assessment of microplastics in coastal, shelf, and deep sea waters with a consideration of environmentally relevant size and shape. *Environmental Pollution*, 270.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116217>

Kirstein, I. V., Gomiero, A., & Vollertsen, J. (2021). Microplastic pollution in drinking water. In *Current Opinion in Toxicology* (Vol. 28, pp. 70–75). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.09.003>

Kirstein, I. V., Gomiero, A., & Vollertsen, J. (2021). Microplastic pollution in drinking water. In *Current Opinion in Toxicology* (Vol. 28, pp. 70–75). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.09.003>

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. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>

Liboiron, M., Zahara, A., Hawkins, K., Crespo, C., de Moura Neves, B., Wareham-Hayes, V., Edinger, E., Muise, C., Walzak, M. J., Sarazen, R., Chidley, J., Mills, C., Watwood, L., Arif, H., Earles, E., Pijogge, L., Shirley, J., Jacobs, J., McCarney, P., & Charron, L. (2021). Abundance and types of plastic pollution in surface waters in the Eastern Arctic (Inuit Nunangat) and the case for reconciliation science. *Science of the Total Environment*, 782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146809>

Lin, L., Pan, X., Zhang, S., Li, D., Zhai, W., Wang, Z., Tao, J., Mi, C., Li, Q., & Crittenden, J. C. (2021). Distribution and source of microplastics in China's second largest reservoir - Danjiangkou Reservoir. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 102, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.09.018>

Liu, R. ping, Li, Z. zhong, Liu, F., Dong, Y., Jiao, J. gang, Sun, P. ping, & RM, E. W. (2021). Microplastic pollution in Yellow River, China: Current status and research progress of biotoxicological effects. *China Geology*, 4(4), 585–592. <https://doi.org/10.31035/cg2021081>

Maldonado Fonkén (2015) Introducción a los bofedales de la región Altoandina Peruana. Mires and Peat, Volumen 15. Artículo 05, 1–13

Manrique Ruben (2019) Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú, Tesis para obter grado de Magister, PUCP.

Maharana, D., Saha, M., Dar, J. Y., Rathore, C., Sreepada, R. A., Xu, X. R., Koongolla, J. B., & Li, H. X. (2020).

Assessment of micro and macroplastics along the west coast of India: Abundance, distribution, polymer type and toxicity. *Chemosphere*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125708>

Mao, X., Xu, Y., Cheng, Z., Yang, Y., Guan, Z., Jiang, L., & Tang, K. (2022). The impact of microplastic pollution on ecological environment: a review. In *Frontiers in Bioscience - Landmark* (Vol. 27, Issue 2). Bioscience Research Institute. <https://doi.org/10.31083/j.fbl2702046>

Mejía, A. (2022). *Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ciencias Químicas Y Farmacia*.

Meng, Y., Kelly, F. J., & Wright, S. L. (2020). Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. In *Environmental Pollution* (Vol. 256). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>

Mester, L., Govyadinov, A. A., Chen, S., Goikoetxea, M., & Hillenbrand, R. (2020). Subsurface chemical nanoidentification by nano-FTIR spectroscopy. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17034-6>

Ministerio del Ambiente / Perú. (2022). <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas->

Mintenig, S. M., Int-Veen, I., Löder, M. G. J., Primpke, S., & Gerdt, G. (2017). Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, 108, 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.015>

Morales, D., Velez, F., & Guerrero, B. (2019). Hydrogeological And Geomorphological Characterization Of The Basin And Dam Of La Nitrera Natural Park, Concordia (Antioquia). *Revista de La Facultad de Ciencias*, 8(1), 73–99. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v8n1.71399>

Niu, J., Gao, B., Wu, W., Peng, W., & Xu, D. (2022). Occurrence, stability and source identification of small size microplastics in the Jiayan reservoir, China. *Science of the*

Total Environment, 807. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150832>

Oladoja, N. A., & Unuabonah, I. E. (2021). The pathways of microplastics contamination in raw and drinking water. In *Journal of Water Process Engineering* (Vol. 41). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102073>

Olmos Espinar, S., Javier, F., Bernal, B., López, J., & García, C. (2022.). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA*.

Patterson, J., Jeyasanta, K. I., Sathish, N., Booth, A. M., & Edward, J. K. P. (2019). Profiling microplastics in the Indian edible oyster, *Magallana bilineata* collected from the Tuticorin coast, Gulf of Mannar, Southeastern India. *Science of the Total Environment*, 691, 727–735. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.063>

Picó, Y., & Barceló, D. (2019). Analysis and prevention of microplastics pollution in water: Current perspectives and future directions. *ACS Omega*, 4(4), 6709–6719. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00222>

Puente de la Vega., Y. (2019). Determinación de la calidad de agua de la represa aguada blanca con la sonda hydrolab ds5 en la zona lacustre del embalse durante los periodos húmedos y de estiaje. *Universidad Católica de Santa María*.

Ochoa, Rosero D. (2024). Repercusiones en la salud, por consumo de agua contaminada de microplásticos. *Universidad Católica de Cuenca*.

Raamsdonk, L., Zande, M., Groot, M., Koelmas, A., Peijnenburg, A. C., Weesepeel, J. A. (2020) Current Insights into Monitoring, Bioaccumulation, and Potential Health Effects of Microplastics Present in the Food Chain. A review study. <https://doi.org/10.3390/foods9010072>

Sandoval Yoval, L., Palacios, L. M., Soberanis, P., Olivia, L., & Guzmán, S. (2019). *Potencial zeta como una herramienta para determinar la aglomeración de las partículas en la reducción del volumen del lodo a disponer*.

Schwarz, A. E., Ligthart, T. N., Boukris, E., & van Harmelen, T. (2019). Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92–100. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.029>

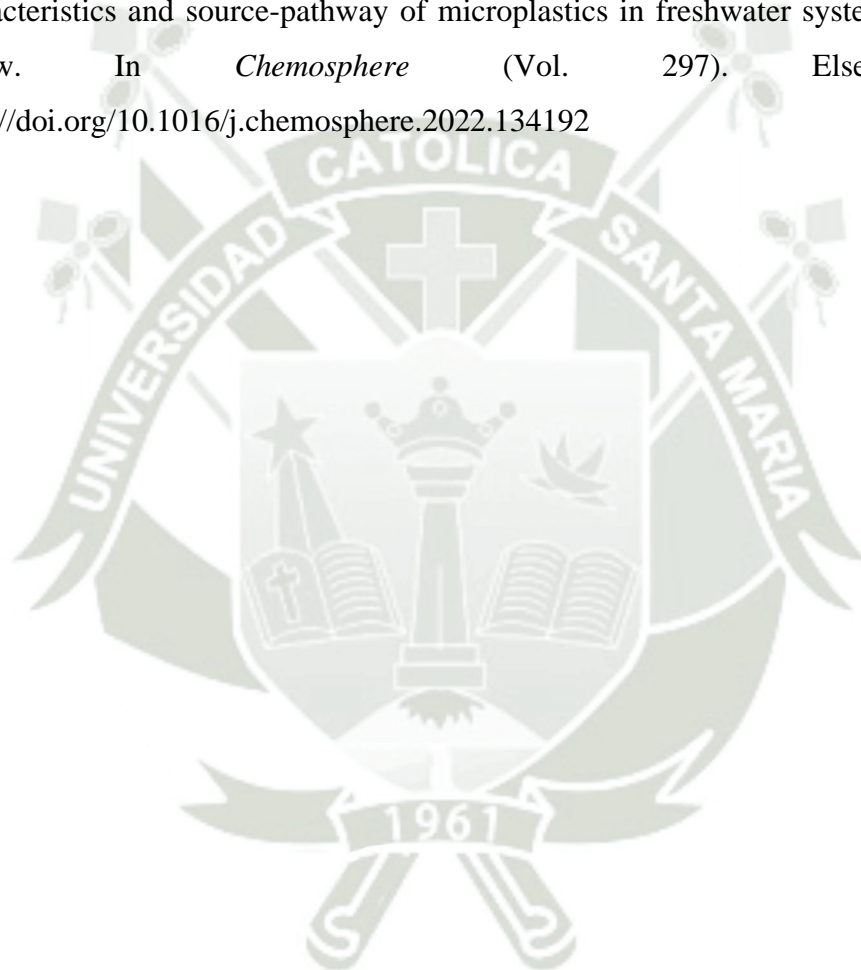
- Sheehan K. L., Mchale M. L. (2023). Bioaccumulation, transfer, and impacts of microplastics in aquatic food chains: *Research article. Journal of Environmental* 2024, 3, 15. <http://dx.doi.org/10.20517/jeea.2023.4>
- Tan, X., Yu, X., Cai, L., Wang, J., & Peng, J. (2019). Microplastics and associated PAHs in surface water from the Feilaixia Reservoir in the Beijiing River, China. *Chemosphere*, 221, 834–840. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.022>
- Tiernan, H., Byrne, B., & Kazarian, S. G. (2020). ATR-FTIR spectroscopy and spectroscopic imaging for the analysis of biopharmaceuticals. In *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (Vol. 241). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118636>
- Torres, F. G., & De-la-Torre, G. E. (2021). Face mask waste generation and management during the COVID-19 pandemic: An overview and the Peruvian case. *Science of the Total Environment*, 786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147628>
- Tošić, T. N., Vrugink, M., & Vesman, A. (2020). Microplastics quantification in surface waters of the Barents, Kara and White Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111745>
- Tsering, T., Sillanpää, M., Sillanpää, M., Viitala, M., & Reinikainen, S. P. (2021). Microplastics pollution in the Brahmaputra River and the Indus River of the Indian Himalaya. *Science of the Total Environment*, 789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147968>
- Vayghan, A. H., Rasta, M., Zakeri, M., & Kelly, F. J. (2022). Spatial distribution of microplastics pollution in sediments and surface waters of the Aras River and reservoir: An international river in Northwestern Iran. *Science of the Total Environment*, 843. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156894>
- Wang, F., Wong, C. S., Chen, D., Lu, X., Wang, F., & Zeng, E. Y. (2018). Interaction of toxic chemicals with microplastics: A critical review. In *Water Research* (Vol. 139, pp. 208–219). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.003>
- Wang, W., Gao, H., Jin, S., Li, R., & Na, G. (2019). The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. In *Ecotoxicology and*

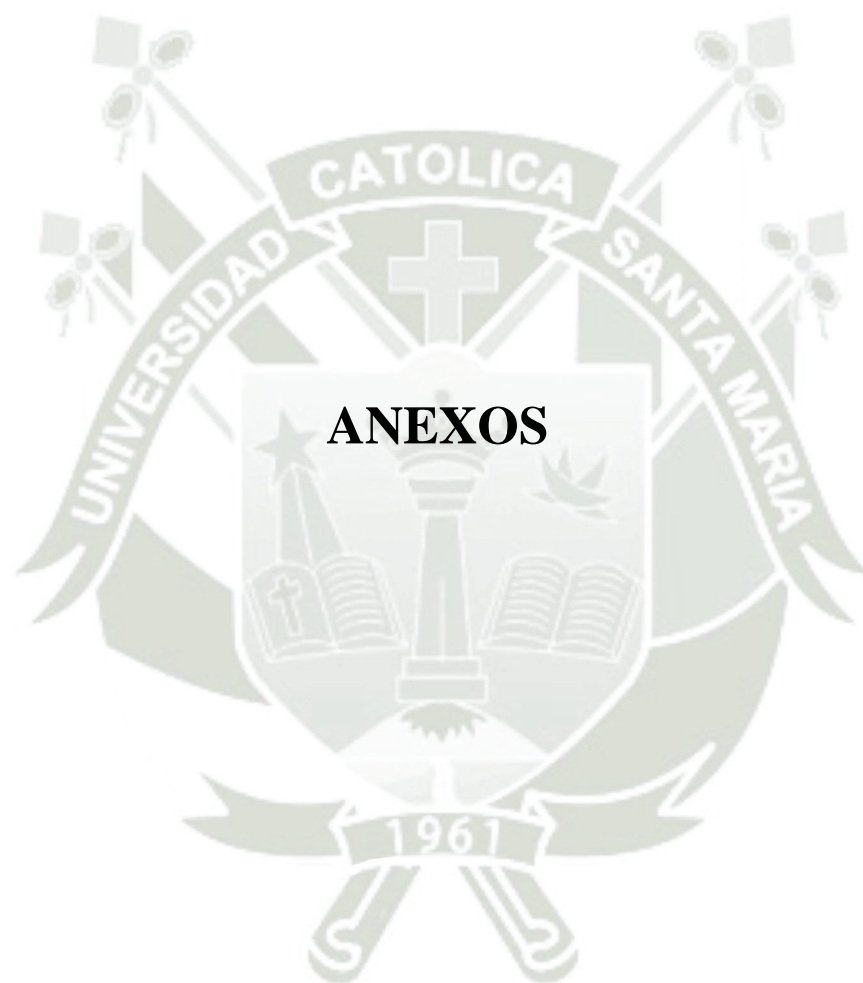
- Environmental Safety* (Vol. 173, pp. 110–117). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.113>
- Watkins, L., McGrattan, S., Sullivan, P. J., & Walter, M. T. (2019a). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of the Total Environment*, 664, 834–840.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.028>
- Watkins, L., McGrattan, S., Sullivan, P. J., & Walter, M. T. (2019b). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of the Total Environment*, 664, 834–840.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.028>
- Watkins, L., McGrattan, S., Sullivan, P. J., & Walter, M. T. (2019c). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of the Total Environment*, 664, 834–840.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.028>
- Weber, M., Rinke, K., Hipsey, M. R., & Boehrer, B. (2017). Optimizing withdrawal from drinking water reservoirs to reduce downstream temperature pollution and reservoir hypoxia. *Journal of Environmental Management*, 197, 96–105.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.020>
- Wu, J., Jiang, Z., Liu, Y., Zhao, X., Liang, Y., Lu, W., & Song, J. (2021). Microplastic contamination assessment in water and economic fishes in different trophic guilds from an urban water supply reservoir after flooding. *Journal of Environmental Management*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113667>
- 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, 899–906. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.081>
- Xu, J. L., Thomas, K. V., Luo, Z., & Gowen, A. A. (2019). FTIR and Raman imaging for microplastics analysis: State of the art, challenges and prospects. In *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 119). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115629>
- Yuri, B., & Huayllani, J. C. (2019). *Análisis por espectroscopía infrarroja y microscopía óptica de documentos históricos de los siglos XVI al XX*. Universidad Nacional de San Antonio

Abad del Cusco Facultad de Ciencias Escuela Profesional de Química, tesis para optar al título profesional de químico.

Zhang, W., Zhang, S., Wang, J., Wang, Y., Mu, J., Wang, P., Lin, X., & Ma, D. (2017). Microplastic pollution in the surface waters of the Bohai Sea, China. *Environmental Pollution*, 231, 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.08.058>





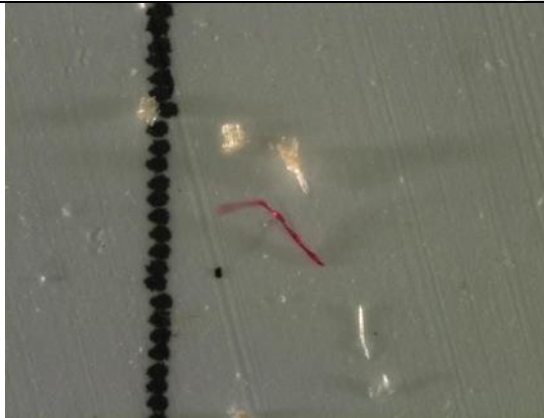
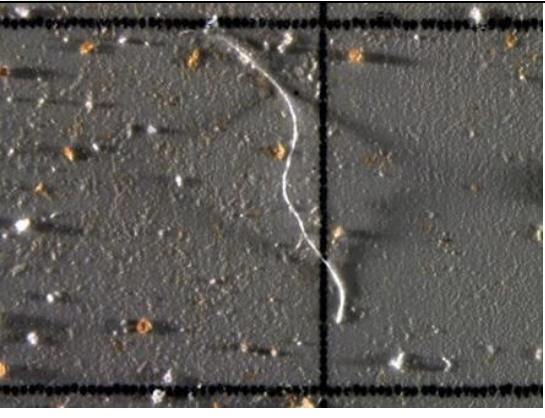
Zhao, M., Cao, Y., Chen, T., Li, H., Tong, Y., Fan, W., Xie, Y., Tao, Y., & Zhou, J. (2022). Characteristics and source-pathway of microplastics in freshwater system of China: A review. In *Chemosphere* (Vol. 297). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134192>





**ANEXO 1: IMAGENES DE ESTEREOSCOPIO DE EMBALSES AGUADA BLANCA,
PAÑE Y FRAYLE**

Tabla A.1 Imágenes de microplásticos encontrados en embalse Frayle

<p><i>Imagen 1. Vista Panorámica – Frayle (7.5X)</i></p> 	<p><i>Imagen 2. Vista Panorámica - Frayle (7.5X)</i></p> 
<p><i>Imagen 3. Pali Frayle (80X), partícula amorfa de color fucsia.</i></p> 	<p><i>Imagen 4. FNa Frayle (20X), partículas amorfas y de tipo fibra de colores amarillo y blanco.</i></p> 
<p><i>Imagen 5. FLi Frayle (63X) fibra de color rojo.</i></p> 	<p><i>Imagen 6. FB Frayle (32X) fibra de color blanco.</i></p> 
<p><i>Imagen 7. FB Frayle (50X), fibra de color blanco.</i></p>	<p><i>Imagen 8. Faz Frayle (50X), partículas amorfas y</i></p>

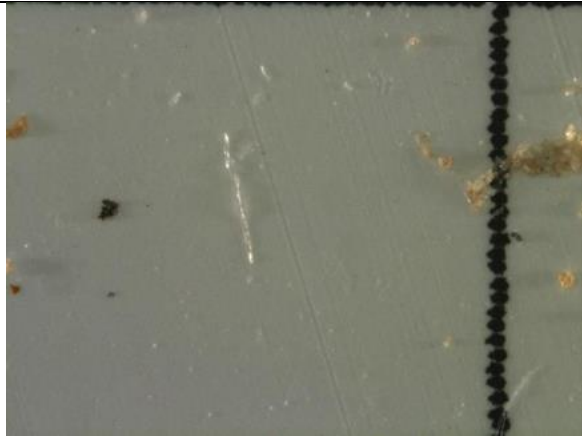
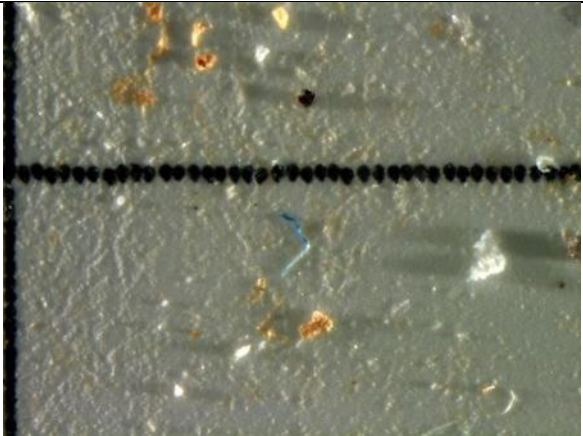
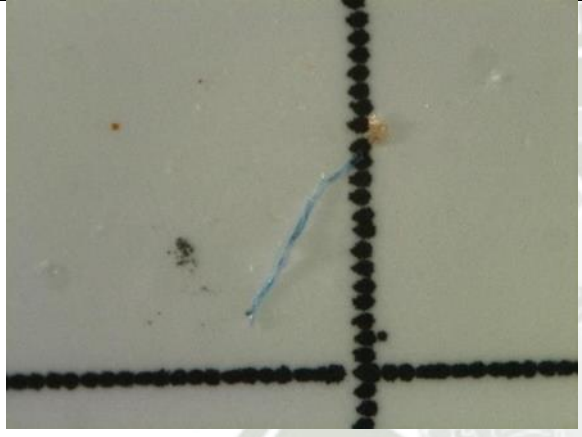
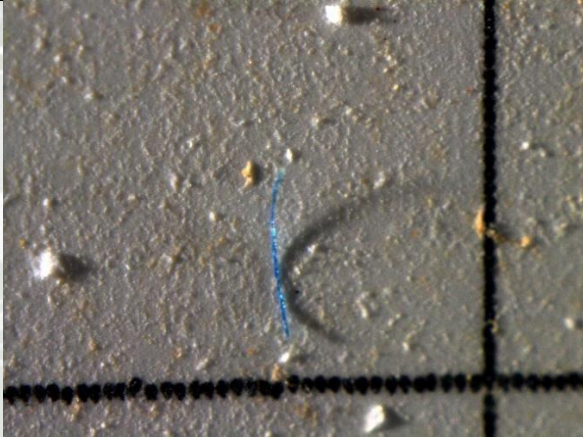


<i>fibra de color azul</i>	
	
<i>Imagen 9. Faz2 Frayle (63X) fibra de color azul</i>	<i>Imagen 10. Faz 3 Frayle (63X) fibra de color azul</i>
	
<i>Imagen 11. Faz 3 Frayle (80X) fibra de color azul</i>	<i>Imagen 12. 2FB Frayle (32X) fibras de color amarillo y blanco</i>
	

Tabla A.2 Imágenes de microplásticos encontrados en Embalse Aguada Blanca


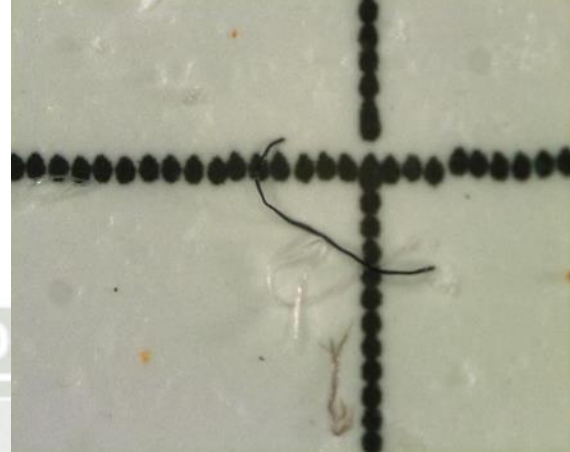
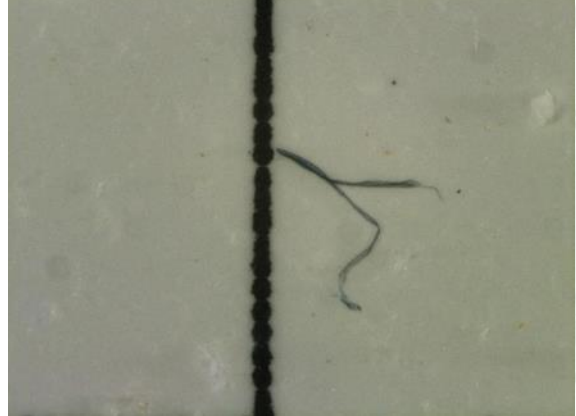
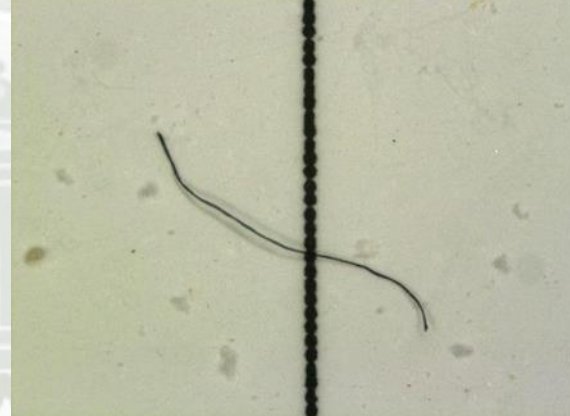

<p><i>Imagen 1. Vista Panorámica A. Blanca (7.5X)</i></p>	<p><i>Imagen 2. FNe A. Blanca (80X), fibra de colores negro y blanco</i></p>
	
<p><i>Imagen 3. FN e2 A. Blanca 80X fibra de color negro</i></p>	<p><i>Imagen 4. FNe A. Blanca (50X) fibra de color negro</i></p>
	
<p><i>Imagen 5. Faz Aguada Blanca (80X) fibra de color azul</i></p>	
	

Tabla A.3 Imágenes de microplásticos encontrados en Embalse Pañe


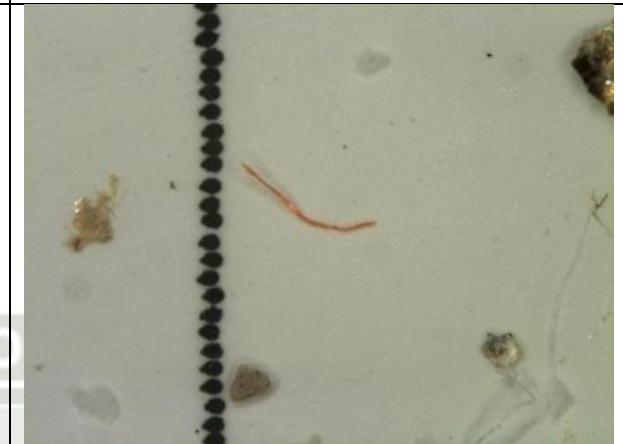
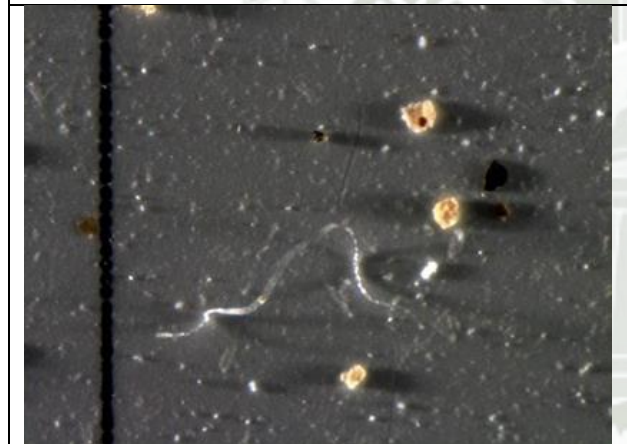
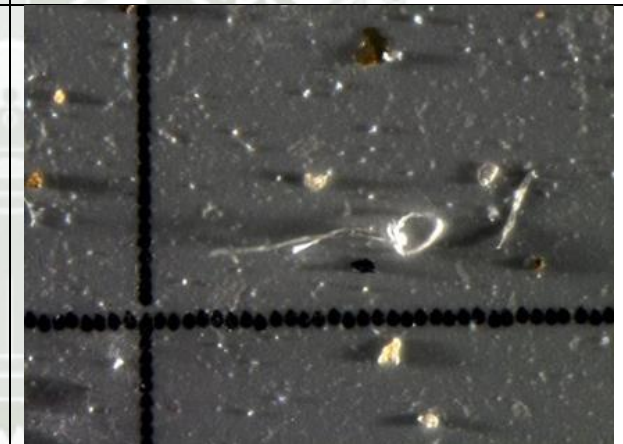
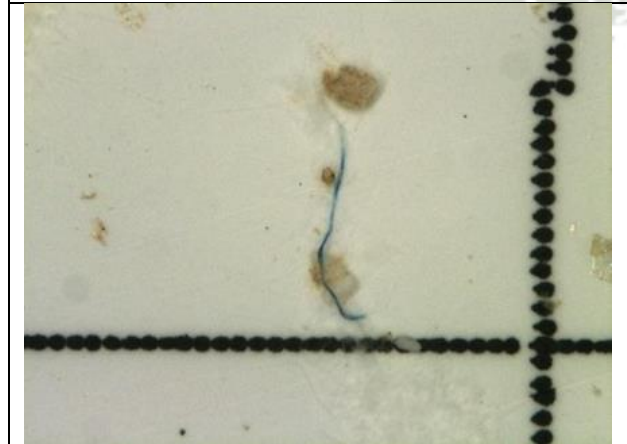
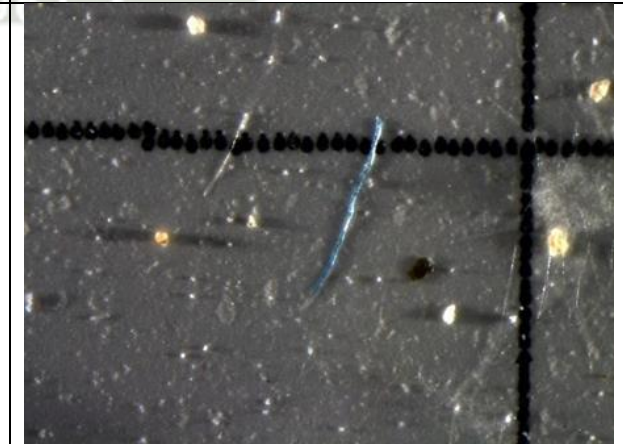
<p><i>Imagen 1. Fpa Pañe (50X) partícula amorfa de color marrón</i></p>	<p><i>Imagen 2. FNa Pañe (63X) partículas amorfas de colores amarillos y blanco, fibra de color rojo</i></p>
	
<p><i>Imagen 3. FB Pañe (50X) fibra de color blanco</i></p>	<p><i>Imagen 4. FB2 Pañe (50X) fibra de color blanco</i></p>
	
<p><i>Imagen 5. FAz Pañe (63X) fibra de color azul</i></p>	<p><i>Imagen 6. Faz Pañe (50X) fibras de color azul y blanco</i></p>
	

Imagen 7. 4Faz Pañe (40X) fibras de color azul y partículas amorfas

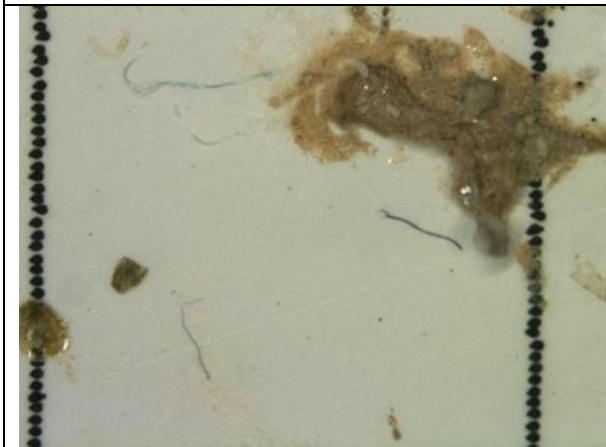
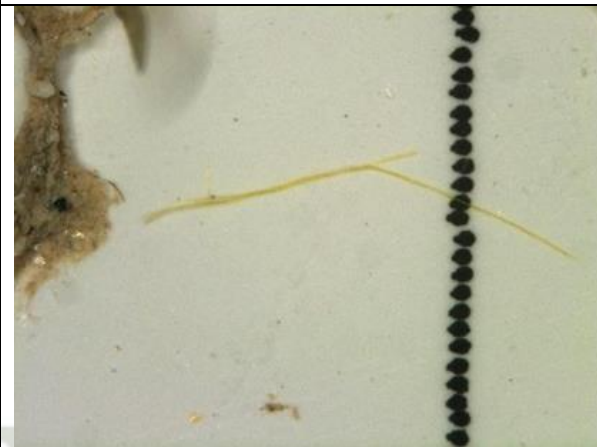


Imagen 8. Fam Pañe (63X) fibra de color amarillo



ANEXO 2: IMAGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Tabla B.1 *Imágenes SEM de Embalse Pañe*

Imagen 1: Panorámica de microplásticos (200 μm)

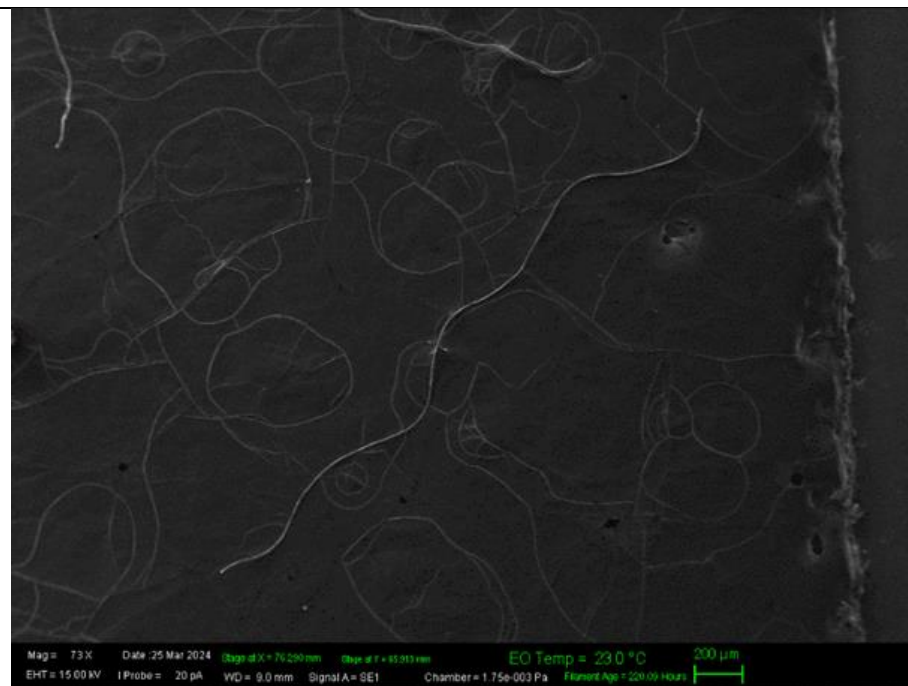


Imagen 2: Microfibra en vista panorámica (200 μm), sección marcada en verde de micrografía (imagen 3)

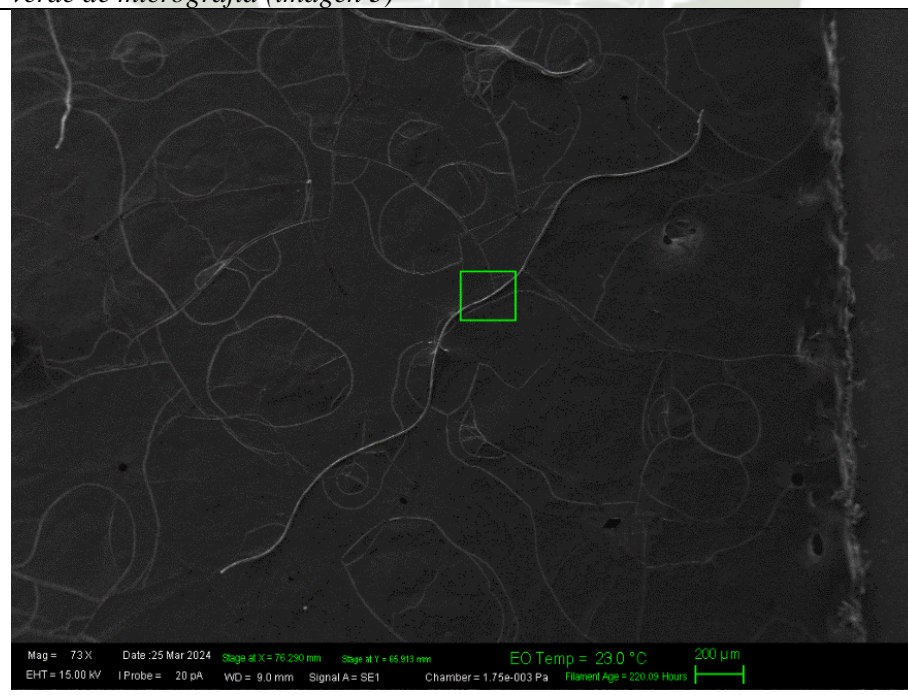


Imagen 3: Micrografía de microfibra (10 μm) de superficie lisa.

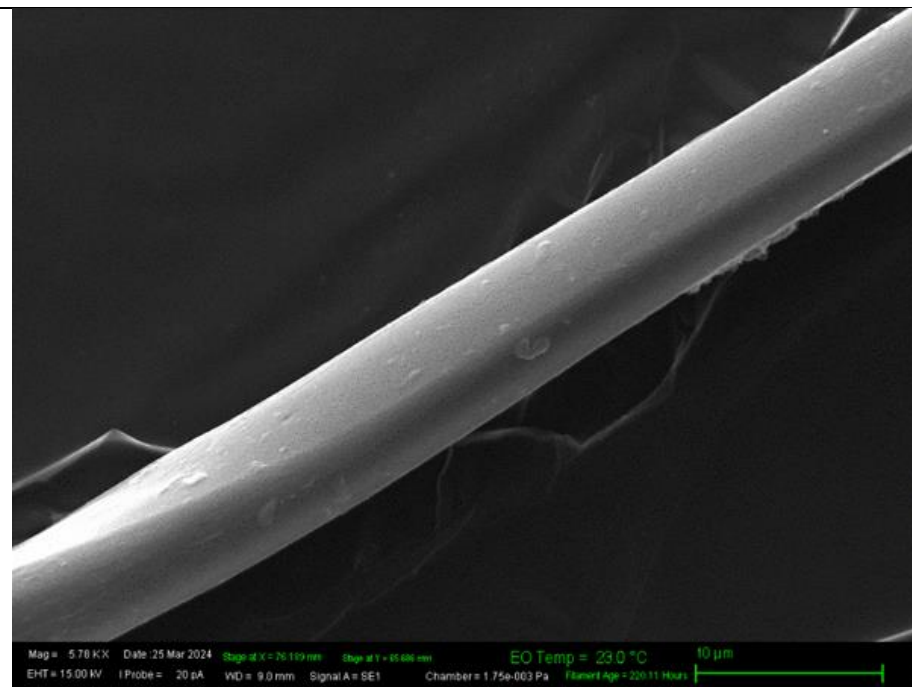


Imagen 4: Panorámica de microplásticos (200 μm)

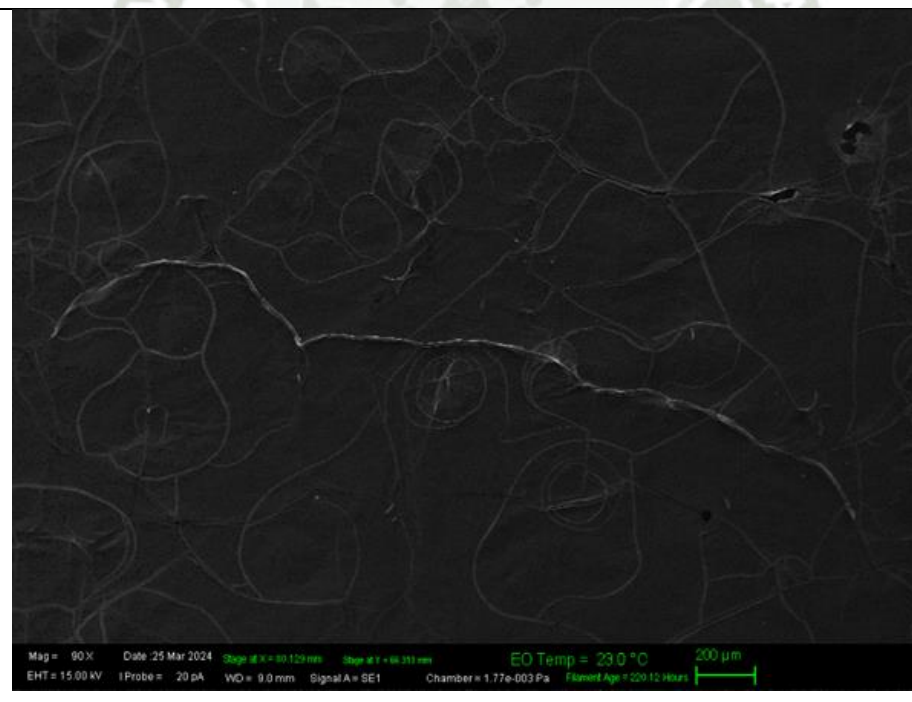


Imagen 5: Microfibra en vista panorámica (200 μm), sección marcada en verde de micrografía (imagen 6)

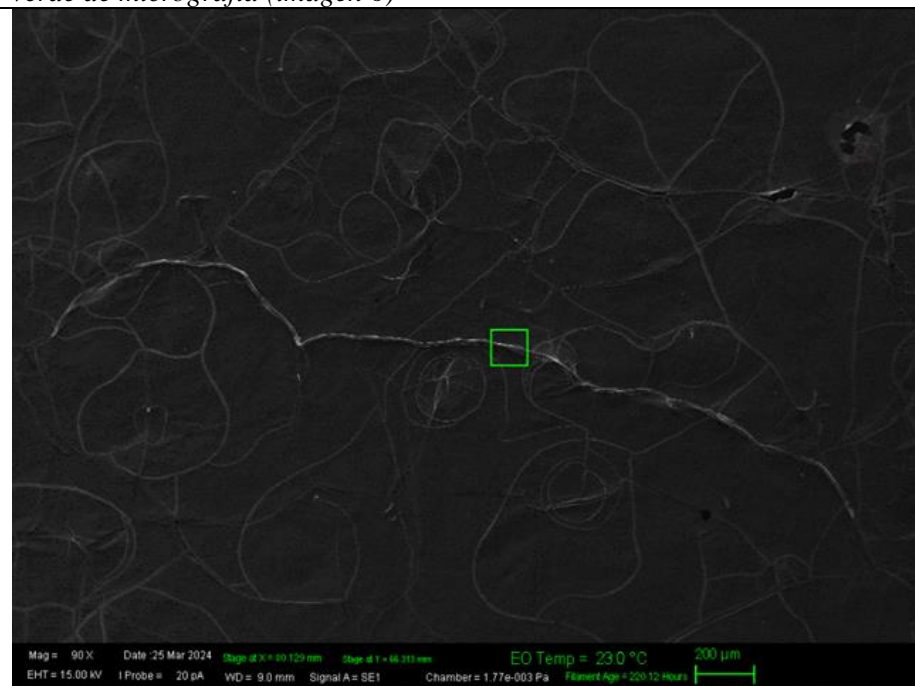


Imagen 6: Micrografía de microfibra (10 μm) de superficie relativamente lisa.

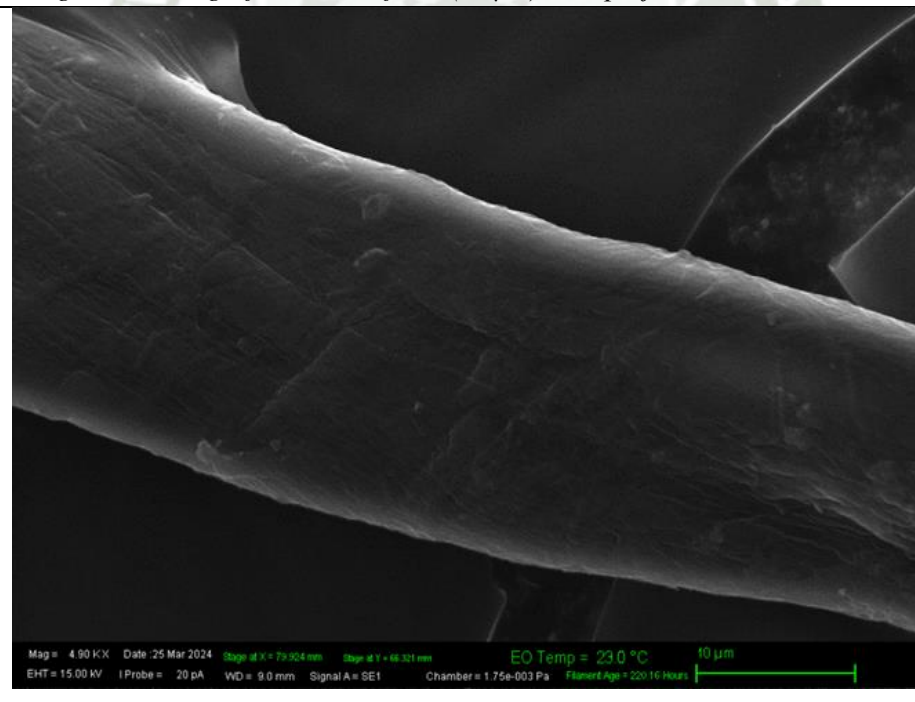


Tabla B.2 Imágenes SEM de Embalse Frayle

Imagen 1: Panorámica de microfibras (100 μ m)

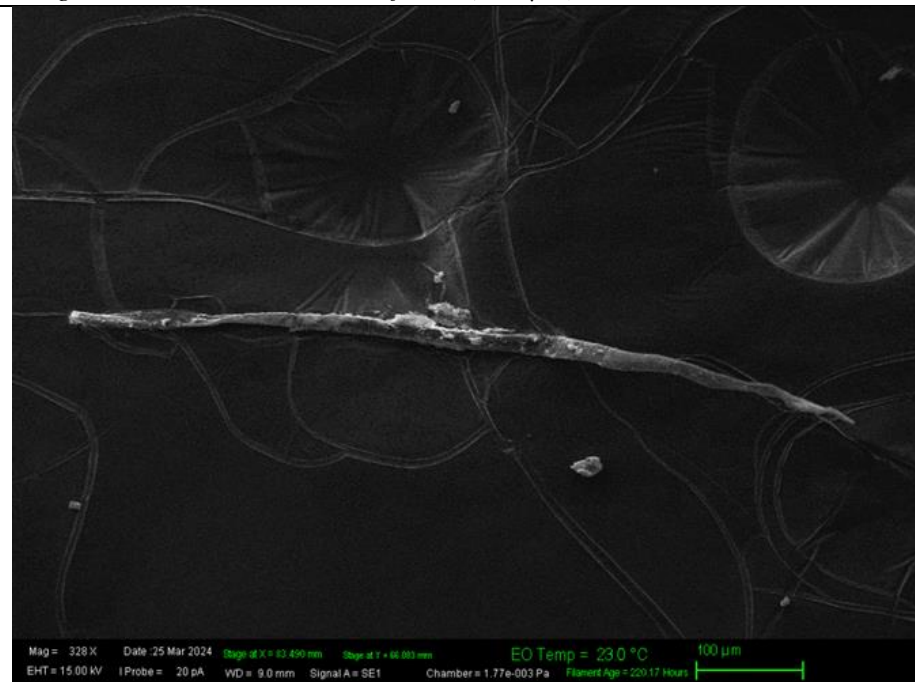


Imagen 2: Microfibra en vista panorámica (100 μ m), sección marcada en verde de micrografía (imagen 3)

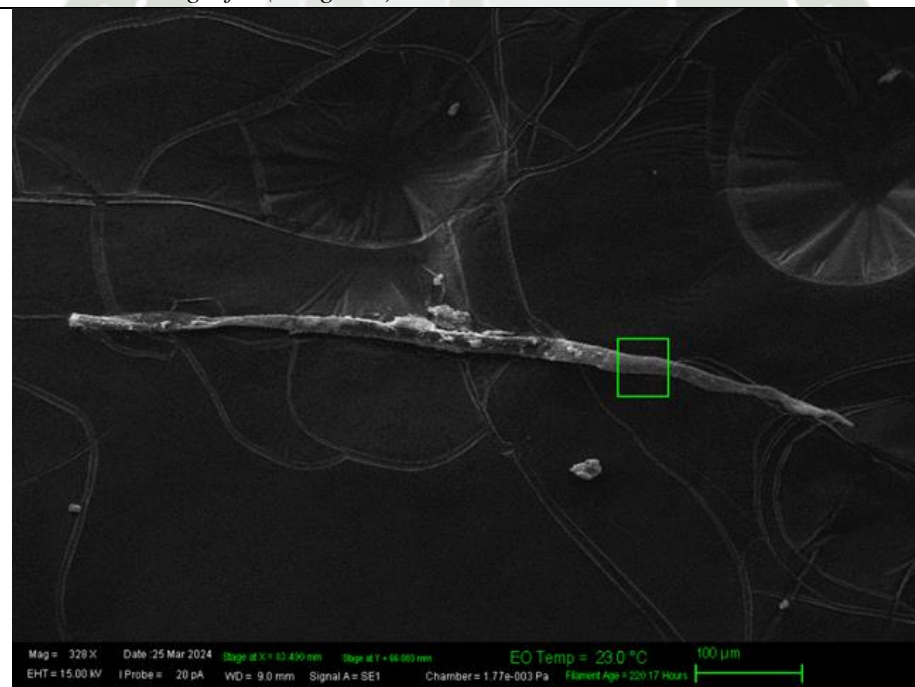


Imagen 3: Micrografía de microfibras (10 μ m) de superficie relativamente lisa.

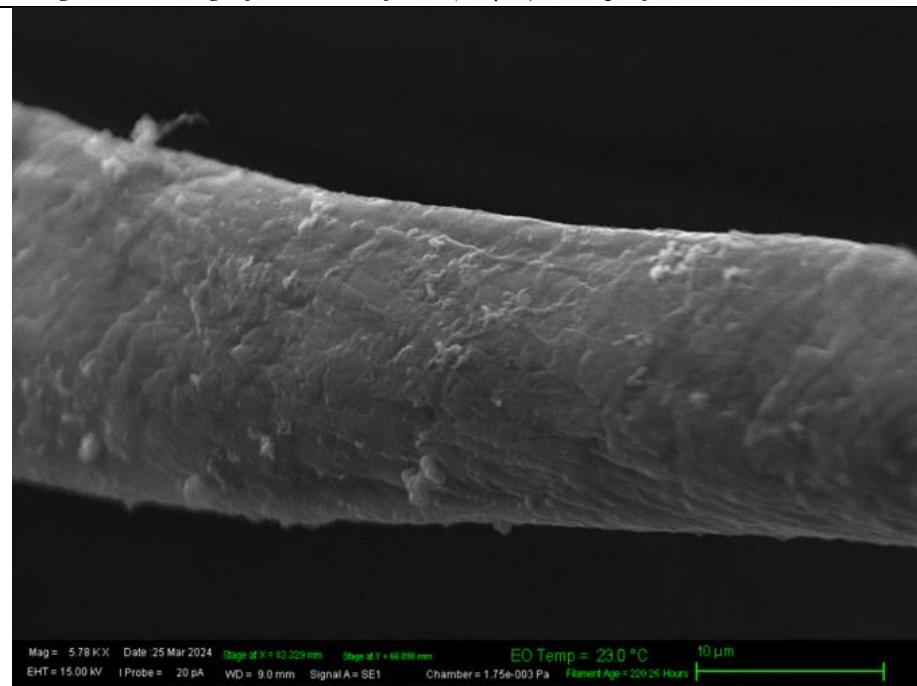


Imagen 4. Micrografía de microfibras delgadas (10 μ m) de superficie relativamente lisa.



Tabla B.3 Imágenes SEM de Embalse Aguada Blanca

Imagen 1: Microfibra en vista panorámica (200 μm)

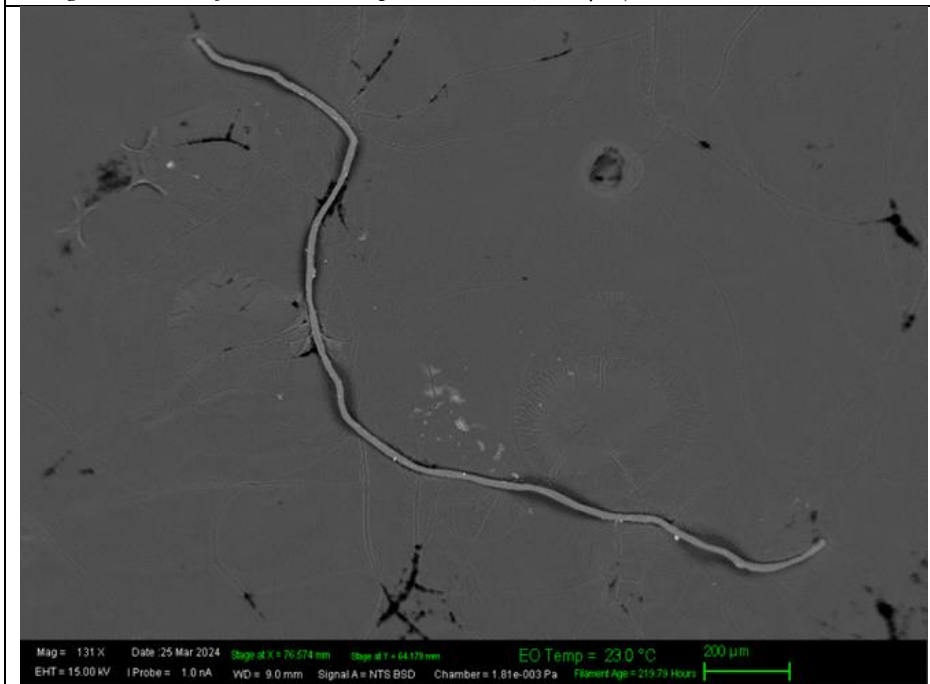


Imagen 2: Microfibra en vista panorámica (200 μm), sección marcada en verde de micrografía (imagen 3)

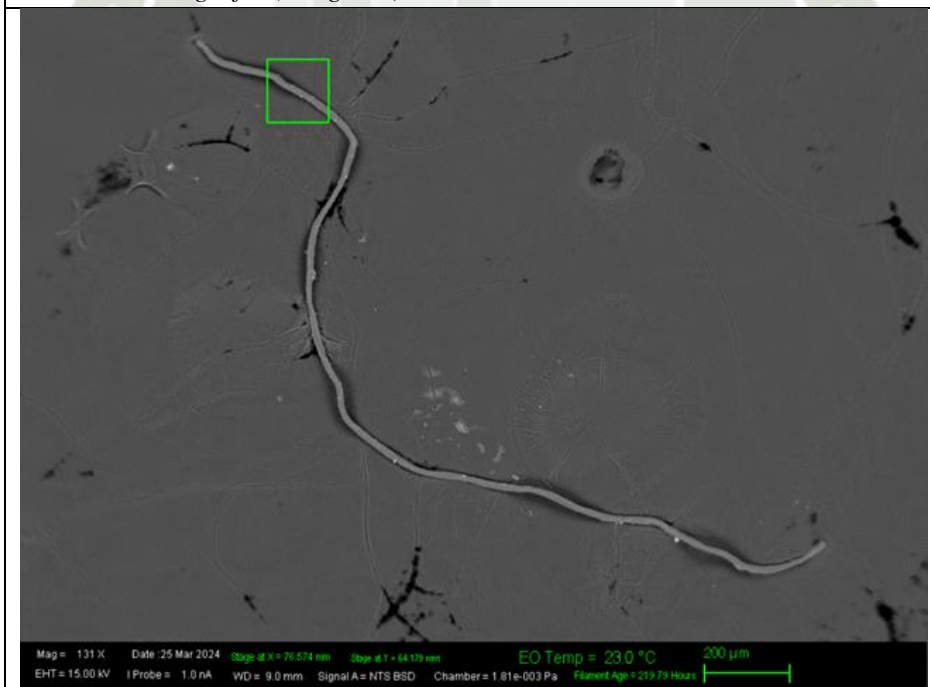
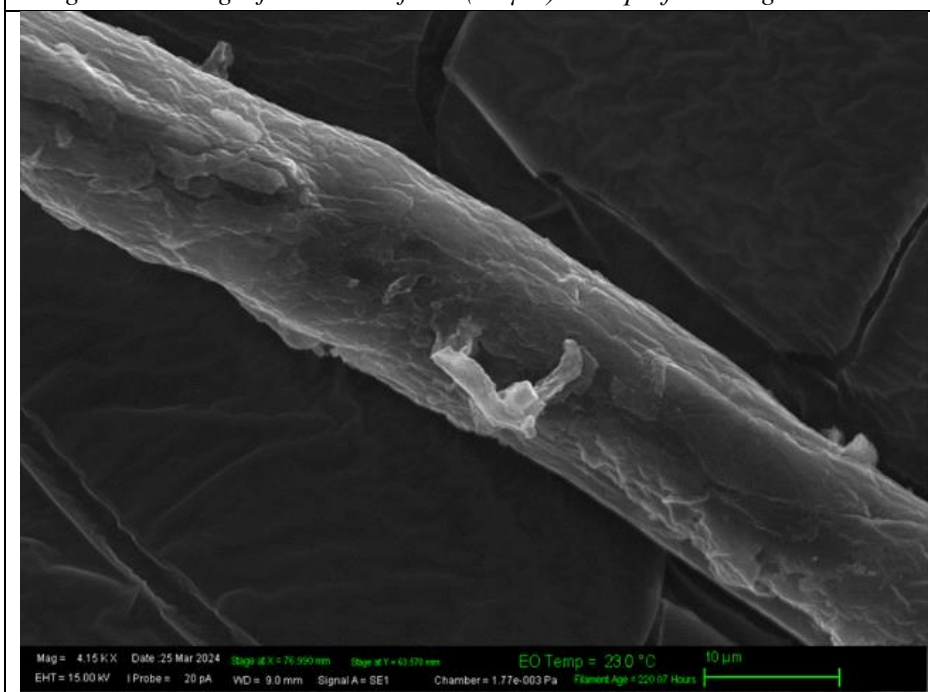


Imagen 3: Micrografía de microfibrá (10 μ m) de superficie desgastada



ANEXO 3: IMAGENES RAMAN DE EMBALSES AGUADA BLANCA, PAÑE Y FRAYLE

Tabla C.1. Imágenes RAMAN del Embalse Pañe

Imagen 1. El Pañe, microfibras de color blanco

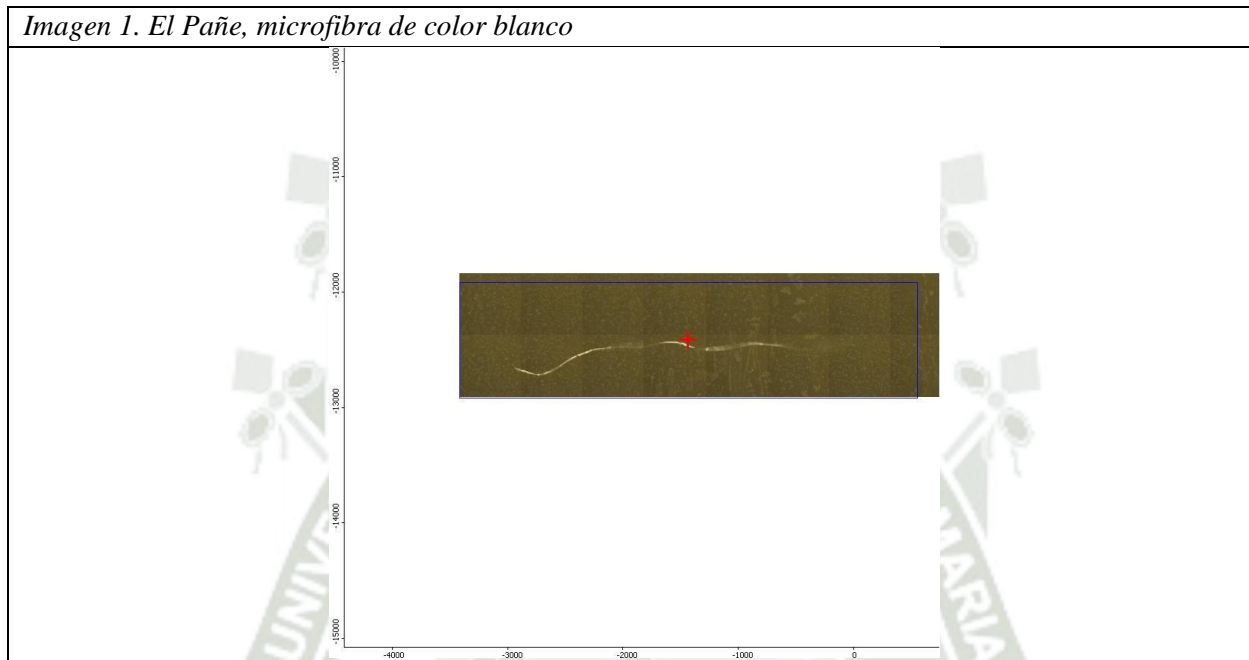


Imagen 2. Microfibras de color blanco amarillento de área (499μ x 480μ)

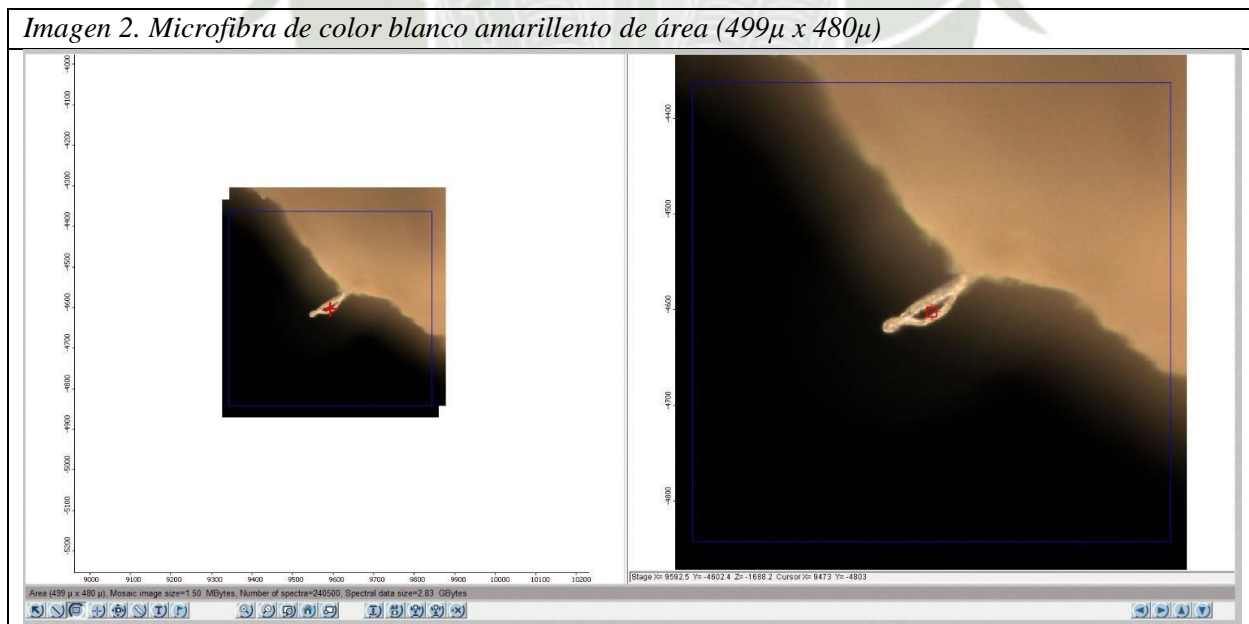
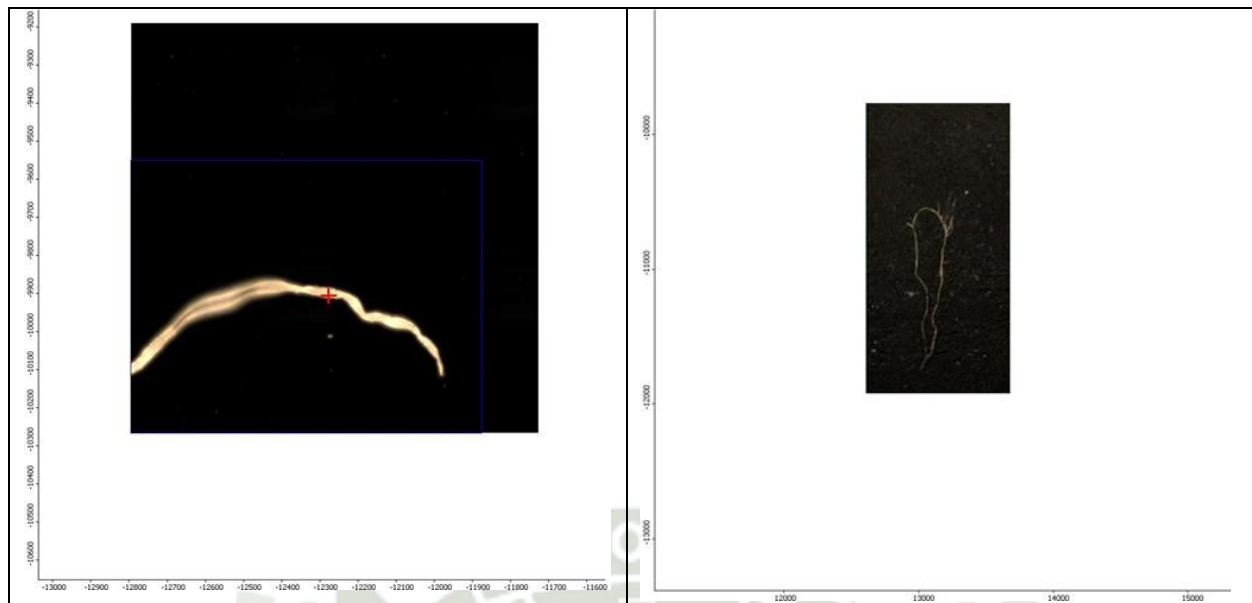


Imagen 3. Microfibras de color blanco

Imagen 4. Microfibras de color blanco



ANEXO 4: ESPECTROS RAMAN

Tabla D.1. *Imágenes de gráficos del espectro RAMAN*

