

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS GLACIARES DE MONTAÑA DE LA
RINCONADA – DEPARTAMENTO DE PUNO, 2021**

PRESENTADA POR:

BRAYAN HANTHONY LEÓN APAZA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2023



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](#)

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS

**EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS GLACIARES DE MONTAÑA DE LA
RINCONADA – DEPARTAMENTO DE PUNO, 2021**

PRESENTADA POR:
BRAYAN HANTHONY LEÓN APAZA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

PRIMER MIEMBRO

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. ELVIRA ANANI DURAND GOYZUETA

Área: Ciencias Naturales

Disciplina: Ciencias de la Tierra y Medioambientales

Especialidad: Oceanografía, Hidrología y Recursos del Agua

Puno, 30 de marzo de 2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi querida madre Olga, por ser mi maestra y fuente de fortaleza, constancia, tenacidad y amor en mi vida. A mi hermana Anabel por siempre creer en mí, por apoyarme en mis dificultades y compartir conmigo momentos de infinito aprendizaje. A mi padre Práxides por ser el impulsor incondicional para terminar mi carrera profesional y esta tesis. Y a Jennifer Reina por compartir conmigo este proceso y ser mi motivadora constante. Gracias por su apoyo y comprensión.

Brayan León

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Privada San Carlos, a la Facultad de Ingeniería Ambiental y a mis docentes que me brindaron aquellos insumos necesarios para mi formación profesional.

A mi asesora Mg. Ing. Elvira Ananí Durand Goyzueta, por incentivar me a la investigación del tema por su paciencia y asesoría en la realización del presente trabajo y a la Ing. Beatriz por su apoyo y guía en el trabajo de laboratorio.

A mis amigos Saúl, Romina, Verónica, Mercedes y Cristian que estuvieron conmigo durante los años de mi formación académica y haber compartido conmigo momentos agradables y de dificultad, siendo parte importante para mi crecimiento personal, gracias por su ayuda, consejos, motivación y su amistad.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	11
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema	16
1.1.1 Problema General	18
1.1.2 Problemas Específicos	18
1.2 Antecedentes	18
1.2.1 Nivel Internacional	18
1.2.2 Nivel Local	24
1.3 Objetivos de la Investigación	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivos Específicos	25

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Marco Teórico	26
2.1.1 Los Plásticos	26
2.1.2 Microplásticos	31
2.1.3 Glaciares Ecosistema de Montaña	39
2.2 Marco Conceptual	43
2.2.1 Plástico	43
2.2.2 Residuos Sólidos	44
2.2.3 Residuo Plástico	44
2.2.4 Polímero	44
2.2.5 Microplástico	45
2.2.6 Ecosistemas de Montaña	45
2.2.7 Cordillera de los Andes	45
2.2.8 Glaciares	46
2.3 Hipótesis de la Investigación	46
2.3.1 Hipótesis General	46
2.3.2 Hipótesis Específica	46

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Zona de Estudio	47
3.1.1 Ubicación	47
3.1.2 Climatología	49
3.1.3 Ecosistemas de Montaña	49
3.1.4 Monitoreo de Glaciares	50
3.1.5 Aspectos Socioeconómicos Culturales	51
	4

3.2 Tamaño de Muestra	51
3.2.1 Muestra	51
3.2.2 Selección de Puntos de Muestreo	52
3.3 Métodos y Técnicas	54
3.3.1 Extracción de Muestras	54
3.3.2 Análisis de Muestras	55
3.3.3 Tratamiento de Muestras	58
3.3.4 Microscopía Óptica	60
3.4 Identificación de Variables	63
3.5 Método o Diseño Estadístico	63
CAPÍTULO IV	
EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	
4.1 Determinación de Microplásticos en la Zona de Ablación	66
4.1.1 Identificación de Microplásticos, Muestras de Nieve Superficial	70
4.1.2 Identificación de Microplásticos, Muestras de Crioconita	72
4.1.3 Identificación de Microplásticos, Muestras de Sustrato	73
4.2 Caracterización Física de los Microplásticos	75
4.2.1 Forma de Microplásticos	75
4.2.2 Color de Microplásticos	76
4.2.3 Tamaño de Microplásticos	79
4.3 Discusión	83
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	93
ANEXOS	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Tipos de polímeros densidad, estructura, símbolo y abreviatura	27
Tabla 02: Frecuencia de polímero de muestras de microplástico según el tipo de ecosistema	34
Tabla 03: Puntos de extracción de muestras con las coordenadas y el tipo de muestra para evaluación	53
Tabla 04: Especificaciones de los equipos e instrumentos utilizados para el análisis de microplástico	56
Tabla 05: Materiales empleados para la extracción y procesamiento de muestras de la zona de ablación	57
Tabla 06: Reactivos utilizados para el procesamiento de muestras en laboratorio	58
Tabla 07: Variables de investigación, definición, dimensión e indicadores para el presente trabajo	63
Tabla 08: Ecuaciones y secuencia para la verificación de la parte estadística	65
Tabla 09: Resultados de los microplásticos hallados según el tipo de análisis y punto de extracción	67
Tabla 10: Estadística descriptiva de los resultados hallados en los puntos de extracción	68

Tabla 11:	Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de nieve superficial	71
Tabla 12:	Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de crioconita	72
Tabla 13:	Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de sustrato	74
Tabla 14:	Rango de tamaño de los microplásticos hallados en cada uno de los puntos de extracción con el promedio	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Tipos de polímeros densidad, estructura, símbolo y abreviatura	30
Figura 02: Esquema de la escala probable del tamaño de los fragmentos de los plásticos, nanoplástico, microplástico, mesoplástico y macroplástico	32
Figura 03: Clasificación de los microplásticos según su origen	33
Figura 04: Propuesta de las posibles fuentes y rutas de los microplásticos y su posterior acumulación	35
Figura 05: Origen y movilización de los microplásticos en el medio marino y su interacción biológica	37
Figura 06: Sistema glaciar y subsistema de la zona de ablación	40
Figura 07: Distribución de los glaciares tropicales, territorio peruano	41
Figura 08: Distribución de los estudios realizados en las zonas típicas de la criosfera a nivel mundial	43
Figura 09: Ubicación geográfica de la zona de estudio	48
Figura 10: Gráfico de las temperaturas medias y las precipitaciones en la Rinconada	49
Figura 11: Mapa de la reducción del área glaciar desde 1962 al 2016 de la Cordillera de Apolobamba	50

Figura 12:	Zona de ablación, ubicación de los tipos de muestreo (sustrato, nieve superficial y crioconita)	52
Figura 13:	Puntos de extracción de muestras en la zona de ablación Cordillera Apolobamba	53
Figura 14:	Diagrama de flujo desde la selección de puntos de muestreo hasta la llegada a laboratorio	55
Figura 15:	Diagrama de flujo del análisis de muestras de nieve superficial y crioconita	60
Figura 16:	Diagrama de flujo del análisis de las muestras de sustrato	61
Figura 17:	Inspección visual (a) microscopio, (b) cámara y (c) calibración de programa para la medición de los microplásticos	62
Figura 18:	Distribución de los valores obtenidos en los análisis de nieve superficial, crioconita y sustrato	69
Figura 19:	Fotografía de análisis de la muestra en blanco MB-02	70
Figura 20:	Fotografía de la extracción de muestras de nieve superficial zona de ablación	71
Figura 21:	Fotografía de crioconita en la zona de ablación	73
Figura 22:	Fotografía de la extracción de muestras de sustrato zona de ablación	74
Figura 23:	Porcentajes de la forma de microplástico hallado en la zona de ablación de acuerdo a los puntos de extracción	75

Figura 24:	Abundancia porcentual de colores de las muestras de nieve superficial	77
Figura 25:	Abundancia porcentual de colores de las muestras de crioconita	78
Figura 26:	Abundancia porcentual de colores de las muestras de sustrato	79
Figura 27:	Rangos de tamaño de los microplásticos hallados según los puntos de extracción	80
Figura 28:	Fotografías de los microplásticos y descripción del tamaño	82

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

COPs	: Contaminantes orgánicos persistentes
ELA	: Altitud equilibrium line
EPP	: Equipo de protección personal
kg	: Kilogramo
MaPs	: Macroplásticos
mm	: Milímetros
MP	: Microplástico
mp/kg	: Microplástico por kilogramo
mp/L	: Microplástico por litro
MPs	: Microplásticos
Mt	: Millones de toneladas
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
PA	: Poliamida
PC	: Policarbonato
PE	: Polietileno
PET	: Polietileno tereftalato
PP	: Polipropileno
PS	: Poliestireno
PU	: Poliuretano
PVC	: Policloruro de vinilo
ton/día	: Toneladas por día
µm	: Micrómetro

RESUMEN

Los llamados microplásticos (MPs) son partículas con un tamaño menor a los 5 milímetros (mm) que por sus propiedades físicas teorizan a ser ubicuos, representando una amenaza potencial para muchos ecosistemas. El Perú cuenta con 18 cordilleras de gran importancia ambiental para la región y la Cordillera de Apolobamba, ubicada al sur del ramal occidental, cuenta con una extensión de 35 km cumpliendo importantes funciones ecosistémicas, por lo que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar presencia de microplásticos en el glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba del departamento de Puno. Se establecieron 13 puntos de monitoreo distribuidos en la zona de ablación, se extrajeron muestras de nieve superficial, crioconita y sustrato, teniendo como técnica de aislamiento de microplástico la separación densimétrica con un adicional para el sustrato, donde se utilizó tamices de acero inoxidable con diferentes medidas de poro. Posteriormente se realizó la identificación visual para registrar las características físicas como el color, la forma, y utilizando un microscopio, se determinó el tamaño de estos. Se encontraron 1179 ítems de microplástico, donde para la nieve superficial se halló 121.50 ± 45.85 mp/L, crioconita 383 ± 236.34 mp/kg y para sustrato 283.34 ± 67.88 mp/kg; la forma predominante fue el de tipo película 56.9%, en cuanto al color el blanco (54.96%) y celeste (19.50%) fueron los más encontrados, finalmente el tamaño promedio fue de $0.25 \mu\text{m}$. Se llegó a la conclusión de que el glaciar ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba, es uno de los ecosistemas que presentan contaminación por microplásticos mostrando así la ubicuidad del mismo en los glaciares a gran altitud, siendo el primer estudio que registra esta información en el Perú evidenciando el riesgo a la calidad y la cantidad de este recurso.

Palabras clave: Crioconita, glaciares de montaña, microplástico, nieve superficial, sustrato

ABSTRACT

Microplastics (MPs) are particles smaller than 5 millimeters (mm) in size that, due to their physical properties, are theorized to be ubiquitous, representing a potential threat to many ecosystems. Peru has 18 mountain ranges of great environmental importance for the region and the Apolobamba mountain range, located south of the western branch, has an extension of 35 km fulfilling important ecosystemic functions, so the present work aimed to evaluate the presence of microplastics in the mountain glacier located in La Rinconada, Apolobamba mountain range in the department of Puno. Thirteen monitoring points distributed in the ablation zone were established, samples of surface snow, cryoconite and substrate were extracted, having as microplastic isolation technique the densimetric separation with an additional one for the substrate, where stainless steel sieves with different pore sizes were used. Subsequently, visual identification was performed to record the physical characteristics such as color, shape, and using a microscope, the size of these was determined. A total of 1 179 microplastic items were found, where for surface snow 121.50 ± 45.85 mp/L, cryoconite 383 ± 236.34 mp/kg and for substrate 283.34 ± 67.88 mp/kg; the predominant shape was film type 56.9%, as for color white (54.96%) and light blue (19.50%) were the most found, finally the average size was $0.25 \mu\text{m}$. It was concluded that the glacier located in La Rinconada, Cordillera de Apolobamba, is one of the ecosystems that present contamination by microplastics, thus showing its ubiquity in glaciers at high altitude, being the first study that records this information in Peru, which puts the quality and quantity of this resource at risk.

Key words: Cryoconite, mountain glacier, microplastic, surface snow, substratum.

INTRODUCCIÓN

Desde la invención de la materia prima para la fabricación del plástico se comenzó a evidenciar que el consumo excesivo, y que va en aumento, de este material está ocasionado fuertes impactos para todo tipo de ecosistemas en el mundo, debido principalmente a una mala gestión de los residuos plásticos; viendo que su término final es en ambientes marino costeros, ríos, lagos y otros ecosistemas alrededor del mundo. Investigaciones de la última década, respecto a este problema han mostrado que no solamente hay una aglomeración de residuos plásticos en el ambiente y que son un enorme problema social ambiental (Ruelas et al., 2020) sino que además estos han alterado su forma física convirtiéndose en partículas tan pequeñas que pueden llegar a ser imperceptibles al ojo humano, los llamados microplásticos (MPs).

Existen muchas investigaciones ya sobre microplásticos en ambientes marinos, en lagos, ríos, incluso en las regiones más frías del planeta como la Antártida, pero estudios en ecosistemas de montaña, como los glaciares, hay muy pocos; siendo importante su análisis para un mejor entendimiento del comportamiento de este tipo de contaminante, además de que apoyaría fuertemente la teoría de que los MPs ya se encuentran presentes en todas partes del planeta. Los MPs por su constitución están pasando a formar parte de todo tipo de ambientes, muchos estudios han demostrado las fuertes consecuencias de la acumulación tanto en ecosistemas específicos como en los organismos que forman parte de estos.

Ambrosini et al. (2019), evidenció por primera vez la presencia de microplástico (MP) en los glaciares de montaña, estableciendo que estos tienen la capacidad de acumularse y de ocupar lugares alejados de las mismas fuentes de emisión como las zonas urbanas o los lugares de acumulación de residuos sólidos como son los botaderos, ya que estos tienen la propiedad de ser menores a los 5 mm; además de ello se encontró plásticos de mayor

tamaño en este mismo ecosistema, bajo la denominación de macroplásticos (MaPs), como lo presenta Parolini et al. (2021), que llegó a encontrar entre 2.4 y 26.4 ítems/km, mostrando que una de las fuentes de MP en glaciares de montaña son los de tipo secundario que son el resultado de la fragmentación de plásticos de mayor tamaño a uno menor, por factores climático-ambientales.

El presente estudio tiene cuatro partes que se enmarcan en capítulos, siendo el capítulo I el planteamiento del problema, los antecedentes y finalmente los objetivos de la investigación; el capítulo II contempla la parte del marco teórico y marco conceptual donde se exponen las principales teorías en torno a la problemática de los plásticos y los MPs, además de una descripción de la cordillera de Apolobamba. El capítulo III describe la metodología de la investigación desde la zona de estudio, tamaño de muestra, los métodos y técnicas empleados, identificación de variables y el diseño estadístico. El capítulo IV expone los resultados obtenidos al igual que la discusión, finalmente, se presentan las conclusiones del estudio y las recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El gran invento del primer cuarto del siglo XX son los llamados objetos moldeables, el “Plástico”, palabra que se popularizó mundialmente (Perdomo, 2002) un material muy práctico que se introdujo a la sociedad de consumo muy rápidamente y así pasó a formar parte de casi todo, envolviendo dentro de sí desde la propia comida hasta los regalos; paso a reemplazar muchos otros materiales hasta el punto de que cualquier objeto de la vida cotidiana tiene una alta posibilidad de ser reemplazada por el plástico, debido principalmente a que son muy baratos en su producción y venta, además de ser livianos y resistentes (Elías, 2015). Pero desde su invención, el consumo excesivo y el aumento de este material ha ocasionado fuertes impactos para todo tipo de ecosistemas en el mundo, debido principalmente a la mala disposición final que se le ha dado, una ineficaz recolección para su reciclaje, y la falta de cultura y conciencia ambiental de la población; ocasionando una fuerte contaminación a todo tipo de ambientes.

En los últimos años la producción de plástico ha ido en aumento, de acuerdo al informe de Plastics Europe (2022), en el año 2019 se tuvo una producción mundial de 374.8 Mt (millones de toneladas) y para el 2020 se tuvo 375.5 Mt, pero esta cifra se vio incrementada

para el 2021 con 390.7 Mt debido principalmente a la crisis sanitaria de 2020 a causa del COVID19, mostrando una vez más la peligrosa practicidad que tiene este material para una sociedad de consumo. En consecuencia, se tienen 5.25 trillones de plásticos flotantes formando grandes vórtices de basura en el agua superficial de los mares, ocasionando serios problemas a aves y cetáceos (Eriksen et al., 2014); así mismo en el Perú el plástico representa el 10% de todos los residuos que genera el país, pero el 43.7% de estos llega a botaderos y/o termina en ríos, lagos o en el océano (Blancard et al., 2019) mientras que, en el departamento de Puno en la Rinconada la producción per cápita de residuos sólidos domésticos es de 21.37 ton/día. En ese contexto, se ha hablado mucho acerca del tiempo de persistencia del plástico en los ecosistemas, pero estos han alterado su forma física convirtiéndose en partículas tan pequeñas que pueden llegar a ser imperceptibles y peligrosas para los ecosistemas y los mismos organismos que las habitan.

En 2017, Purca & Henostroza evidenció por primera vez la presencia de microplástico (MP) en cuatro playas arenosas de Perú encontrando 522 fragmentos por metro cuadrado convirtiéndose así en una preocupación latente, pues la presencia en el ambiente marino de este contaminante ha demostrado su fuerte impacto en la parte abiótica y en la parte biótica de los ecosistemas, mostrando su rápido ascenso a través de la cadena trófica (Manrique, 2020) hasta el punto de llegar a nuestros platos de comida. Estudios han puesto en evidencia que los microplásticos ya se encuentran en ambientes prístinos, lugares que se ubican incluso muy alejados de zonas urbanas, como la cima del Everest, poniendo en riesgo a los glaciares más elevados del mundo (Immerzeel et al., 2020) lo que probablemente ponga en evidencia su ubicuidad.

La Cordillera de los Andes ha constituido a través del tiempo la columna dorsal de esta parte del planeta, albergando una gran cantidad de ecosistemas que son indispensables en el desarrollo de la población. En el Perú la cordillera constituye una importante fuente de

servicios ecosistémicos; pero debido a diversos factores como la constante contaminación y el cambio climático, ha venido afectando su cantidad como su calidad. Además, los glaciares de montaña constituyen una importante fuente de sostenimiento de ecosistemas debido a que son cabecera de cuenca, por lo que, su constante monitoreo y estudio para velar por su calidad es de vital importancia, aún más si existe evidencia de un nuevo tipo de contaminante como son los microplásticos (MPs). La Rinconada, uno de los centros poblados que se desarrolla muy cerca de la Cordillera de Apolobamba, es uno de los lugares donde se desarrolla muchas actividades económicas, siendo la minería informal e ilegal la más característica de la zona y que trae consigo una serie de conflictos socioambientales muy fuertes hasta la actualidad.

1.1.1 PROBLEMA GENERAL

¿Existirá presencia de microplásticos debido a la contaminación por residuos plásticos en los glaciares de montaña de la Rinconada, en el departamento de Puno?

1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es la cantidad de microplásticos presentes en la zona de ablación nieve superficial, crioconita y sustrato encontrado en el glaciar de montaña de la Rinconada?

¿Cuáles son las características físicas de los microplásticos encontrados en el glaciar de montaña de la Rinconada?

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 NIVEL INTERNACIONAL

Dentro del estudio de la presencia de los microplásticos (MPs) en ecosistemas de montaña Ambrosini et al., (2019) en su investigación “First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier”, evidenciaron por primera vez la presencia de

MPs en un ecosistema glaciar de montaña (Alpes Italianos), llegando a encontrar de 2 a 7 fragmentos por muestra que corresponden a 74.4 ± 28.3 ítems/kg en promedio y en crioconita 70.5 ± 32.9 ítems/kg, una cantidad que está dentro del rango de variabilidad de la contaminación microplástica en sedimentos marino costeros de Europa, representando un 65.2% las fibras y los fragmentos el 34.8% de todas las muestras agrupadas además estos estaban hechos por poliéster seguidos por poliamida, polietileno y polipropileno. Finalmente se estimó una cantidad total de microplásticos en la zona de ablación de 131 a 162 millones de partículas de plásticos, esto a través de la técnica de clasificación de imágenes ortofotos de alta resolución software ESRI ArcMap; esta cantidad puede derivarse de la concentración de escombros en la gran acumulación del área de ablación.

En 2020, Cabrera et al., propuso una metodología para extraer muestras de nieve superficial y núcleos de hielo dentro de la zona de acumulación y establecer una técnica menos manipuladora para la obtención de microplásticos, llegando a encontrar un total de 270 partículas MP en un volumen de 250 ml (un promedio de 89.7 MP por muestra) para nieve superficial y un total de 158 partículas de MP en el mismo volumen (un promedio de 52 MPs por muestra), el tamaño de MP osciló entre 60 y 2500 μm , además, los colores que se encontraron fueron, transparente (51%), azul (30%), blanco (9%) y rojo (6%); la contaminación cruzada fue insignificante debido a que las muestras en blanco presentaron <5% de MP. La técnica establecida en el estudio demostró eficacia en todas las etapas de análisis de MP a pesar de que el muestreo en glaciares de montaña es complejo debido a la accesibilidad.

Al no existir un estudio de la presencia MP en la meseta Tibetana, Zhang et al., (2021) en su estudio "Microplastic in glaciers of the Tibetan Plateau: Evidence for the long-range transport of microplastic" estudiaron muestras pertenecientes a dos glaciares Laohugou con una superficie de 21.9 km^2 y el glaciar Qiangyong con una superficie de 7.7 km^2 , llegando a

detectar tres formas de MP los cuales fueron fibra, fragmento y película variando en colores desde el negro, rojo, verde y azul; los polímeros identificados incluían poliamida, caucho, polipropileno, tereftalato de polietileno, policarbonato, politetrafluoroetileno y polietileno. Los glaciares proporcionan información sobre el transporte atmosférico de largo alcance de los contaminantes del aire debido a su alta elevación, a las condiciones meteorológicas y a los procesos únicos de deposición seca y húmeda (nieve).

Stefánsson et al., (2021) en su estudio “Microplastics in glaciers: first results from the Vatnajökull ice cap” identificaron partículas MP en núcleos de nieve recolectadas en un lugar remoto y prístino en la capa de hielo de Vatnajökull al sureste de Islandia. Se detectaron varios tipos de partículas MPs con diversas morfologías, cuatro fragmentos de un diámetro de 30 a 3000 μm y dos fibras de plástico que tenían 1300 μm y 3000 μm de largo, los tipos de materiales incluyeron poliuretano, cloruro de polivinilo, poliamida y acrilonitrilo butadieno estireno, que fueron analizadas con espectroscopia μ -Raman demostrando así la presencia de partículas MP en la capa de hielo estudiada. Las partículas de plástico se degradan lentamente en un ambiente frío como los glaciares y pueden persistir durante mucho tiempo de donde finalmente se liberan para incorporarse en ríos y/o ambientes marinos.

Además González-Pleiter et al., (2021) en la investigación “A pilot study about microplastics and mesoplastics in a Antarctic glacier”, que tuvo por objetivo evaluar la presencia de plástico en dos superficies de hielo alrededor del lago Uruguay y el lago Ionosférico en los glaciares Antárticos en el glaciar Collins (península de Fildes que tiene una superficie de 15 km^2); se llegó a recolectar un total de 45 artículos identificados preliminarmente como plásticos de los cuales 29 fueron confirmados como plásticos (análisis μFTIR) teniendo un tamaño de entre 2292 a 12 628 μm de largo y de 501 a 11 334 μm de ancho, siendo el material predominante poliestireno expandido, poliéster y poliuretano. Por lo que se encontraría un total de 0.17 ítems/ m^2 alrededor del lago Uruguay y 0.33 ítems/ m^2 alrededor del lago Ionosférico, dando la

primera evidencia de micro y meso plástico en esta prístina zona, teniendo la hipótesis de que los vientos fuertes son la causa principal de su existencia.

Además de los estudios realizados en diferentes espacios del mundo, en América del Sur Cabrera et al., (2022) en su estudio “Microplastics in a tropical andean glacier: a transportation process across the Amazon basin?”, se recolectó nieve superficial a lo largo de una gradiente de elevación de entre los 5000 a 5400 m.s.n.m. en el glaciar de Antisana (cordillera norte de los Andes del Ecuador) para analizar la abundancia de MP y la identificación polimérica con infrarrojo de Fourier (FTIR) y para hipotetizar las posibles fuentes de MPs. Los resultados más altos encontrados fueron a los 5000 m.s.n.m. con 162 ± 78 MPs/L y la concentración más baja a los 5200 m.s.n.m. 102 ± 73 MPs/L, la mayoría incluían fibras 70%, películas 15%, fragmentos 14% y esferas 1%, siendo predominantes las transparentes 63%, azules 15%, negras 8% y blanco/rojo 7%, la composición de MP incluía principalmente poliuretano, polietileno, poliamida, poliéster y polietileno. Estos resultados podrían mostrar que la acumulación de MP fue transportado por el este, por el flujo predominante del aire que se da a través de la Amazonía, la ausencia de ciudades industriales a unos 2000 km podría indicar que el recorrido y la deposición de este contaminante se da a muchas más largas distancias.

Los MPs no son los únicos estudiados en este tipo de ecosistemas, los macroplásticos (MaPs) también fueron identificados, Parolini et al., (2021) en su estudio “Macroplastics contamination on glaciers from Italian central-western alps” tuvo como objetivo investigar la presencia de MaPs en cinco glaciares de los Alpes Italianos Cedec, Forni, Indren, Lys y Verra Grande. Encontrando que la abundancia media global fue de 18.9 ± 5.1 ítems, la abundancia media en los grupos Monte Rosa y Ortles-Cevedale fue de 11.1 ± 6.7 ítems/km y el tamaño medio fue de 9.2 ± 1.5 cm; las categorías de los ítems encontrados fueron envases de alimentos 27%, artículos de equipos de montaña 22% y ropa técnica 8%, por lo que el origen

de la mayoría de los macroplásticos fue atribuible a los envases de alimentos y/o ropa de montañismo que llegaron a los caminos de los glaciares ya sea de manera involuntaria o voluntaria.

Todos estos hallazgos muestran en general determinados rasgos a considerar por lo que Zhang et al., (2022) en su estudio “Current status and future perspectives of microplastic pollution in typical cryospheric regions” hace una revisión del MP como contaminante emergente en las regiones criosféricas típicas y sus vías de transporte. Se resalta la imperante necesidad de establecer una metodología estándar en el pretratamiento y la identificación de los MPs, además se destaca que las regiones no polares (meseta tibetana, los andes o los Alpes) son receptores potenciales de las emisiones de MP lo que podría indicar un riesgo climático futuro por lo que el impacto de los MPs en la nieve y el hielo, en el ciclo del carbono junto con el riesgo climático deben abordarse con mayor detenimiento en el futuro.

Además, Padha et al., (2022) en su estudio “Microplastic pollution in mountain terrains and foothills: a review on source, extraction, and distribution of microplastic in remote areas” hace una revisión de la fuente, el muestreo, la distribución y el comportamiento de los MPs en terrenos montañosos y estribaciones de montaña. Observando que las fibras, fragmentos, películas y esferas son los tipos más comunes de MP encontrados además de que la composición de estas serían el polipropileno, polietileno, poliestireno, poliéster y PVC son los más comunes. También se observa una brecha de conocimiento que es notable sobre los riesgos ecológicos y biológicos, la toxicidad, influencia sobre los servicios ecosistémicos y la pérdida de biodiversidad que tendría este contaminante sobre los ecosistemas de montaña.

Con el pasar del tiempo se fue avanzando en el estudio de los MPs y su posible trayectoria por lo que Wang et al., (2022) en su estudio “Long range transport of atmospheric microplastics deposited onto glacier in southeast Tibetan Plateau” investigaron la presencia

de MP en pozos de nieve recolectadas del glaciar Demula (Meseta Tibetana al lado del río Yalong Zangbo). Los resultados mostraron que el promedio de MP en la nieve fue de 9.55 ± 0.9 artículos/L oscilando de entre 0 a 36.09 artículos/L donde el valor más bajo se registró a una profundidad de 30 a 40 cm y el más alto de 120 a 130 cm, en cuanto a los colores de MP que se encontró fue el negro 73.33%, transparente 16.67%, amarillo 6.67% y verde 3.33%, además de ello la fibra, la película y el fragmento fueron las formas detectadas con un 50%, 33.33% y 16.67% teniendo un tamaño de $48 \mu\text{m}$ a $<200 \mu\text{m}$; la composición de los MPs encontrados fueron el cloruro de polivinilo, hidroxipropil e hidroxipropilmetilcelulosa. Las simulaciones de la trayectoria de las masas de aire sugieren que los MPs pueden haber sido transportados desde regiones fuertemente contaminadas y que se encuentran a una distancia bastante considerable en dirección al Océano Índico.

Crosta et al., (2022) en su estudio "Microplastic contamination of supraglacial debris differs among glaciers with different anthropic pressures" el objetivo fue investigar la presencia, la distribución espacial y los patrones de contaminación de MP en tres glaciares de los Alpes centrales norte de Italia (Forni, Cedec y Ebenferner-Vedretta) con diferentes presiones antrópicas. Se identificaron un total de 234 MPs, donde 25 elementos pertenecían al glaciar Forni, 10 elementos al glaciar Cedec, y 199 elementos Ebenferner-Vedretta. No se observó diferencias significativas en las concentraciones de MP con diferentes procedimientos de campo (bata quirúrgica y zuecos de madera, bata quirúrgica y botas de montaña, o botas de montaña y ropa técnica). La concentración media de MP por gramo de escombros en los glaciares estudiados fue de 0.033 ± 0.007 , 0.025 ± 0.009 y 0.265 ± 0.027 MP/g Forni, Cedec y Ebenferner-Vedretta respectivamente, donde los colores predominantes eran el azul 22.7%, negro 20.9%, rojo 16.7%, transparente 13.3%, blanco 12% y gris 9%. Los polímeros identificados fueron polipropileno 13.2%, polietileno 11.5%, tereftalato de polietileno 7.7% y polietileno de baja densidad 7.3%. Confirmando de esta manera la presencia de este

contaminante arrojando a la luz que en gran medida la concentración de estas depende de la presión antrópica más que del transporte atmosférico.

1.2.2 NIVEL LOCAL

En cuanto al estudio de este contaminante emergente en el Perú no se tienen estudios en ecosistemas de montaña más a nivel local Paredes et al., (2019) estudiaron la presencia de microplásticos en el Lago Titicaca estableciéndose tres estaciones de muestreo: Uros, Llachon y Amantaní. Se tomaron dos muestras de especies de importancia ecológica y económica el carachi amarillo y pejerrey argentino, además de hacer un muestreo por columna de agua. Para el aislamiento de microplástico se utilizó la separación densimétrica y para las especies se empleó digestión alcalina del tracto digestivo para luego hacer un tamizado. Se encontró microplásticos en todas las muestras donde predominaban las fibras; en el agua superficial se encontró un promedio de 175 916. 6667 mp/m³ y para la columna de agua 22 583.3433 mp/m³, en el 10 caso de las especies se encontró un promedio de 25.4056 mp/individuo, mostrando así que el Lago Titicaca se suma a los cuerpos de agua afectados por MP.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar presencia de microplásticos en el glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba del departamento de Puno.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cantidad de microplásticos presentes en la nieve, sustrato y crioconita de la zona de ablación del glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, departamento de Puno.
- Caracterizar los microplásticos encontrados a través de sus propiedades físicas en el glaciar de montaña que se ubica en la Rinconada, departamento de Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 LOS PLÁSTICOS

Se tienen registros de la primera producción de plástico que datan de los años 1824 en la empresa *The Horners Company* en Londres, compuesto de una mezcla de cuero y carey siendo plástico de origen natural; en ese mismo año Alexander Parkers creó el primer plástico semi sintético de nitrato de celulosa (Plastics Europe, 2012), posteriormente Leo Baekeland fue el inventor de la baquelita, dando inicio al plástico sintético. Teniendo como características principales lo poco costosos, durables, fuertes, livianos, resistentes a la corrosión y a la humedad por lo que es usado en todo el mundo en el empaque de productos alimenticios, farmacéuticos, cosméticos, detergentes y químicos. Estas características son difíciles de conseguir en otro tipo de materiales convirtiéndolo en una solución y un problema (DeTitto et al., 2022).


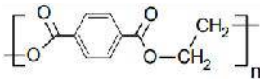


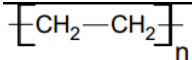
Durante las últimas décadas, la producción de plástico ha estado en aumento constante y se registra que en el año 2021 se tuvo una producción de 390.7 Mt de plástico (Plastics Europe, 2022) producción que representa un sin número de residuos sólidos. Durante un largo periodo los plásticos y sus problemas derivados, han sido el centro de atención, pero, desde el año 2004 se observó la generación de fragmentos pequeños como fibras o gránulos que




derivan de este material (Cole et al, 2011); esto debido principalmente a que el plástico tiende a ser quebradizo y a fragmentarse en pedazos más pequeños si se exponen a radiación UV, factores climáticos y otro tipo de condiciones propias del ambiente (More, 2008).

A. Tipos de Plásticos

En un principio los plásticos fueron hechos de resinas naturales, pero, con el correr del tiempo y el avance de la tecnología los plásticos comenzaron a ser de materiales sintéticos y una mayoría de estos a base de derivados de petróleo (Manilla & Martínez, 2008). Dentro de la clasificación de los plásticos estos se pueden dividir por su origen como naturales y sintéticos, y por su estructura como los termoestables o termo rígidos, que se moldean a calor y presión, pero no pueden ser moldeados nuevamente, los elastómeros, caracterizados por su gran capacidad elástica y su capacidad de resistencia a diferentes tipos de esfuerzos y los termoplásticos que se derriten y endurecen con el cambio de temperatura (Lino, 2022; López, 2020).

Tabla 01: Tipos de polímeros densidad, estructura, símbolo y abreviatura

Abreviatura	Polímero	Densidad	Productos representativos	Símbolo	Estructura
PET	Polietileno tereftalato	1.37-1.45	Botellas de agua, envases de productos alimenticios, fibras sintéticas, etc.		
PEAD	Polietileno de alta densidad		Envases de productos alimenticios y de limpieza, juguetes, etc.		
PEBD	Polietileno de baja densidad		Films adhesivos, embalajes, bolsas, invernaderos, etc.		
PE	Polietileno	0.91-0.96			

PVC	Policloruro de Vinilo	1.16-1.58	Marcos de ventanas, tuberías rígidas, cables aislantes, tarjetas, revestimientos de suelos, etc.		$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]_n$
PP	Polipropileno	0.90-0.91	Tapas de botella, envase de productos alimenticios, piezas de automóviles, componentes eléctricos.		$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right]_n$
PS	Poliestireno	1.04-1.10	Envases de comida para llevar, cubiertos desechables, envases multicapa de electrodomésticos, etc.		$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right]_n$
PES	Poliéster		Ropa poliéster		
PA	Poliamida	1.02-1.05	Cepillos de diente, etc.		$\left[\text{C}(=\text{O}) - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{NH} \right]_n$
PU	Poliuretano	1.20			$\left[\text{NH} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} \right]_n$
PC	Polycarbonato	1.20-1.22			$\left[\text{C}(=\text{O}) - \text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} \right]_n$
PMMA	Poli (metil metacrilato)	1.17-1.20			$\left[\text{C}(\text{CH}_3) - \text{CH}_2 - \underset{\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})}{\text{C}} \right]_n$

Fuente: Adaptado de Lino (2022) y Klein (2015)

Muchas son las propiedades de cada uno de los tipos de plástico, unos son tan resistentes y livianos como el kevlar material elaborado de un polímero llamado fenileno tereftalamida que son usados en parte de la estructura de aviones y cohetes; además de ello, muchos de estos plásticos presentan también vidas útiles muy cortas, y por su variedad muchos son difíciles de reciclar, dando como resultado uno de los problemas más graves de contaminación

ambiental de estos tiempos, pues estos tardan hasta 300 años en degradarse completamente. (Plastics Europe, 2018; Sosa, 2020).

B. Usos de los Plásticos

Las aplicaciones de los plásticos son infinitas y van desde piezas de recambio para aparatos electrónicos, eléctricos e industriales, como aislantes, protectores, fundas, amortiguadores, etc., hasta componentes del sector de construcción como las tuberías, impermeabilizantes, aislantes, vidrios, fabricación de herramientas, juguetes, envoltorios, muebles, envases separadores, sujetadores y bolsas (DeTitto et al., 2022). Cada una de estas aplicaciones va de acuerdo a la producción mundial de plástico por lo que según Plastics Europe, (2022) China mantiene su liderazgo con un 32% de la producción seguido de Norte América con un 18% y de Europa con un 15%, mientras que Latinoamérica y Japón presentan sólo un 4% y 3% de la producción mundial en el año 2021.

En cuanto a la producción por tipo de plástico se pueden distinguir seis grandes categorías, polietileno (incluido el de baja densidad PEBD y el de alta densidad PEAD), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), poliestireno sólido (PS) y expandido (PS-E), polietileno tereftalato (PET) y el poliuretano (PUR), siendo de importancia resaltar que existe un 8.3% y un 1.5% de producción de plástico reciclado y plástico de origen biológico respectivamente (Góngora, 2014). En el Perú la cantidad de plástico que se usa por ciudadano es de unos 30 kg por año y se llegan a emplear 3000 millones de bolsas plásticas, aproximadamente 6000 bolsas por minuto (MINAM, 2017).

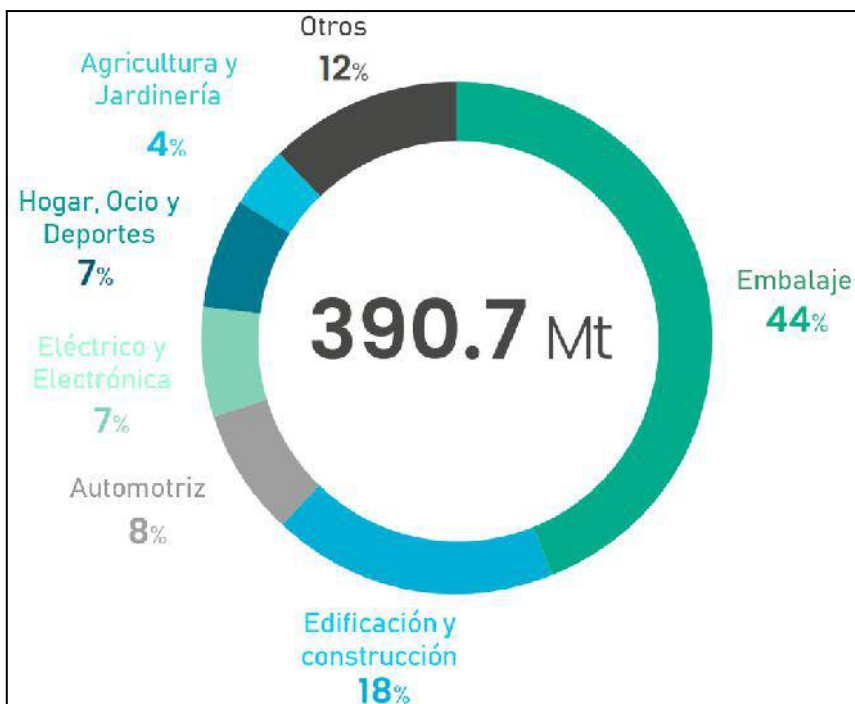


Figura 01: Distribución mundial del uso y aplicación de los plásticos

Fuente: Modificado de Plastics Europe (2022)

C. Contaminación por Residuos Plásticos en el Perú

En el Perú en el año 2013 la generación de residuos urbanos fue de 7 Mt distribuidas a lo largo de las tres regiones, en la costa 1.77 Mt, en la sierra 1.65 Mt y en la selva 0.79 Mt (Huanaco, 2019). A finales del 2019 se tuvo una producción de residuos sólidos de 8 Mt de los cuales el 10% representó a los desechos plásticos (900 mil toneladas) y de éstas sólo se logró reciclar el 4% (Lara Rojas, 2022); la composición de los residuos generados, tanto en ciudades rurales como urbanas, es diversa siendo un 54% de tipo orgánico y el resto lo conforma los PET, PS, PVC, PP y residuos no reaprovechables y peligrosos (Ruiz et al., 2009). La producción per cápita de residuos sólidos domésticos de la Rinconada es de 0.81 kg/hab/día teniendo una producción de 21.37 ton/día siendo el 12% de estas bolsas plásticas, plástico duro, PET y caucho (Soto, 2016).

Algunos eventos en el Perú como la quema de basura, el vertimiento de residuos a los cuerpos de agua (ríos, lagunas, lagos o el mar) confirman el origen de una alta proporción de residuos emitidos al ambiente, pero el país es una de las regiones en el mundo con más bajas emisiones de plástico junto con España y Bolivia (Manrique, 2019), pero estas afirmaciones se vieron impactadas debido a la emergencia sanitaria a inicios del 2020 pues el uso de mascarillas se hizo obligatorio a raíz del DS 083-2020-PCM, y así se observó un aumento en la producción y consumo de EPP elaborados a partir de fibras fundidas para la fabricación de trajes que incorporan plásticos como el PP cuyos residuos generan formación de MPs y su acumulación posterior en los ambientes naturales (Fadare Okoff, 2020).

2.1.2 MICROPLÁSTICOS

Cada año se producen millones de toneladas de plástico y la mayoría de estos son resistentes a la biodegradación debido a que se descomponen por acción mecánica, se han llegado a registrar grandes fragmentos de residuos plásticos en los últimos 60 años en hábitats que van desde los polos hasta el Ecuador, pero los fragmentos de menor tamaño son los que se han descuidado, los “microplásticos” son un contaminante emergente y generalizado de origen antropogénico que desde su reporte por primera vez por Thompson (2004) ha pasado a convertirse en una amenaza silenciosa e invisible que está afectando de manera significativa a ecosistemas marinos y terrestres a nivel mundial (Zhang et al., 2022).

Los MPs tienen una densidad mayor que el agua de mar 1.02 g/cm^3 (agua pura es de aproximadamente 0.99 g/cm^3) por lo que tienen la tendencia a hundirse y acumularse en el fondo marino, mientras que los MPs de menor densidad tienden a flotar en la columna de agua y la superficie (Castro, 2019), la densidad común de los plásticos va de 0.91 a 2.01 g/cm^3 por lo que la flotabilidad de los plásticos se ve afectada por las corrientes de agua, aire y las turbulencias (V. Téllez, 2019).

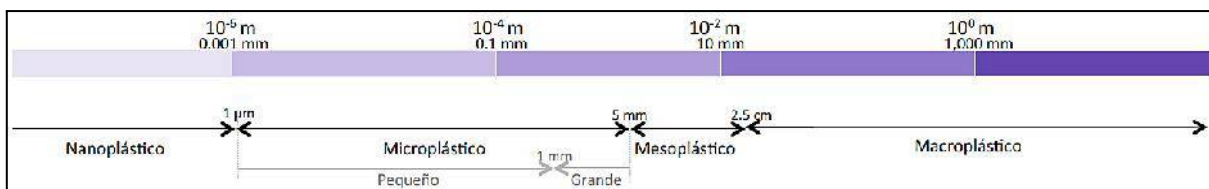


Figura 02: Esquema de la escala probable del tamaño de los fragmentos de los plásticos, nanoplástico, microplástico, mesoplástico y macroplástico

Fuente: Propuesta por MSFD GES Technical Subgroup on Marine Litter

A. Tipos de Microplásticos

Los MPs se pueden llegar a clasificar en función de su procedencia en MPs primarios (originales) y MPs secundarios (derivados de la degradación de las fuentes primarias), la mayoría de los MPs presentes en los ecosistemas son derivados principalmente de fuentes secundarias, aunque se ha registrado casos de MP primario hallado en grandes lagos de EEUU cuya composición principal provenía de exfoliantes faciales (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016; Marcus, 2013).

Los MPs primarios desde su proceso de fabricación han sido elaborados de ese tamaño (> 5 mm) como se muestra en la Figura 3, tales como los pellets, productos de cuidado personal, productos médicos, abrasivos de carácter industrial y resinas de plástico antes de ser procesadas (Donoso, 2018), mientras que los MPs secundarios son productos de la degradación o fragmentación de partículas de plástico más grandes y esta puede ocurrir por el uso o desgaste, y se pueden encontrar en la basura en general, plantas de reciclaje, restos de equipo de pesca, basura generada por actividades recreacionales, pinturas que contengan polímeros sintéticos, polímeros usados como aditivos y fibras (Duis, 2016).

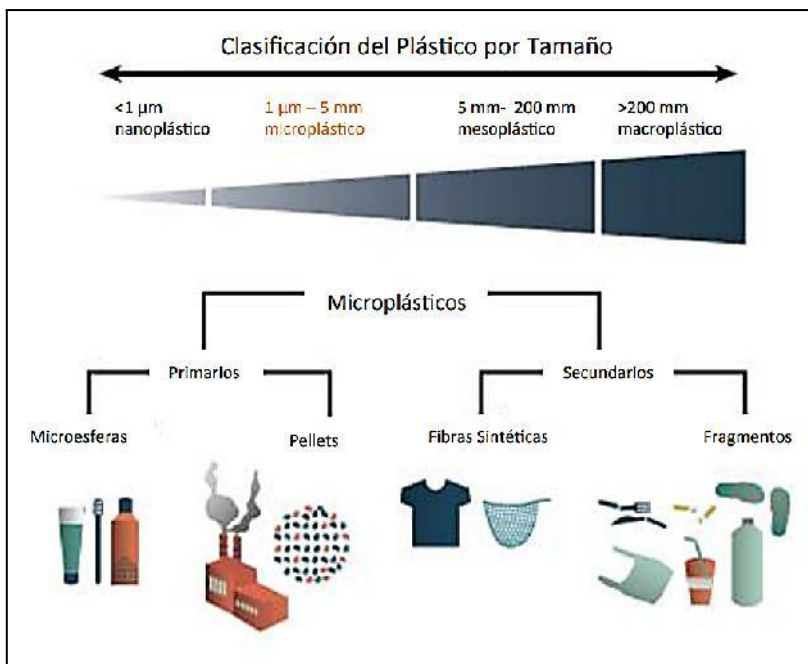


Figura 03: Clasificación de los microplásticos según su origen

Fuente: Castro (2019)

B. Presencia de los Microplásticos en el Ambiente

Aunque los sistemas marinos son los que mayor atención reciben por este contaminante, los MPs pueden llegar a contaminar la atmósfera, los suelos y muchos ambientes acuáticos; se ha llegado a encontrar MP en aguas superficiales, en el fondo del océano y sus costas (Manrique, 2019) incluyendo muchas zonas de la criosfera. Esto hace que los MPs se conviertan en un problema transfronterizo por lo que la solución no radica en la eliminación de tan solo un punto de contaminación y la tecnología con la que contamos aún no es capaz de eliminar por completo a los MPs (CBD y STAP, 2012).

Koutnik et al., (2021) indica que la concentración de MP disminuye desde las áreas urbanas tierra adentro hasta estuarios en áreas costeras o los límites terrestres, mostrando que a pesar de que los ríos y aguas pluviales son los transportes usuales de los MPs hacia áreas costeras, estas no llegan a superar las concentraciones al interior de las áreas urbanas; sin

embargo, los glaciares remotos contienen concentraciones altas en comparación de los puntos urbanos críticos, y esto se debería probablemente al transporte de MP a través de la atmósfera y a que estos ecosistemas están siendo receptores de este contaminante. La abundancia de los MPs varía según el tipo de polímero, se identificaron en su mayoría PP, PE, PET, y PS; en la siguiente tabla se muestra su abundancia según el área de estudio.

Tabla 02: Frecuencia de polímero de muestras de microplástico según el tipo de ecosistema

Área de estudio	Frecuencia de Polímero
Columna de agua	PP
Sedimentos	PE
Glaciares	PET
Lagos	PET
Ríos	PE
Estuarios, arroyos urbanos y estanques de retención	PP
Sustrato	PE, PP y PET

Fuente: Adaptado de Koutnik et al. (2021)

C. Fuentes y Rutas de los Microplásticos

La fuente principal de entrada de los MPs hacia el ambiente va a ser determinada por el tipo de MP, ya sea primario o secundario, por ejemplo, más del 80% de los plásticos que llegan hacia el océano provienen de fuentes terrestres (basura plástica, emisión de MP primario, actividades relacionadas a la pesca) (Benavente, 2021). Además, Browner & Kersaw (2010) expresan que otra fuente importante de MP es la industria textil debido a que se arrojan en promedio 1900 fibras sintéticas, tales como el poliéster y la poliamida, en cada lavado de las prendas.

Otra fuente de MP hacia los cuerpos de agua son las aguas residuales de las Plantas de Tratamiento (PTAR), el runoff de las zonas urbanas, rellenos sanitarios y las áreas industriales. Junto a estas fuentes se encuentra el MP primarios usado como aditivo en algunos productos de cuidado personal que sumado a descargas accidentales de pellets de resinas plásticas durante las actividades de transporte de la industria, son una importante fuente de MPs (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).

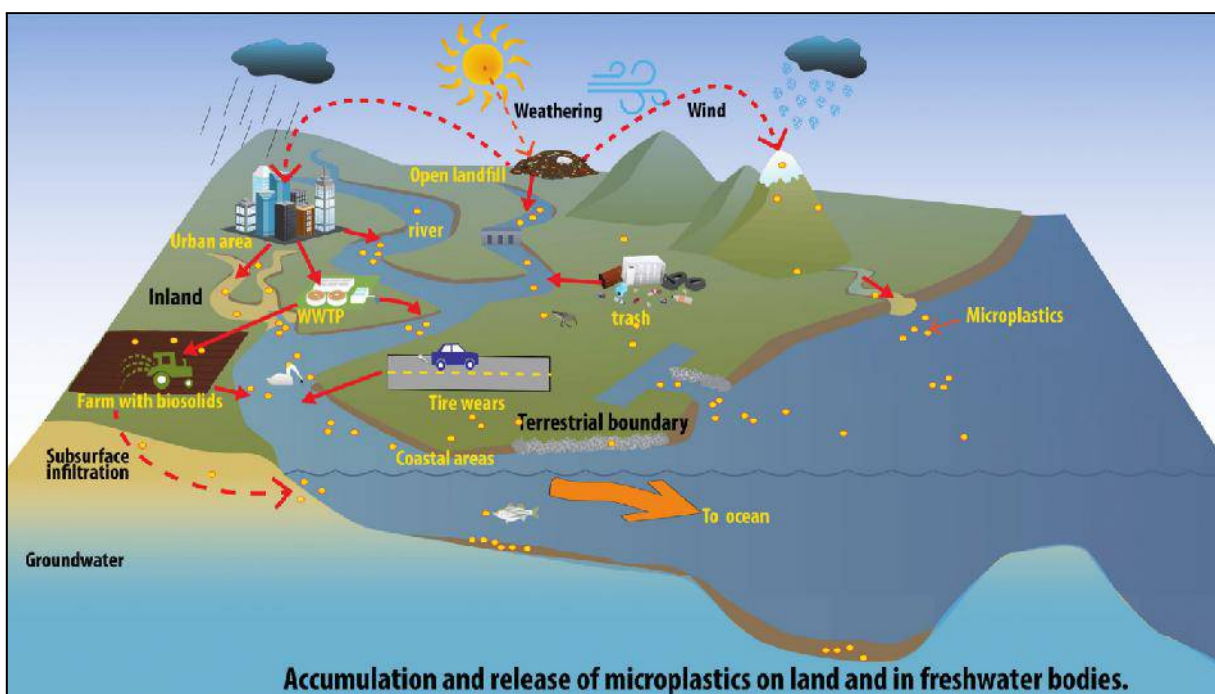


Figura 04: Propuesta de las posibles fuentes y rutas de los microplásticos y su posterior acumulación

Fuente: Koutnik (2021)

La principal razón por la que los MPs llegan hacia los diferentes ambientes es probablemente su densidad (Waldschlaeger y Schuettrumpf, 2019), y el ángulo de contacto, estas propiedades físicas hacen que su transporte tienda a tener determinadas características, entonces como lo destaca Koutnik et al., (2021) la distribución de los MPs en entornos terrestres y acuáticos es debido a procesos como la advección, la dispersión, la difusión, la

degradación, la sedimentación, la absorción y la agregación; y aunque muchos estudios se han centrado en estimar la concentración de MP en los diferentes ecosistemas son pocos los que han intentado modelizar el transporte de MP en el ambiente.

La densidad del MP puede afectar su difusión y sedimentación, el ángulo de contacto puede afectar las fuerzas interpartículas entre los MPs y otras partículas naturales (Van Melkebeke et al., 2020). Por lo que la densidad de ciertas partículas como el polipropileno y el polietileno hace que se mantengan en la columna de agua y los MPs compuestos de PVC y PET hacen que se sedimenten con mucha mayor facilidad; a esto se suma que en espacios como el mar se produzca el efecto Biofouling de procariontes, eucariontes o invertebrados haciendo que los MP hechos de un material diferente también lleguen a sedimentarse (Alomar et al., 2016).

D. Efectos de los Microplásticos en el Ambiente

Los daños que pueden llegar a causar los MPs a su entorno como a los organismos que se desarrollan en ella, han sido poco estudiados o solo bajo condiciones de laboratorio, pero, por ejemplo, se sabe que a los MPs pueden llegar a adherirse otro tipo de contaminantes llegando a ser un transporte para perjudicar tanto a otros ecosistemas como a otros organismos por ingerir MP contaminado (Amaya, 2016). Por lo que dos aspectos importantes sobre los MPs y la contaminación son la bioacumulación y la biomagnificación de contaminantes orgánicos persistentes (COPs), los cuales poseen mayor afinidad al plástico que a la propia agua de mar (Hirai et al., 2011).

Los COPs pueden ingresar a la cadena alimenticia gracias a los MPs y su capacidad de concentrar sustancias químicas de variada polaridad, su ubicuidad y su baja tasa de degradación; los COPs interactúan con los MPs por medio de tres fenómenos, el primero de ellos la adsorción (determinado por la polaridad de la molécula), el segundo es la absorción (determinado por la forma de la cadena del polímero) y el tercero es la desorción

(determinada por la forma en que se libera el contaminante hacia la superficie) (Apul, 2015; Rochman, 2013).

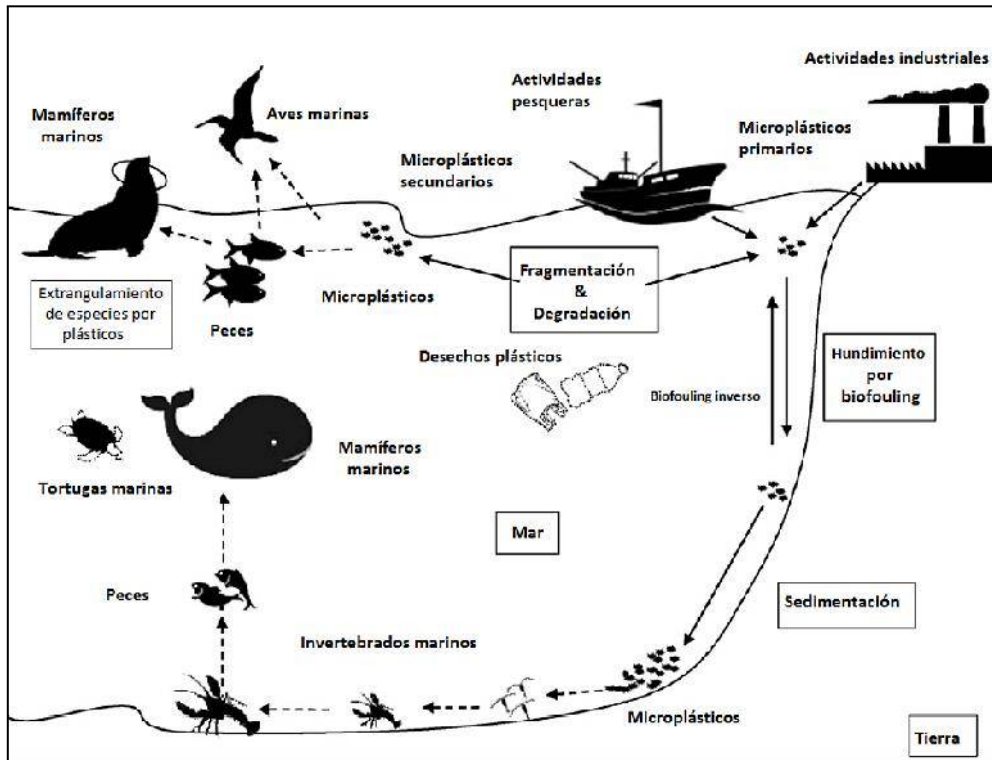


Figura 05: Origen y movilización de los microplásticos en el medio marino y su interacción biológica

Fuente: Castro (2019)

Los MPs en ecosistemas acuáticos pueden llegar a ser ingeridos por organismos de diferentes tamaños, por lo que en invertebrados la ingesta reduce la movilidad y en especies de mayor tamaño se ha llegado a demostrar que las esferas de MP pueden ser transportadas de los intestinos hacia el sistema circulatorio en mejillones (Browne, 2008). Entre los impactos que produce la ingesta de MP está la obstrucción física del sistema digestivo causando en el animal una sensación de llenura y los animales que ingieren gran cantidad de plástico llegan a morir por inanición (Lusher et al., 2014). En vertebrados el riesgo es casi similar, solo por un adicional, que existe un elevado nivel potencial de

acumulación de plásticos que está asociado a las toxinas dentro de la cadena trófica, también se suma la reducción de la condición reproductiva, ulceración de las capas internas de los órganos, daño de los pulmones, inflamación y daño celular (dependiendo del tamaño del MP) (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016).

La conexión entre los MPs y la salud humana aún no ha sido estudiada completamente, pero es sujeto de debate y mucho interés (Sarria-Villa & Gallo-Corredor, 2016) sin embargo, este contaminante podría estar afectando al agua potable, agua embotellada y la sal de mesa (Eerkes-Medrano et al., 2015; Yang et al., 2015) esto sumado a la inhalación y a la alimentación podría tener como consecuencia la llegada hacia los pulmones y al sistema circulatorio (Huanaco, 2019).

E. Gestión de los Microplásticos

Es de importancia señalar que el mundo atraviesa hoy en día la “Era del Plástico” y que la producción de este elemento va en aumento con el pasar del tiempo, por lo que es común que se vaya descubriendo MP en los diferentes ambientes y organismos que conforman los ecosistemas, por lo que hacer el esfuerzo de crear normas que ayuden a disminuir la propagación de este elemento en una sola localidad no sería suficiente, a lo que Lee et al. (2022), manifiesta que se requiere de un esfuerzo mucho más colectivo, si no global, proponiendo acciones como el reconocimiento mundial de que los MPs son una fuente de contaminación “transfronteriza” y “transmedia” y que requiere de acciones internacionales; además de la estandarización de investigaciones relacionadas con MP incluyendo una definición básica y una especificación experimental para garantizar la comparabilidad global entre los análisis de datos.

En el Perú las normas que están relacionadas con los MPs se enmarcan en la gestión de los residuos sólidos y esto se da a través del D.L. N°1278 y el reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos D.S. N°014-2017-MINAM en sus artículos 30 y 44 “Abandonar,

verter y/o disponer de residuos en lugares no autorizados por la autoridad competente está prohibida por la norma vigente” (Huanaco, 2019). En el 2018, se aprueba la Ley N°30884 que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables, siendo la primera iniciativa donde se menciona el término “microplástico” y establece medidas que ayuden en la reducción de emisión de plástico hacia el ambiente. Y aunque esta norma alienta los esfuerzos para combatir el problema, aún estamos lejos de reducir de alguna manera la presencia de MP debido a que como lo menciona DeTitto et al. (2022), las propuestas para prohibir el uso de plástico han sido rechazadas por el mundo académico debido a que sus sustitutos como el vidrio o el metal pueden llegar a triplicar las emisiones de GEI y duplicar el consumo mundial de energía y de recursos.

2.1.3 GLACIARES ECOSISTEMA DE MONTAÑA

En un glaciar se distinguen dos zonas fundamentales, la primera es la de acumulación donde la nieve se convierte en hielo (encargado de alimentar el aparato de un glaciar), la segunda es la de ablación donde se registra una pérdida de masa, ya que el hielo queda expuesto a la insolación al perder la cobertura de nieve (Ribas, 2017). Es precisamente el límite entre ambas zonas la que es materia de estudio pues su comportamiento va a determinar si los glaciares se extienden o reducen de área lo cual se relaciona directamente con el balance de masa glaciar (Izaguirre, 2021), siendo un instrumento importante para diagnosticar, de acuerdo a las condiciones ambientales, si un glaciar está en equilibrio o no.

Un glaciar va adoptar su geometría de acuerdo a las condiciones atmosféricas, teniendo como resultado cambios de volumen, área y longitud; estas propiedades brindan información valiosa del clima y meteorología en lugares donde no existen estaciones especializadas usualmente escasas a grandes alturas, debido principalmente a que los cambios que usualmente se visualizan en la actualidad, son consecuencia de condiciones climáticas

pasadas (Castillo, 2017), por lo que los glaciares son considerados como indicadores de primera clase para el estudio del cambio climático.

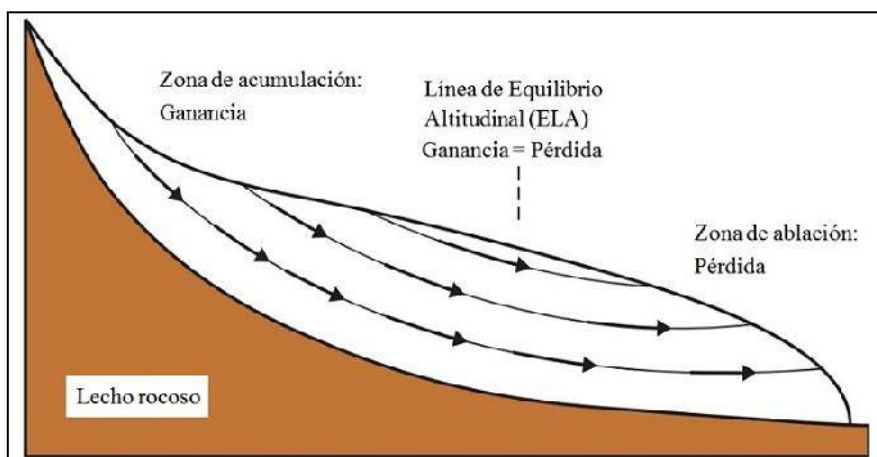


Figura 06: Sistema glaciar y subsistema de la zona de ablación

Fuente: Yap (2015)

Existen varios tipos de glaciares según su ubicación, sus características topográficas y características atmosféricas. Así los glaciares tropicales se distinguen de los ubicados en latitudes medias y altas por recibir una alta incidencia de radiación solar todos los meses del año (Vuille et al., 2018), también se caracterizan por tener una amplitud térmica diurna mayor a la anual, pero con una alta variabilidad de precipitación al año (Izaguirre, 2021). En Sudamérica, los glaciares tropicales ubicadas en los trópicos 23.5° latitud norte y 23.5° latitud sur, se pueden dividir en los trópicos interiores (Venezuela, Colombia y Ecuador) y los trópicos exteriores (Perú, Bolivia y Chile) donde la estación seca se produce de mayo a septiembre y la estación lluviosa de octubre a marzo (Veetil et al., 2016). Por lo que, el 99% de glaciares de este tipo se encuentran en los Andes en especial en el Perú con un 71% del total mundial (Yap, 2015).

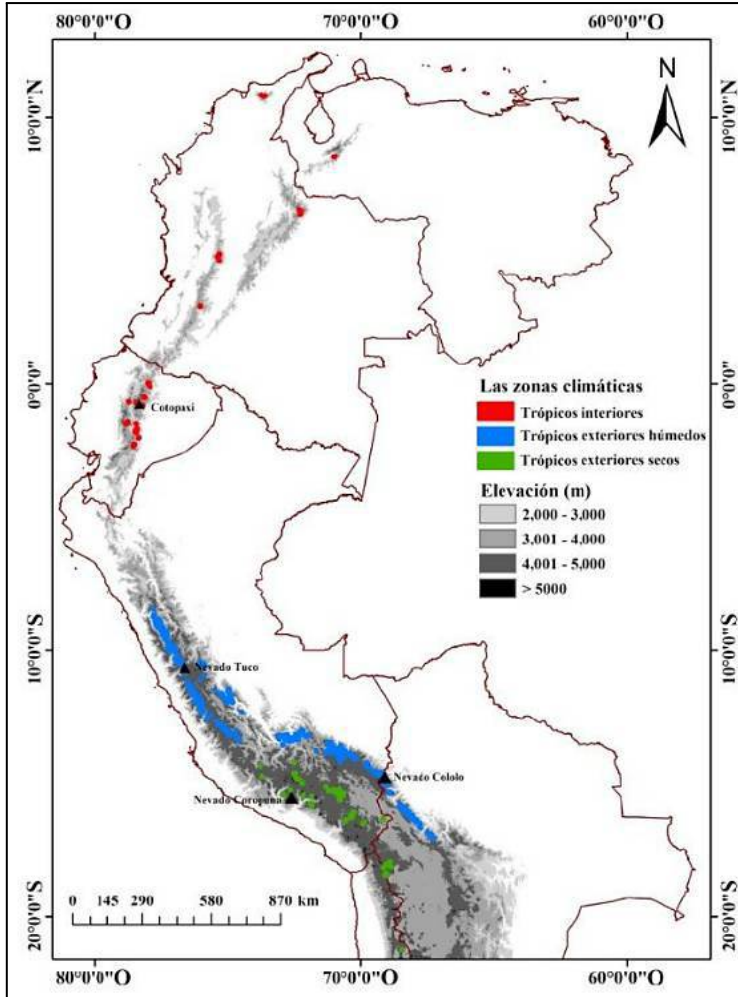


Figura 07: Distribución de los glaciares tropicales, territorio peruano
 Fuente: Colque (2019)

A. Contaminación de los Glaciares de Montaña

Los glaciares desempeñan una función importante en la hidrología de los Andes, en especial en las regiones áridas y semiáridas, dada su capacidad para almacenar agua durante los periodos más fríos y liberarla en forma de agua de deshielo durante la estación seca, sobreviven a los periodos áridos y actúan como reserva para los asentamientos humanos y ecosistemas naturales, por lo que la reducción de masa de un glaciar actúa negativamente en la capacidad de servir como almacén de los recursos hídricos (Schoolmeester et al.,

2018). Los glaciares tropicales de los Andes son muy sensibles a pequeñas variaciones del clima, debido a las condiciones climáticas específicas en zonas cercanas al Ecuador (Hoffmann, 2014), la temperatura promedio anual en los países norandinos (Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú) se ha incrementado en 0.8 °C en promedio durante el siglo XX, por lo que el nivel de variabilidad del clima en los Andes de los trópicos ha superado umbrales históricamente documentados (Bravo, 2019).

Además, se ha llegado a encontrar en el glaciar peruano (Huaytapallana) elementos traza agrupados en Al, Ti, Si, Co, Ce, Sr, Mn, Mg, Ba y Na influenciados por fuentes naturales del entorno y grupos de K, Ca, Fe, Cu, Pb, As y Zn que sugieren una mezcla con la parte antrópica, sumado a esto se encuentra la detección de aerosoles que llegan al nevado proveniente de la quema de biomasa en la Amazonía (Torres et al., 2022). En el ámbito del MP estudios han demostrado que el viento y la precipitación pueden transportar y depositar MP en ecosistemas de alta montaña (Cabrera et al., 2020), además de ello los MPs son diversos en tamaño, forma y color, y los encontrados en las zonas criosféricas del mundo incluyen una variedad de colores por lo que estas partículas tiene la capacidad de absorber radiación y como consecuencia reducir el albedo, lo mismo que ocurre con las sustancias oscuras (como las partículas BC o el polvo mineral, impurezas que absorben la luz) (Zhang et al., 2022). En la Figura 8 se muestran los estudios de MP realizados en las diferentes regiones de la criosfera a nivel mundial.

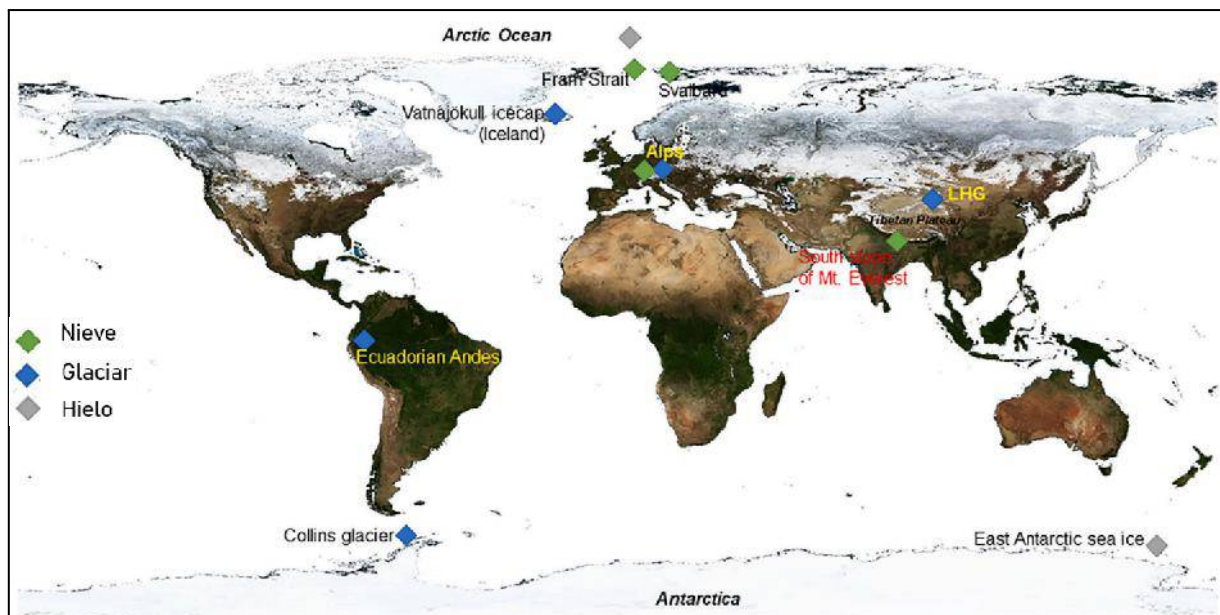


Figura 08: Distribución de los estudios realizados en las zonas típicas de la criosfera a nivel mundial

Fuente: Zhang (2022)

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 PLÁSTICO

Los plásticos son sustancias orgánicas de alto peso molecular que se sintetizan generalmente a partir de compuestos de bajo peso molecular, también pueden obtenerse por modificación química de materiales naturales de alto peso molecular (en especial la celulosa). La mayoría de los compuestos denominados “plásticos” son polímeros sintetizados a partir de compuestos orgánicos. Sus moléculas pueden ser lineales, entrecruzadas o ramificadas dependiendo del tipo de plástico y esto le atribuye ciertas propiedades como ser aislantes térmicos y eléctricos y de buena resistencia a ácidos y solventes (Cristán et al., 2003).

2.2.2 RESIDUOS SÓLIDOS

Se entiende por este término a todo material destinado al abandono por su productor o poseedor, pudiendo resultar de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o limpieza; han sido clasificados de diversas maneras, pero la más conocida establece la siguiente, residuos sólidos orgánicos (encontrándose los putrescibles y no putrescibles), residuos sólidos inertes, residuos sólidos peligrosos, residuos sólidos urbanos, residuos agropecuarios y lixiviados (Galvis, 2016).

2.2.3 RESIDUO PLÁSTICO

La generación de un residuo plástico se da a partir del descarte de cualquier elemento fabricado a partir de este material, teniendo cuatro características fundamentales su degradación lenta, la creciente producción de este material, su materia prima no es renovable (petróleo) y algunos elementos químicos para su producción son tóxicos por lo que existe un desconocimiento amplio de la resiliencia, regeneración y recuperación de los ecosistemas afectados por los residuos plásticos (Téllez, 2012).

2.2.4 POLÍMERO

Un polímero es una gran molécula construida por la repetición de pequeñas unidades químicas simples, siendo en algunos casos esta repetición lineal semejante a una cadena, en otros casos las cadenas son ramificaciones o interconectadas formando retículos tridimensionales; la unidad repetitiva del polímero es usualmente equivalente al monómero o material de partida del que se forma el polímero. La longitud de la cadena del polímero viene especificada por el número de unidades que se repiten en la cadena, este se llama grado de polimerización (DP). El peso molecular del polímero es el producto del peso molecular de la unidad repetitiva por el grado de polimerización (Billmeyer, 2020).

2.2.5 MICROPLÁSTICO

Aún no existe una definición estandarizada de MP, pero muchos autores y según la Ley 30884 están de acuerdo en que “un MP es una partícula pequeña o fragmento de plástico que mide menos de 5 mm de diámetro que deriva de la fragmentación de bienes de base polimérica de mayor tamaño, que pueden persistir en el ambiente en altas concentraciones, particularmente en ecosistemas acuáticos y marinos, pudiendo ser ingeridos y acumulados en los tejidos de los seres vivos”; siendo su clasificación en MPs primarios y MPs secundarios (Cole et al., 2011).

2.2.6 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

Este tipo de ecosistemas montañosos se encuentran por todo el mundo desde el Ecuador hasta los polos siendo sus características principales el relieve elevado, fuertes pendientes y su diversidad variada, las montañas se llegan a agrupar en cordilleras o sierras llegando a cubrir un 12% de la superficie terrestre en Oceanía cubren 43%, en Asia el 20%, en Norteamérica el 17%, en Sudamérica el 12%, en Europa un 9% y en África un 2%. Siendo estos lugares de gran importancia debido a que gran parte de los ríos nacen en áreas montañosas y más de la mitad de la población mundial depende del agua que brota de ellas (INAIGEM, 2018).

2.2.7 CORDILLERA DE LOS ANDES

En el Perú la Cadena o Cordillera Occidental es la línea divisoria que separa las vertientes del Pacífico y Atlántico, paralela a la costa y la que está más al oeste y próxima al mar. Se caracteriza por ostentar los picos más altos, con cimas que sobrepasan 6,000 m.s.n.m. Alberga cordilleras nevadas con efectos de la reciente glaciación, la misma que ha dejado como evidencia lagos esparcidos en las partes bajas (Lago Titicaca) o elevados conos volcánicos antiguos y modernos (Dollfus, 1981).

2.2.8 GLACIARES

Rivera (2005), menciona que “los glaciares son masa de hielo ubicados en tierra firme, proveniente de la nieve compactada y recristalizada, poseen movimiento lento por su propio peso ayudado por la acción de la gravedad”. Generalmente los glaciares se encuentran en altas montañas, latitudes altas y en lados occidentales de los continentes, estos sistemas pueden provocar una pérdida local de la masa del glaciar. Estos sistemas dinámicos poseen un tipo de movimiento al que se le denomina flujo y al igual que cualquier otro líquido fluye hacia abajo. El movimiento del glaciar puede ejercer gran erosión sobre el terreno, al tener una gran capacidad para transportar sedimentos y arrastrar bloques de gran tamaño (Tarbuck, 2013).

2.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

Se evidencia presencia de MPs en el glaciar de montaña que se ubica en la Rinconada, departamento de Puno, por lo que se demuestra contaminación por MP y se apoya la teoría

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- La cantidad de MPs encontrados en la nieve, sustrato y crioconita en la zona de ablación del glaciar de montaña de la Rinconada es significativo.
- Las características físicas de los MPs encontrados son conforme a los estudios realizados previamente en glaciares y de acuerdo a la zona de estudio y sus alrededores.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ZONA DE ESTUDIO

3.1.1 UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra dentro de la Cordillera de Apolobamba que se ubica al sureste de la Cordillera de Carabaya, el ámbito de influencia que tiene es de un área de 2448 km² y una longitud aproximada de 75 km, sus límites geográficos están comprendidos entre las coordenadas de 14°55'14.23" y 14°09'19.80" de latitud sur y 69°43'57.90" de longitud oeste (INAIGEM, 2018).

La Rinconada se ubica en el extremo sureste del Perú, al noreste del departamento de Puno, al extremo sur de la cordillera oriental de los Andes, Cordillera de Apolobamba. Políticamente pertenece al distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, departamento de Puno. Se ubica a 14°40'40" latitud sur y 69°31'56" longitud oeste y tiene una elevación de 5200 msnm; según la clasificación de Pulgar Vidal esta se encuentra ubicada en la región Janca que se caracteriza por ser una región geográfica de gran altitud dentro del territorio peruano por lo que es la región de los glaciares y nevados.

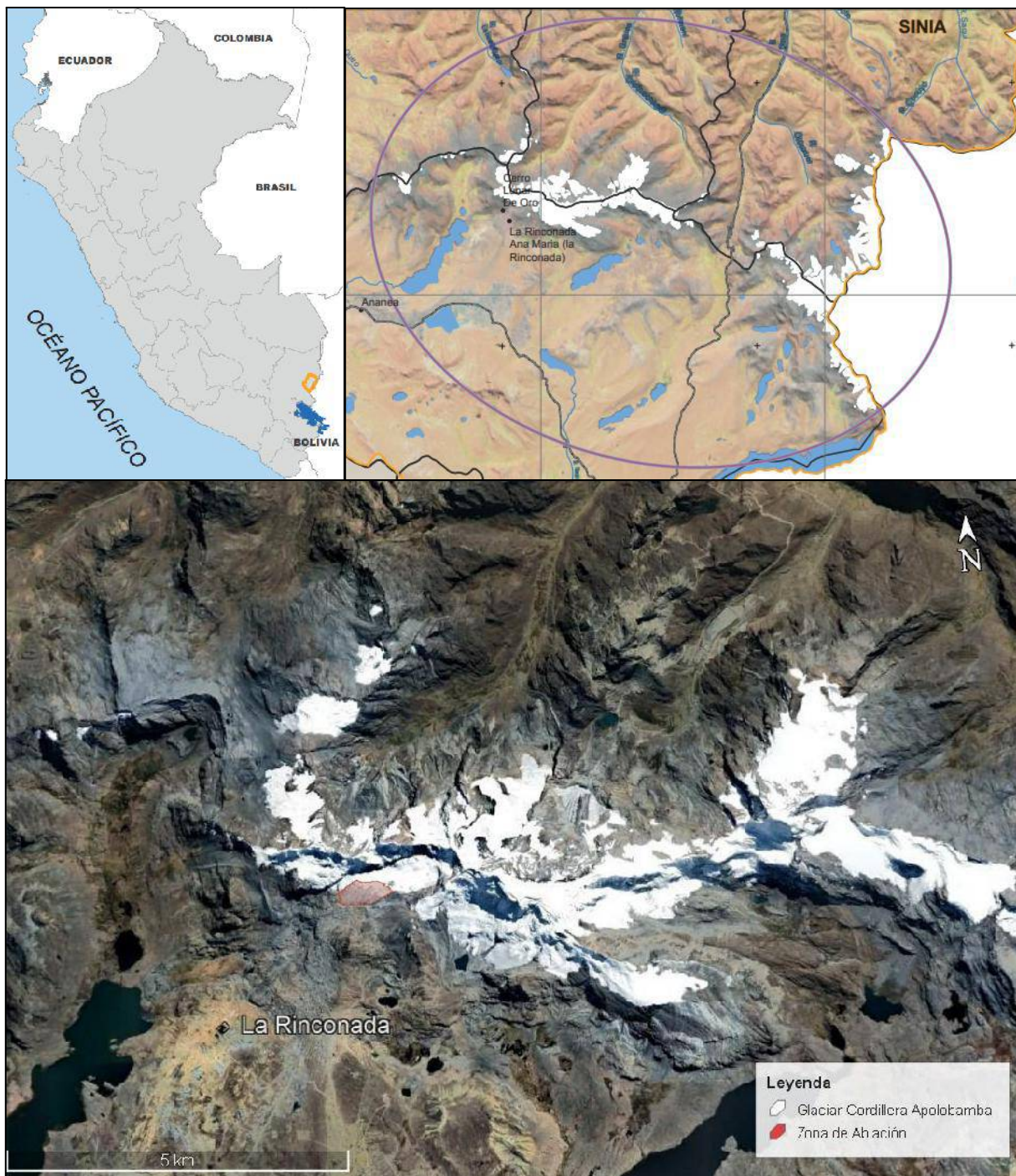


Figura 09: Ubicación geográfica de la zona de estudio

Fuente: Modificado INAIGEM (2018) y Google Earth

3.1.2 CLIMATOLOGÍA

En la zona montañosa de la Rinconada se tiene una precipitación media anual de 81.8 mm siendo en mayor proporción en la estación de verano comenzando desde el mes de noviembre hasta el mes de febrero; la temperatura media anual es por debajo de 6°C (Lavado et al., 2016) llegando a alcanzar en los meses de junio y julio una temperatura de entre los menos 11°C y entre los meses de octubre y noviembre entre los 10°C y 11°C.

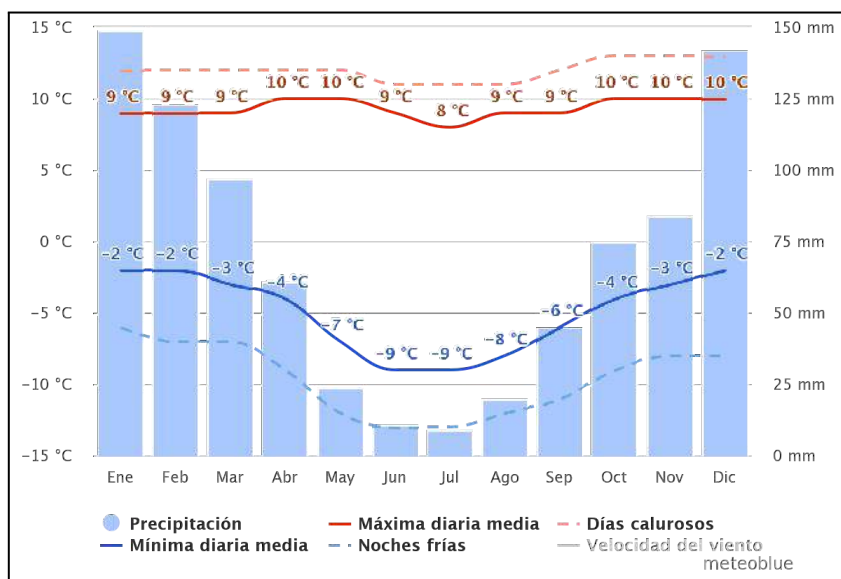


Figura 10: Gráfico de las temperaturas medias y las precipitaciones en la Rinconada

Fuente: Meteoblue,

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-rinconada_per%C3%BA_7626291

3.1.3 ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

En la Cordillera de Apolobamba existen cinco ecosistemas que cumplen funciones ecosistémicas dentro de cada una de las áreas de influencia, estos ecosistemas son los bofedales, pajonal andino, bosques de montaña montano, bosques de montaña basimontano, bosques de montaña altimontano (MINAM, 2017); el pajonal andino ocupa el

49% del territorio y el conjunto de bosques andinos el 16%, mientras que los bofedales el 1.5%. Los ecosistemas de turberas altoandinas peruanas son muy características de esta cordillera dominadas por biotipos de hemcriptófitos y caméfitos subfruticosos que originan morfologías muy compactas de aspecto plano o almohadillado (INAIGEM, 2018).

3.1.4 MONITOREO DE GLACIARES

Los glaciares de esta Cordillera se encuentran dispersos a lo largo de 35 km en la cadena montañosa de los Andes del sur en el ramal occidental, para el año 2016 la superficie glaciar fue de 39.63 km² de los cuales la cantidad de escombro cubierto es de 1.17 km². De acuerdo con INAIGEM (2018), se tiene una tasa de retroceso de 0.80 km²/año por lo que se estima que para el año 2066 desaparecería esta Cordillera sin embargo ésta estaría sujeta a las variaciones y tendencias climáticas futuras a nivel global.

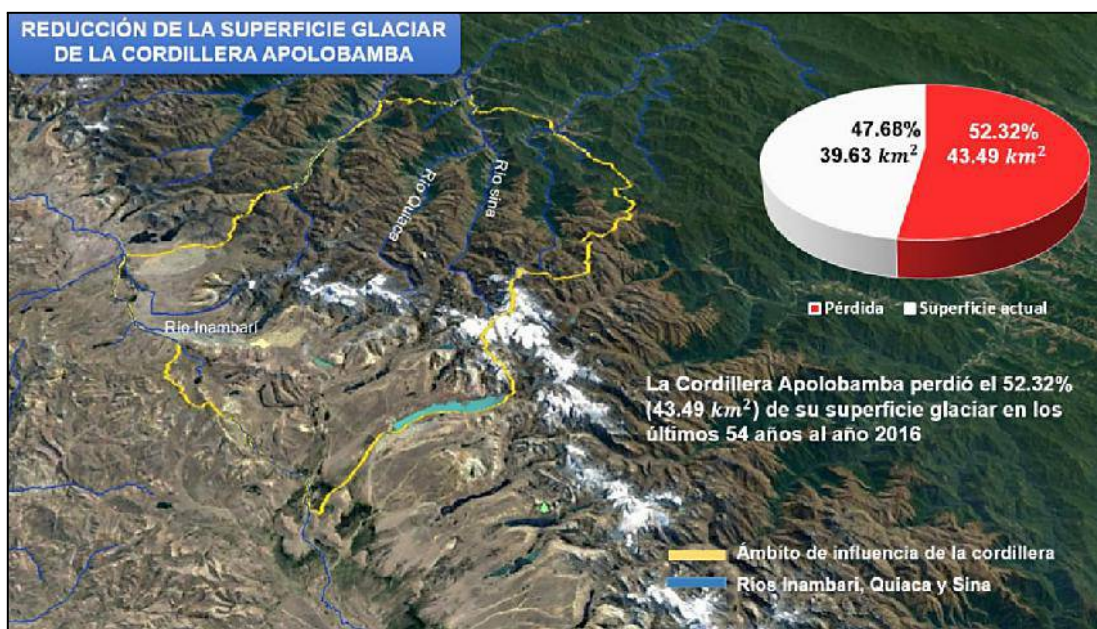


Figura 11: Mapa de la reducción del área glaciar desde 1962 al 2016 de la Cordillera de Apolobamba

Fuente: INAIGEM (2018)

3.1.5 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS CULTURALES

En la Rinconada, de acuerdo a Soto (2016), para el 2017 la población urbana (82%) fue de 31 916 habitantes y la población rural (18%) fue de 6 918 habitantes, la difícil geografía dificulta la instalación de servicios básicos como el agua y desagüe, teniendo como consecuencia que solo el 3.4% de viviendas cuenten con este servicio, además se tiene una inexistente gestión de los residuos sólidos lo que trae consigo un fuerte impacto al ambiente y a la salud de la población sumado a esto, están los problemas sociales como el alcoholismo, el trabajo infantil, la prostitución y la explotación sexual de menores, entre otros. Apolobamba es una Cordillera fuertemente afectada por la minería ilegal e informal, especialmente en la provincia de San Antonio de Putina, dejando una importante secuela de daños al ambiente (por el uso del mercurio) y a las personas que habitan esta zona, (INAIGEM, 2018). A pesar del paisaje con que cuenta esta Cordillera, el desarrollo del turismo es muy limitado siendo la probable causa para el difícil acceso al lugar.

3.2 TAMAÑO DE MUESTRA

3.2.1 MUESTRA

Una muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de una población accesible, que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido (Arias, 2012), por lo que el presente estudio consideró un número específico de puntos de muestreo (13 puntos) que es parte representativa de una de las zonas de ablación de la Cordillera de Apolobamba en la Rinconada. Además, es importante señalar que la selección de los puntos de muestreo fue de acuerdo a los objetivos planteados y al cuidado de la salud de la persona, esto debido a que la zona de estudio tiene una geografía accidentada, condiciones sociales difíciles que son características propias del lugar y el transporte seguro de las muestras.

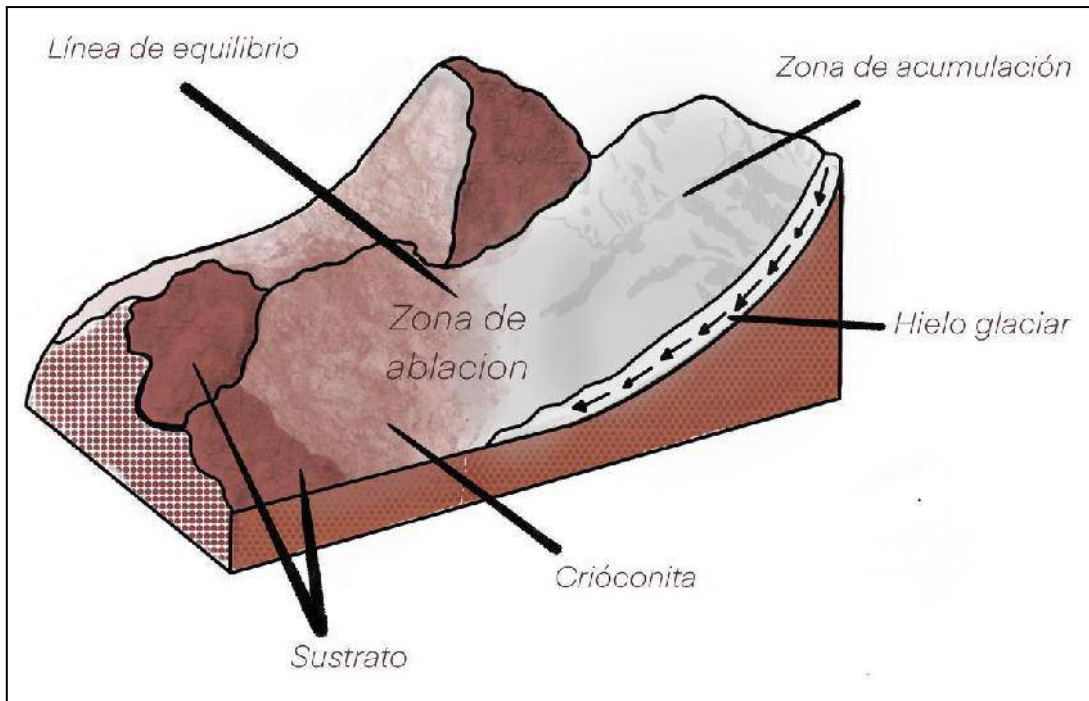


Figura 12: Zona de ablación, ubicación de los tipos de muestreo (sustrato, nieve superficial y crióconita)

3.2.2 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo tienen los códigos PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09, PM-10, PM-11, PM-12 y PM-13 y de acuerdo a su ubicación, que se describen en la Tabla 3 y la Figura 13, se seleccionó el tipo de muestra (nieve, sustrato y crióconita) que se extrajo de la zona de ablación. El muestreo de MP fue planteado para el mes de noviembre de noviembre de 2022, época de lluvia. Finalmente se tuvieron tres muestras en blanco bajo los códigos MB-01, MB-02 y MB-03 que se establecieron desde los puntos de muestreo.

Tabla 03: Puntos de extracción de muestras con las coordenadas y el tipo de muestra para evaluación

Código	Coordenadas UTM (WGS 84)		Tipo
	19S		
	Este	Norte	
PM-01	452881	8383721,6	Nieve con crioconita
PM-02	452900,7	8383772,7	Nieve con crioconita
PM-03	452761,6	8383664,7	Sustrato
PM-04	452790,7	8383793,7	Sustrato
PM-05	452795,4	8383852,5	Nieve
PM-06	452707,9	8383871,7	Nieve
PM-07	452616,5	8383953,6	Nieve
PM-08	452571,8	8383912	Nieve
PM-09	452535,1	8383882	Nieve
PM-10	452609	8383813,6	Nieve con crioconita
PM-11	452517,7	8383783,5	Nieve con crioconita
PM-12	452582,1	8383694,7	Nieve con crioconita
PM-13	452660,7	8383666,9	Sustrato

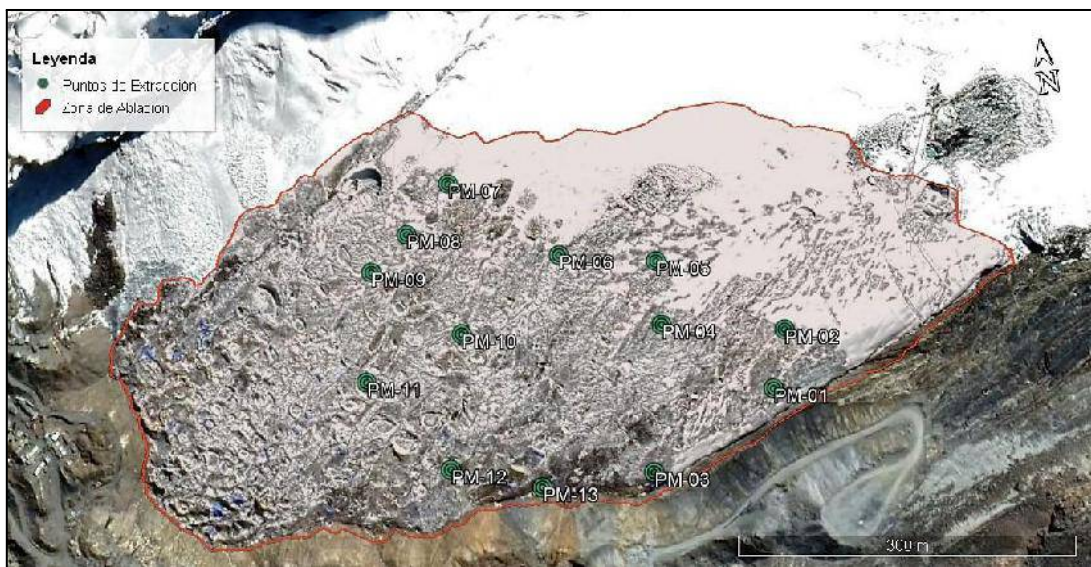


Figura 13: Puntos de extracción de muestras en la zona de ablación Cordillera Apolobamba

3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS

Para la fase de extracción de muestras, primero se realizó un análisis exploratorio de la Cordillera Apolobamba siendo la zona de la Rinconada la accesible para el presente estudio, la población menciona que la zona de ablación Figura 13 tiene el nombre de Rit'ipata y Rit'icucho. Para la extracción de muestras de nieve, crioconita y sustrato de la zona de ablación, la planificación fue detallada debido a que el trabajo de análisis de MP es delicado debido a que puede ocurrir contaminación cruzada en cualquiera de las fases del estudio, por lo que para esta primera parte se adquirió equipo que facilitó la extracción de muestras y que redujo al mínimo la probabilidad de alterar los resultados de MP. Similar al estudio de Ambrosini et al. (2019), se contó con equipo de protección de cuerpo completo de material de algodón, guantes, barbijos, cooler (para el transporte de muestras), frascos de muestreo de vidrio y pala de metal. Además de ello se tuvo tres muestras en blanco establecidas desde el punto de extracción PM-13 para ser sometida a todas las fases de estudio y evaluar la existencia de contaminación cruzada.

Es importante señalar que el número de puntos de muestreo estuvo también sujeto al transporte seguro de las muestras desde la zona de extracción hasta la llegada al laboratorio.

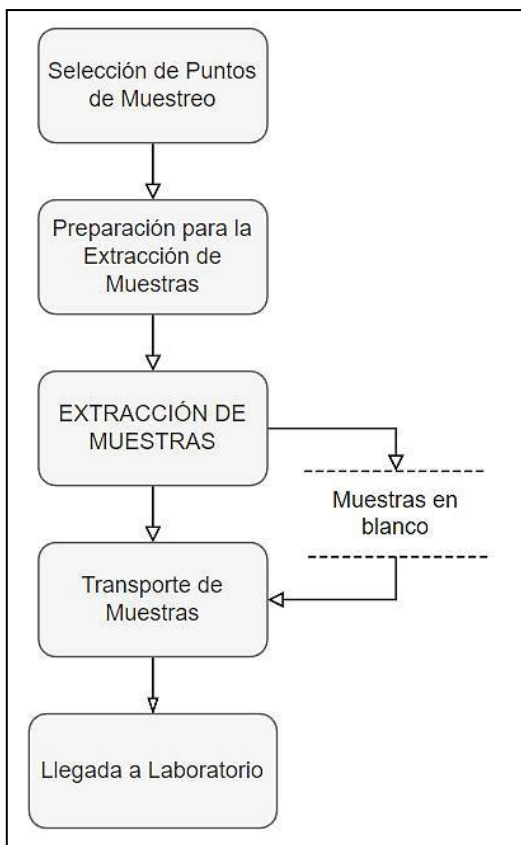


Figura 14: Diagrama de flujo desde la selección de puntos de muestreo hasta la llegada a laboratorio

3.3.2 ANÁLISIS DE MUESTRAS

A. Equipos e Instrumentos

Los equipos e instrumentos que se utilizaron para el análisis físico de MP se detallan en la Tabla 4; el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada San Carlos fue el lugar donde se hicieron los análisis como se muestra en el Anexo 2.

Tabla 04: Especificaciones de los equipos e instrumentos utilizados para el análisis de microplástico

Equipo/Instrumento	Marca/Modelo
Microscopio binocular estereoscópico	Labor Tech NHSM Co. LTD. 0.7×-4.5× LT/ZSA0745B
Microscopio	GreetMet DIN acromático 4x, 10x, 40x, 100XR
Bomba de vacío	Pro-Set 12CFM 230/115V-CPS
Cámara	Anexo 07
Balanza analítica	DigitalPrecision 1000gx0.01g
Agitador de placa	Kyntel 88-1
Esterilizador de calor seco	Intek IT-16
Contador de colonias	Kert-LAB CM-01
Laptop	Toshiba Core i5
Tamices	ELE International No 8, No 16, No 30, No 50, No 60, No 100, No 200

B. Materiales y Reactivos

En la Tabla 5 se muestran los materiales y en la Tabla 6 se muestran los reactivos utilizados para el análisis de MP.

Tabla 05: Materiales empleados para la extracción y procesamiento de muestras de la zona de ablación

Nombre	Marca	Especificaciones
Porta y cubreobjetos	B&C Germany	75x25mm-0.13-0.17mm
Gafas	3M	
Cubrebocas	3M	8511
Vaso de precipitado	Kimax	600 mL
Vaso de precipitado	Kimex	250 mL
Guantes	WellGuard	Blancos
Matraz Erlenmeyer	Pyrex	250 mL
Embudo		Vidrio
Embudo Buchner		Porcelana, 95 mm
Placas Petri		Vidrio 140 x 20 mm
Papel filtro	Whatman	125 mm
Pipeta		10 mL
Mortero		Porcelana
Estilete		Metal
Bureta		Vidrio
Densímetro		
Probeta	Germany Diffico	250 mL

Tabla 06: Reactivos utilizados para el procesamiento de muestras en laboratorio

Nombre	Fórmula química	Marca
Cloruro de Sodio	NaCl	Scharlau
Solución de Peróxido de hidrógeno 30%v/v	H ₂ O ₂	Portugal
Cloruro de Zinc	ZnCl ₂	QuimLab Valle
Agua Destilada		Alkofarma
Cloruro de Hierro	FeCl ₃	Oregon Chem Group

C. Protocolo de Prevención de Contaminación

Para la extracción de muestras de la zona de ablación se lavó tres veces con agua desionizada cada uno de los contenedores antes de la extracción de nieve, crioconita o sustrato, además de ello la pala de metal utilizada también fue sometida al mismo procedimiento antes de ser usada en cada uno de los puntos establecidos.

En el laboratorio los protocolos que se establecieron fueron la limpieza con agua destilada de todos los materiales usados antes de cada una de las pruebas, cerrar puertas y ventanas para evitar el ingreso de aire con posibles restos de MP y las muestras en blanco, que fueron sometidas a cada una de las fases del análisis de MP, que sirvieron de apoyo para evaluar el posible desprendimiento de fibras sintéticas de ropa. Al final las muestras en blanco fueron analizadas bajo microscopio en un análisis exploratorio para ver posibles rastros de contaminación cruzada.

3.3.3 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

La metodología usada para el análisis de MP tanto en nieve, crioconita y sustrato para el presente estudio, está centrada en investigaciones de Ambrosini et al. (2019) y Rowe et al.

(2019) que basan su análisis en la separación por diferencia de densidad a través de la preparación de una solución de NaCl, esta técnica es usada por muchos autores hasta la actualidad en el campo de análisis de MP en glaciares de montaña y en otras zonas de la criosfera mundial por lo que hasta el momento, es una técnica válida para este campo de estudio. Para la nieve y la crioconita se siguió una misma metodología a diferencia del sustrato, las cuales se presentan a continuación.

A. Análisis de MP en Nieve y Crioconita

Todas las muestras que llegaron al laboratorio tenían un peso de 400 gr o el equivalente a 400 ml; se preparó una solución de alta densidad de agua destilada con cloruro de sodio (90 gr) a una cantidad de 250 ml que tenía una densidad de 1200 g/ml a unos 15°C ambiente. La solución, en esa cantidad, se agregó a las muestras y se dejó reposando por dos días para que los MPs pudieran flotar en la solución, pasado ese tiempo se hizo una filtración al vacío de cada una de las muestras de nieve y crioconita que correspondían a los puntos PM-05, PM-06, PM-07, PM-08, PM-09 y PM-01, PM-02, PM-10, PM-11, PM-12, colocándose en papel filtro y placas Petri por un día para su secado. Cada una de las muestras en las placas Petri se analizaron bajo un microscopio binocular estereoscópico en busca de restos orgánicos, siendo importante mencionar que las muestras presentaban escasos y hasta nulos rastros de restos orgánicos, por lo que una vez analizados en este equipo se procedió a hacer el análisis de microscopía óptica para el cálculo del tamaño de los MPs. En la Figura 15 se muestra el flujo de trabajo que se tuvo para esta parte del análisis.

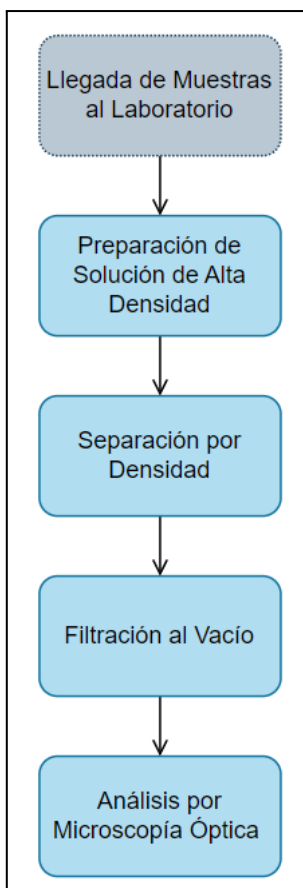


Figura 15: Diagrama de flujo del análisis de muestras de nieve superficial y crioconita

B. Análisis de MP en Sustrato

Las muestras de sustrato que correspondían a los puntos PM-03, PM-04 y PM-13, tuvieron un peso de 400 gr de los cuales se extrajo una cantidad de 200 gr para el análisis. Primero se procedió a hacer un secado a 150°C durante 20 min por siete días, de esta cantidad de muestra se procedió a hacer una separación de partículas grandes por tamices No 8, No 16, No 30, No 50, No 60, No 100 y No 200. Una vez hecha la separación granulométrica, a las muestras de sustrato se le sometió al mismo procedimiento que separación de densidad y una vez obtenido los MPs en el papel filtro se hizo el análisis por microscopía óptica. El flujo de trabajo para esta parte del análisis se muestra en la Figura 16.

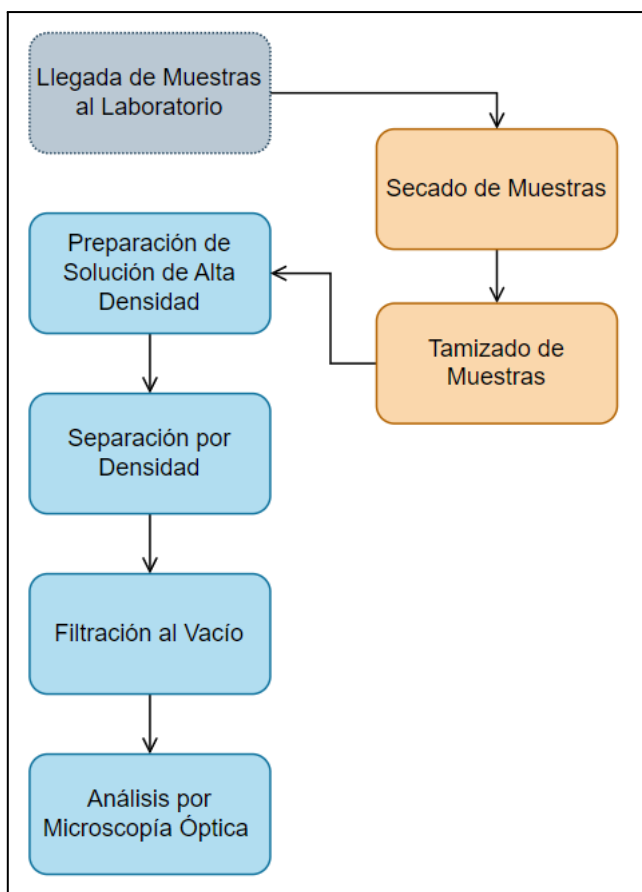


Figura 16: Diagrama de flujo del análisis de las muestras de sustrato

3.3.4 MICROSCOPIA ÓPTICA

Para el análisis de los MPs encontrados en las muestras de la zona de ablación de la Cordillera de Apolobamba se utilizó un microscopio con un aumento de hasta 100XR de la marca GreetMet, junto con una cámara Figura 17 y el software TSView; este software está diseñado en relación con el microscopio digital de las series CMOS y CCD, con las funciones de toma de fotos, imagen y manejo de video. La fotografía que se extrae es de alta claridad y se comprueba con un estándar de manera que mejora su precisión. Tiene la función de manipulación de imágenes las herramientas abarcan una gama como la herramienta de giro, herramienta de reparación, herramienta de nitidez/oscurecimiento, herramienta de brillo,

herramientas de ajuste del color y utilizando las herramientas puede mejorar el efecto de la foto.

Para la medición de los MPs encontrados primero se hizo una calibración en 40X en la unidad de micrómetros (μm) para poder hacer los cálculos requeridos para los MPs encontrados en cada punto de muestreo.



Figura 17: Inspección visual (a) microscopio, (b) cámara y (c) calibración de programa para la medición de los microplásticos

3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Tabla 07: Variables de investigación, definición, dimensión e indicadores para el presente trabajo

Variable	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Unidad de Medida
Variable Dependiente: Microplásticos	El microplástico se operacionaliza a través de las características propias del elemento, en este caso las físicas como el color, el tipo de MP, el tamaño en el cual se presente y la cantidad de MP que se halle en el glaciar de la Cordillera de Apolobamba.	Características físicas de los MPs	Color	Tonalidad (<i>gama de colores</i>)
			Tamaño	µm (<i>micrómetro</i>)
		Identificación de MPs	Cantidad	mp/kg o mp/L
Variable Independiente : Residuos Plásticos	Los residuos plásticos que son una parte de los residuos sólidos que se pueden generar en un determinado lugar, se operacionalizan a través de la generación per cápita del mismo que se mide ya sea por toneladas o por la producción en kilogramos por habitante.	Generación per cápita	Cantidad	Kg/hab
			Tipos de Residuos Plásticos	% (<i>porcentaje</i>)

3.5 MÉTODO O DISEÑO ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos de MP se sometieron a una prueba estadística de supuestos de Análisis de Varianza (ANOVA), para evaluar la normalidad. La verificación de los supuestos

subyacentes se realizó en la práctica a través de los predictores de los términos de error aleatorio que son los residuos aleatorios asociados a cada una de las evaluaciones (nieve, crioconita y sustrato). La prueba que se hizo es unidireccional debido a que tiene solo un factor. Posterior a esto se realizó pruebas de comparación múltiple post hoc, en este caso la prueba de Kruskal-Wallis que es un análisis de varianza no paramétrico que se usa en experimentos que implican un número mayor a dos comparaciones, además esta prueba se aplica cuando se tienen muestras independientes de cada población con observaciones de naturaleza continua. Esta prueba nos ayudó a determinar las diferencias significativas que hay entre los tres grupos de estudio, el software que se utilizó fue InfoStat que es de acceso libre.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, t$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la (ij)...ésima observación

μ = Media global

τ_i = Efecto de i -ésimo

ε_{ij} = Componente aleatorio del error

Tabla 08: Ecuaciones y secuencia para la verificación de la parte estadística

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F_c
Entre niveles o Tratamientos	$\sum_{i=1}^t n_i (Y_i - Y_{...})^2$	$\alpha - 1$	$\frac{S.C. TRAT.}{t-1}$	$\frac{C.M. TRAT.}{C.M. ERROR}$
Error (dentro de niveles o tratamientos)	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} (Y_{ij} - Y_i)^2$	$N - \alpha$	$\frac{S.C. ERROR}{\sum_{i=1}^t n_i - t} = \sigma^2$	
Total	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} (Y_{ij} - Y_{...})^2$	$N - 1$		

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 DETERMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA ZONA DE ABLACIÓN

La obtención de muestras para el análisis de MPs se realizó durante el mes de noviembre de 2022, de la Cordillera de Apolobamba en la Rinconada que forma parte de una de las 18 cordilleras glaciares del Perú, el lugar de extracción fue en la zona de ablación que es conocida con los nombres de Rit'icucho y Rit'ipata. Se recolectaron un total de 13 muestras, siendo cinco de crioconita y nieve, y tres muestras de sustrato las cuales fueron analizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada San Carlos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 09: Resultados de los microplásticos hallados según el tipo de análisis y punto de extracción

Tipo de Análisis	Punto de Extracción	Cantidad MP (ítems)
Nieve (400ml muestra)	PM-05	27
	PM-06	49
	PM-07	63
	PM-08	34
	PM-09	70
Crioconita (400g muestra)	PM-01	318
	PM-02	131
	PM-10	134
	PM-11	84
Sustrato (200g muestra)	PM-12	99
	PM-03	55
	PM-04	71
	PM-13	44

El valor máximo encontrado fue en la muestra de crioconita del punto PM-01 con 318 ítems de MP, mientras que la cantidad mínima encontrada fue en el punto PM-05 que corresponde a la muestra de nieve con 27 ítems de MP. Estos resultados obtenidos estuvieron sujetos a la densidad que tienen usualmente los MPs que es mucho mayor a la densidad del agua de mar (1.02 g/cm^3), por lo que la solución de NaCl que se utilizó en la metodología para la obtención de MP tuvo una densidad de 1.20 g/cm^3 en todos los casos, dando como resultado

la serie de valores que se muestran en la tabla anterior. Se tuvo un promedio de 90.69 ítems de MP y una D.E. de 76.01.

Tabla 10: Estadística descriptiva de los resultados hallados de todos los puntos de extracción

Resumen	MP
Número de muestras	13
Media	90.69
Desviación estándar	76.01
Varianza muestral (Var n-1)	5777.40
Varianza poblacional (Var n)	5332.98
Error estándar	21.08
CV	83.81
Mínimo	27
Máximo	318
Mediana	70
Q1	49
Q3	99

La distribución de valores para cada uno de los tipos de análisis se muestra en la Figura 18, donde se puede observar que las muestras de crioconita presentan una mayor distribución a comparación de las muestras de nieve y sustrato que tienen una distribución mucho menor. Para el caso del sustrato, la cantidad de muestras analizadas fue menor a los otros dos tipos de análisis debido principalmente a la geografía de la zona de estudio. Además, se observa

que los rangos, tanto para la nieve como para el sustrato son significativamente menores por lo que se mostraría uniformidad en los resultados.

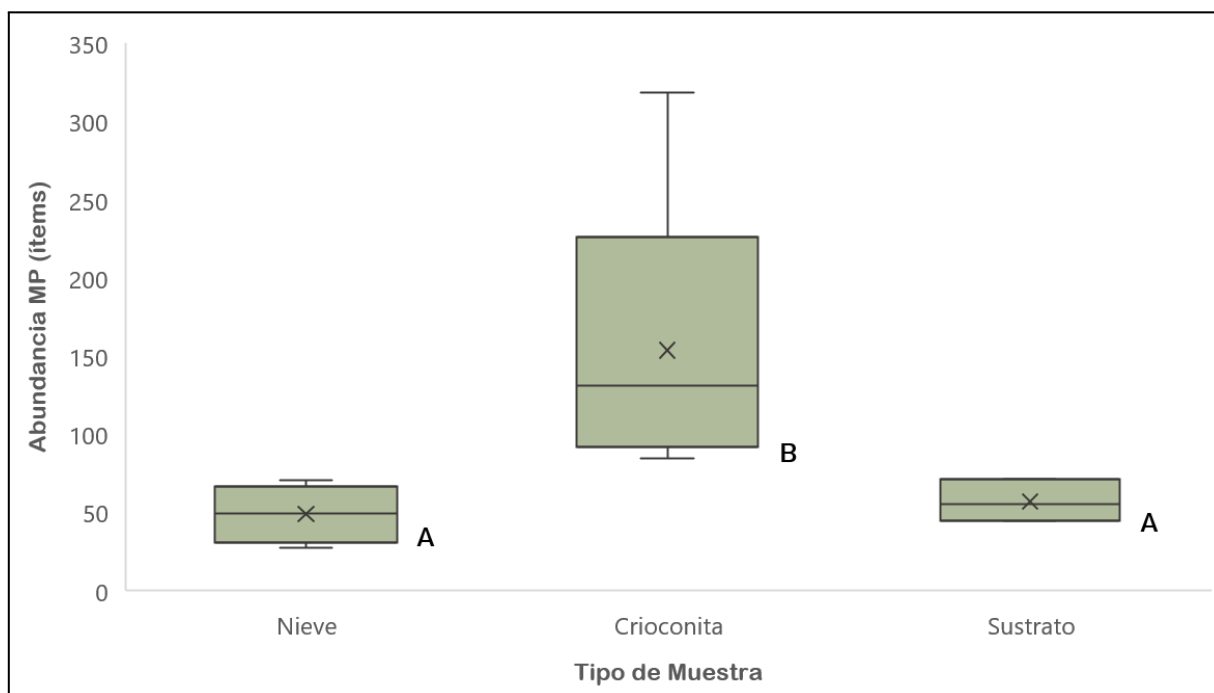


Figura 18: Distribución de los valores obtenidos en los análisis de nieve superficial, crioconita y sustrato

La prueba de supuestos (Shapiro-Wilks) arrojó un valor menor $p < 0.05$ lo que nos indicó que no existe normalidad y la prueba a aplicarse fue una no paramétrica, siendo la de Kruskal Wallis. Los resultados obtenidos de la mencionada prueba nos arrojan un p-valor de 0.0025 mostrándonos que si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos analizados, por lo tanto, los resultados de los análisis de nieve como de sustrato difieren de los de los resultados de crioconita. Esto apoya la teoría de que el transporte de MP en este tipo de ambientes se da de manera atmosférica y existe una acumulación en la nieve superficial y de sustrato de MP en la zona de ablación.

El total de muestra en blanco, que fueron sometidas a cada una de las etapas de los análisis de MP, fue de tres (MB-01, MB-02 y MB-03), la cantidad de muestra de agua destilada que se colocó fue de 200 ml. No se encontró rastros de ítems de MP en ninguna de las tres muestras en blanco Figura 19 por lo que no existió contaminación cruzada en ninguno de los procesos de análisis,

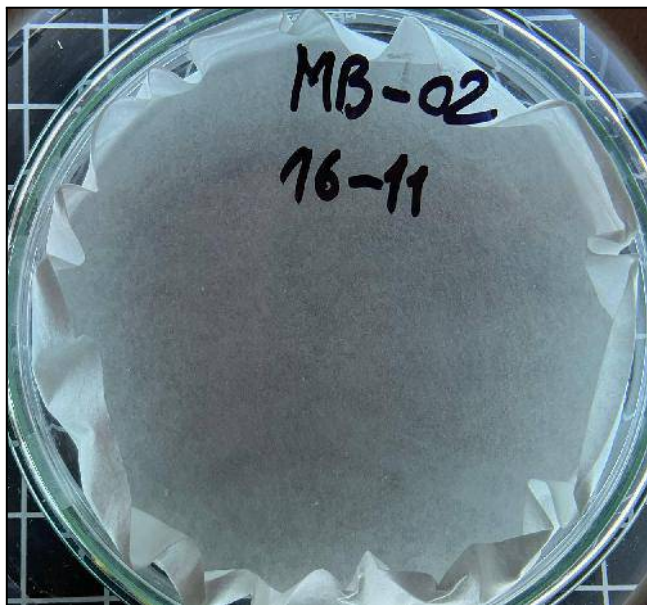


Figura 19: Fotografía de análisis de la muestra en blanco MB-02

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS, MUESTRAS DE NIEVE SUPERFICIAL

La cantidad de muestra sometida a la metodología presentada para la determinación de la cantidad de MP fue de 400 ml por punto de extracción, siendo los resultados obtenidos de la zona de ablación para el punto PM-05 de 67.5 mp/L, PM-06 de 122.5 mp/L, PM-07 de 157.5 mp/L, PM-08 de 85 mp /L y PM-09 de 175 mp/L, siendo el punto PM-09 con el valor más alto encontrado y el punto PM-05 con el más bajo para este tipo de análisis. La cantidad total fue de 607 mp/L y el promedio 121.5 mp/L.

Tabla 11: Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de nieve superficial

Resumen	MP
Número de muestras	5
Media	121.50
Desviación estándar	45.85
Varianza muestral (Var n-1)	2101.88
Varianza poblacional (Var n)	1681.50
Error estándar	20.50
CV	37.73
Mínimo	67.50
Máximo	175



Figura 20: Fotografía de la extracción de muestras de nieve superficial zona de ablación

4.1.2 IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS, MUESTRAS DE CRIOCONITA

Para la crioconita la cantidad de muestras sometidas a la metodología presentada fue de 400 gr por punto de extracción, los resultados obtenidos fueron PM-01 de 795 mp/kg, PM-02 de 327 mp/kg, PM-10 de 335 mp/kg, PM-11 de 210 mp/kg y PM-12 de 247.5 mp/kg, siendo PM-01 el punto con la mayor cantidad de MPs y el punto PM-11 con la menor cantidad. La cantidad total encontrada para el análisis de crioconita fue de 1915 mp/kg y el promedio fue de 383 mp/kg.

Tabla 12: Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de crioconita

Resumen	MP
Número de muestras	5
Media	383
Desviación estándar	236.34
Varianza muestral (Var n-1)	55854.38
Varianza poblacional (Var n)	44683.50
Error estándar	105.69
CV	61.71
Mínimo	210
Máximo	795



Figura 21: Fotografía de crioconita en la zona de ablación

4.1.3 IDENTIFICACIÓN DE MICROPLÁSTICOS, MUESTRAS DE SUSTRATO

Para las muestras de sustrato, la cantidad analizada fue de 200 gr por punto de extracción, los resultados obtenidos fueron para PM-03 de 275 mp/kg, PM-04 de 355 mp/kg y PM-13 de 220 mp/kg, siendo el punto PM-04 el de mayor cantidad de MPs y el punto PM-13 el de menor cantidad. La cantidad total fue de 850 mp/kg y un promedio de 283.34 mp/kg, los detalles del análisis de sustrato se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13: Estadística descriptiva de los resultados obtenidos de las muestras de sustrato

Resumen	MP
Número de muestras	3
Media	283.33
Desviación estándar	67.88
Varianza muestral (Var n-1)	4608.33
Varianza poblacional (Var n)	3072.22
Error estándar	39.19
CV	23.96
Mínimo	220
Máximo	355

**Figura 22:** Fotografía de la extracción de muestras de sustrato zona de ablación

4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS MICROPLÁSTICOS

Dentro de la caracterización física de los MPs encontrados en la zona de estudio, se utilizó la inspección visual como principal herramienta y se tomaron los parámetros de forma, color y tamaño de cada uno de los MPs encontrados en los análisis realizados en laboratorio. El principal equipo utilizado fue el microscopio, que junto a un software se pudo medir los MPs encontrados y los resultados se presentan a continuación.

4.2.1 FORMA DE MICROPLÁSTICOS

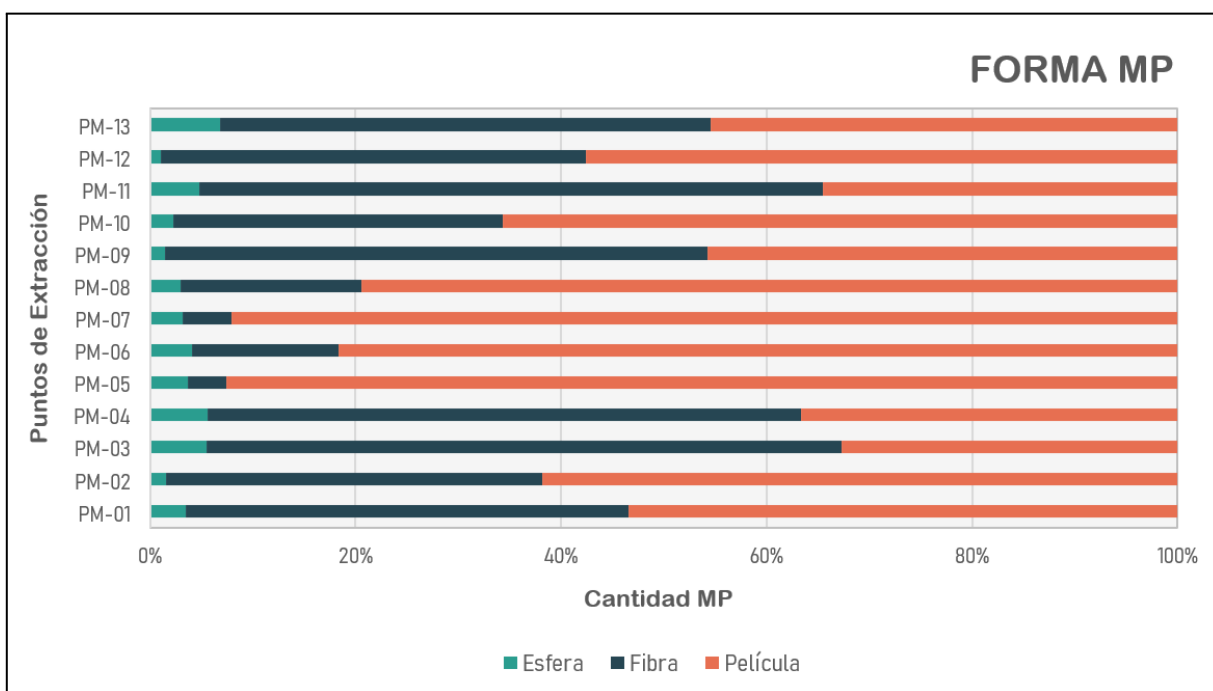


Figura 23: Porcentajes de la forma de microplástico hallado en la zona de ablación de acuerdo a los puntos de extracción

Con referencia a los resultados obtenidos de la forma de los MPs encontrados, se tuvo un total de 1179 ítems de MP, de los cuales se obtuvieron formas de esfera, fibra y película. En la Figura 23 se muestra el porcentaje correspondiente a cada uno de estos tipos; existe una predominancia del tipo película con un 56.9% del total encontrado que corresponde a una cantidad de 671 ítems de MP, seguido del tipo fibra con un 39.9% que corresponde a una

cantidad de 470 ítems de MP, finalmente el tipo esfera es el que se encontró en menor cantidad con tan solo un 3.2% que representa a 38 ítems de MP.

La cantidad máxima encontrada para el tipo esfera fue en el punto PM-13 con un 6.8% (3 ítems de MP) de un total de 44 ítems de MP para este punto, mientras que la cantidad mínima para este tipo se encontró en el punto PM-12 con un 1% (1 ítem de MP) de un total de 99 ítems de MP, se tiene una cantidad similar en el punto PM-02 con un 1.5% (2 ítems de MP) de un total de 131 ítems de MP; estos puntos corresponderían a los análisis de sustrato, crioconita y nieve respectivamente. En el caso del tipo fibra, el punto PM-03 tuvo la máxima cantidad de ítems de MP 61.8% (34) de un total de 55 ítems de MP; mientras que la mínima cantidad encontrada fue en el punto PM-05 con un 3.7% (1 ítem de MP) de un total de 27 ítems de MP, estos resultados corresponden a los análisis de sustrato y nieve. Finalmente, para el tipo película, la máxima cantidad encontrada fueron en los puntos PM-05 y PM-07 con un 92.6% y 92.1% (25 y 58 ítems de MP) respectivamente, de un total de 27 y 63 ítems de MP, la cantidad mínima encontrada fue en el punto PM-03 con un 32.7% (18 ítems de MP) de un total de 55 ítems de MP, estos resultados corresponden a los análisis de nieve y sustrato.

4.2.2 COLOR DE MICROPLÁSTICOS

En cuanto a los resultados de los colores de MP, se tuvo que de los 1179 ítems de MP 648 (54.96%) correspondían al color blanco, 230 (19.51%) al celeste, 99 (8.40%) al color negro, 77 (6.53%) al color verde, 73 (6.19%) al color azul, 43 (3.65%) al color amarillo, 8 (0.68%) al color café y 1 (0.08%) al color rojo. Los resultados encontrados de acuerdo al tipo de análisis que se realizó en cada uno de los puntos de extracción se detallan a continuación.

En el caso de los análisis de nieve, los colores predominantes fueron el blanco, negro, celeste y verde mientras que los colores como el rojo, café y azul son los que se encontraron en menor cantidad, como se muestra en la Figura 24. Además, el punto PM-06 tuvo la mayor

cantidad de MP de color blanco con un 81.6% (40 ítems de MP), con respecto al color negro el punto PM-08 tuvo un 20.6% (7 ítems de MP), en el punto PM-05 se tuvo un 14.8% (4 ítems de MP) del color celeste, mientras que el punto PM-09 tuvo un 11.4% (8 ítems de MP) del color verde. Con respecto al color rojo, que es el color con menor cantidad encontrada, tuvo un 1.6% (1 ítem de MP) en el punto PM-07.

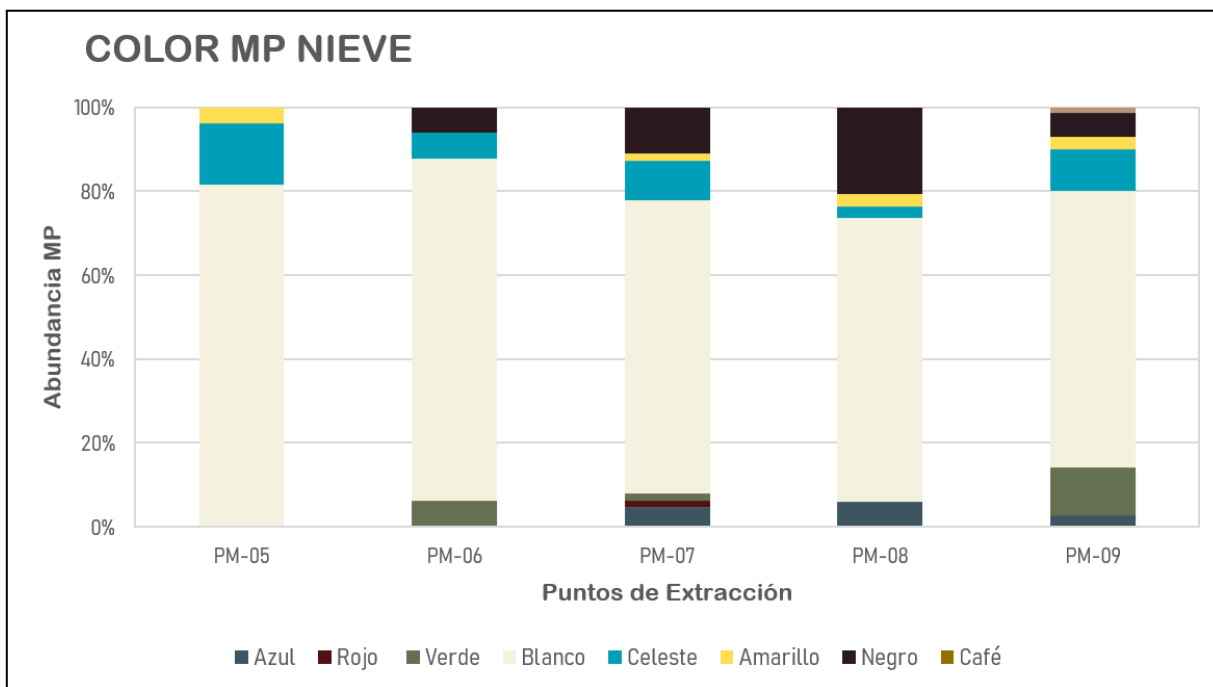


Figura 24: Abundancia porcentual de colores de las muestras de nieve superficial

Para el caso de los análisis de crioconita, los colores predominantes fueron el blanco, celeste, negro y amarillo, mientras que los colores como el rojo y café son los que se encontraron en una menor cantidad, como se muestra en la Figura 25. El punto PM-12 tuvo un 64.6% (64 ítems de MP) de predominancia con el color blanco, el color celeste en el punto PM-01 tuvo 44.3% (141 ítems de MP), el color negro en el punto PM-12 tuvo un 15.2 % (15 ítems de MP), mientras que el punto PM-11 tuvo una predominancia con el color amarillo con 9.5% (8 ítems de MP). El color rojo no se encontró en ninguno de los puntos de extracción y

el color café tuvo una presencia del 0.8% (3 ítems de MP) y 0.9% (1 ítem de MP) en los puntos PM-01 y PM-02 respectivamente.

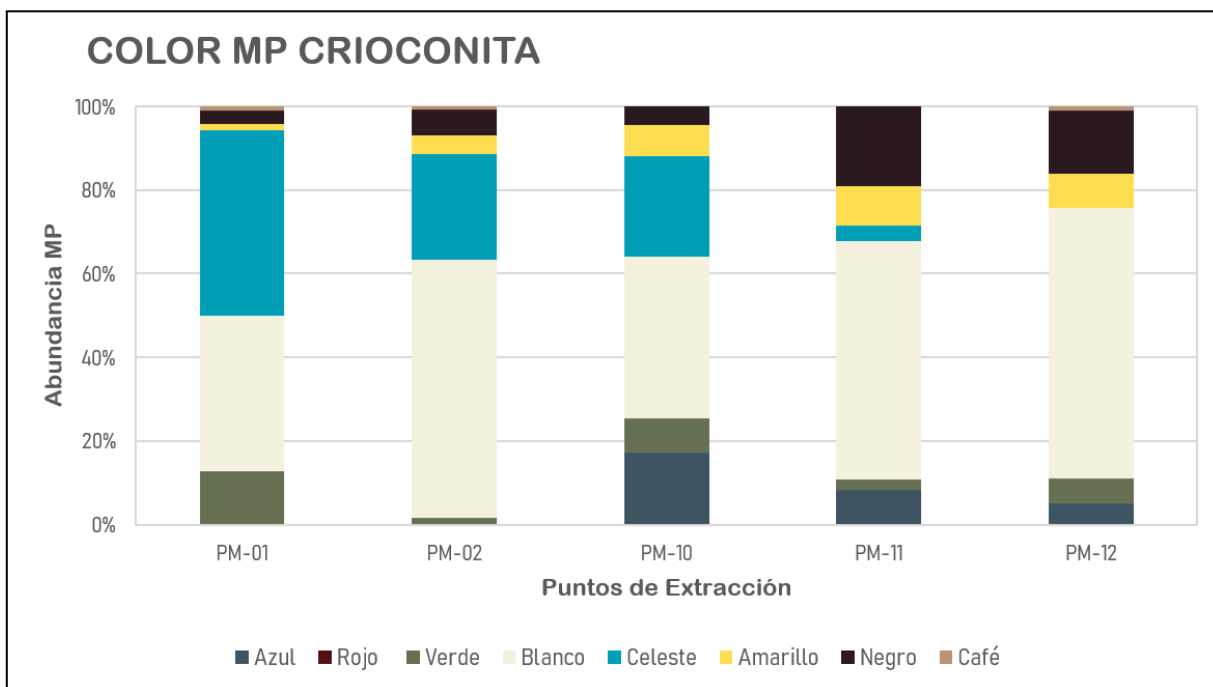


Figura 25: Abundancia porcentual de colores de las muestras de crioconita

Finalmente, para el caso de los análisis de sustrato, los colores predominantes fueron el blanco, azul y negro, mientras que los colores como el rojo, celeste, verde y café son los que se encontraron en una menor cantidad, como se muestra en la Figura 26. Con respecto al color blanco el punto PM-04 tuvo un 67.6% (48 ítems de MP), el color azul en el punto PM-13 tuvo un 22.7% (10 ítems de MP), mientras que el color negro en el punto PM-03 tuvo un 14.5% (8 ítems de MP). Los colores como el rojo y celeste no se encontraron en ninguno de los puntos de este tipo de análisis, el color café tuvo un 4.5% (2 ítems de MP) en el punto PM-13.

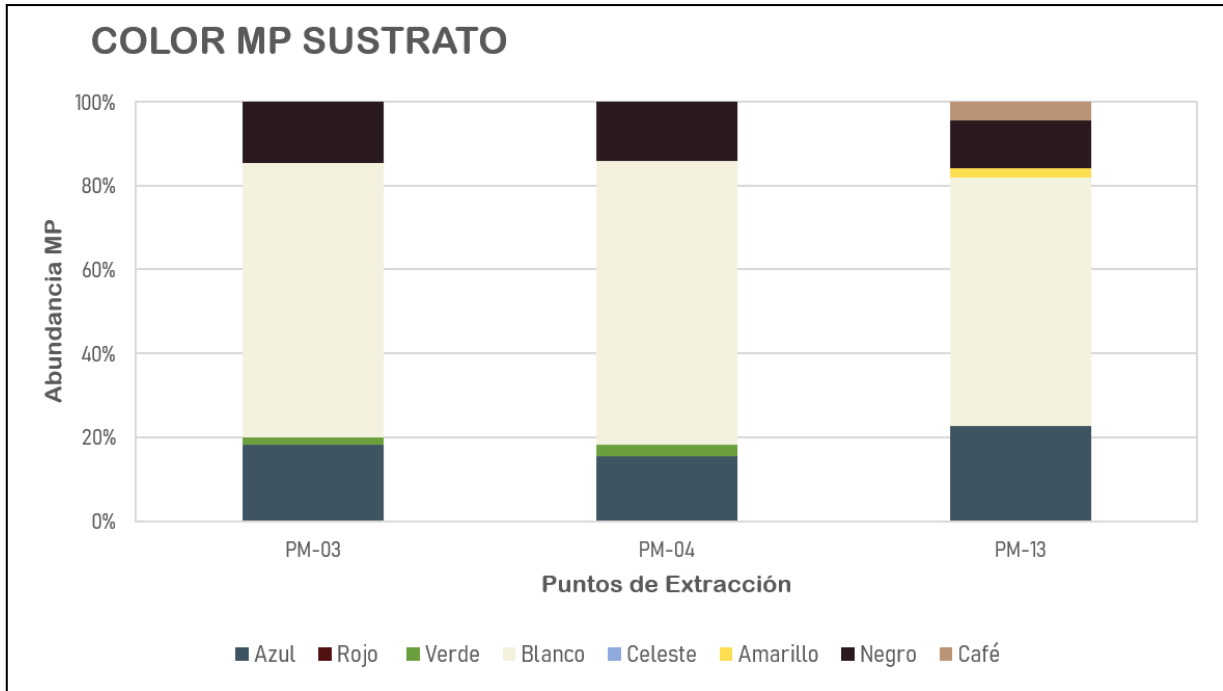


Figura 26: Abundancia porcentual de colores de las muestras de sustrato

4.2.3 TAMAÑO DE MICROPLÁSTICOS

Los resultados del tamaño de MP fueron analizados por un microscopio y cámara de la marca GreetMet que junto al software TSView hizo posible el análisis de este parámetro, el rango de medida visual que se utilizó fue de 40X debido a que la calibración propia del software se da bajo esta medida, la medición consideró el ancho y en algunos casos el largo de los MPs encontrados. Los resultados obtenidos se observan en la Figura 27 y la Tabla 14, siendo 0.01 μm el de menor tamaño registrado en el punto PM-07 y 0.70 μm el de mayor tamaño en el punto PM-12, además existe un mayor rango de medida en el punto PM-12 que va desde los 0.08 μm a 0.70 μm , por el contrario, el punto PM-13 presenta un menor rango que va desde los 0.15 μm a 0.23 μm . El promedio más alto registrado es de 0.41 μm en los puntos PM-09 y PM-12 mientras que el promedio menor registrado estuvo en el punto PM-08 con 0.07 μm .

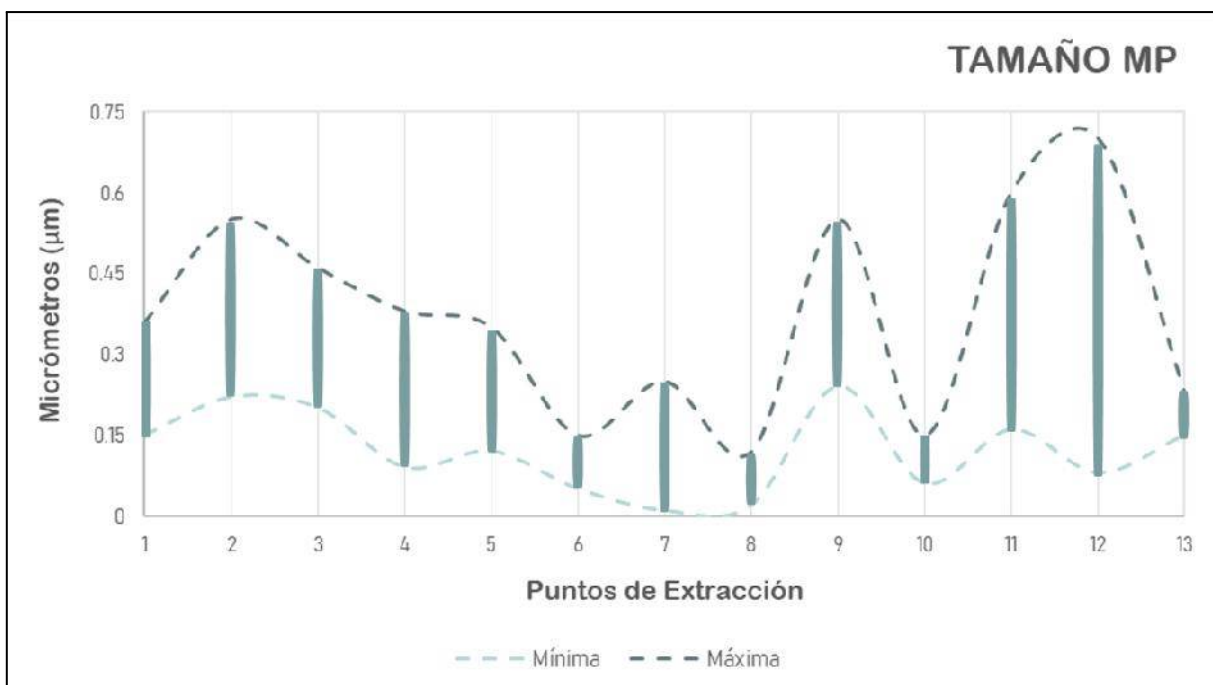


Figura 27: Rangos de tamaño de los microplásticos hallados según los puntos de extracción

Tabla 14: Rango de tamaño de los microplásticos hallados en cada uno de los puntos de extracción con el promedio

Punto	Mínimo (μm)	Máximo (μm)	Promedio (μm)
PM-01	0.15	0.36	0.25
PM-02	0.22	0.55	0.36
PM-03	0.20	0.46	0.33
PM-04	0.09	0.38	0.24
PM-05	0.12	0.35	0.25
PM-06	0.05	0.15	0.10
PM-07	0.01	0.25	0.13
PM-08	0.02	0.12	0.07
PM-09	0.24	0.55	0.41
PM-10	0.06	0.15	0.10
PM-11	0.16	0.60	0.39
PM-12	0.08	0.70	0.41
PM-13	0.15	0.23	0.19

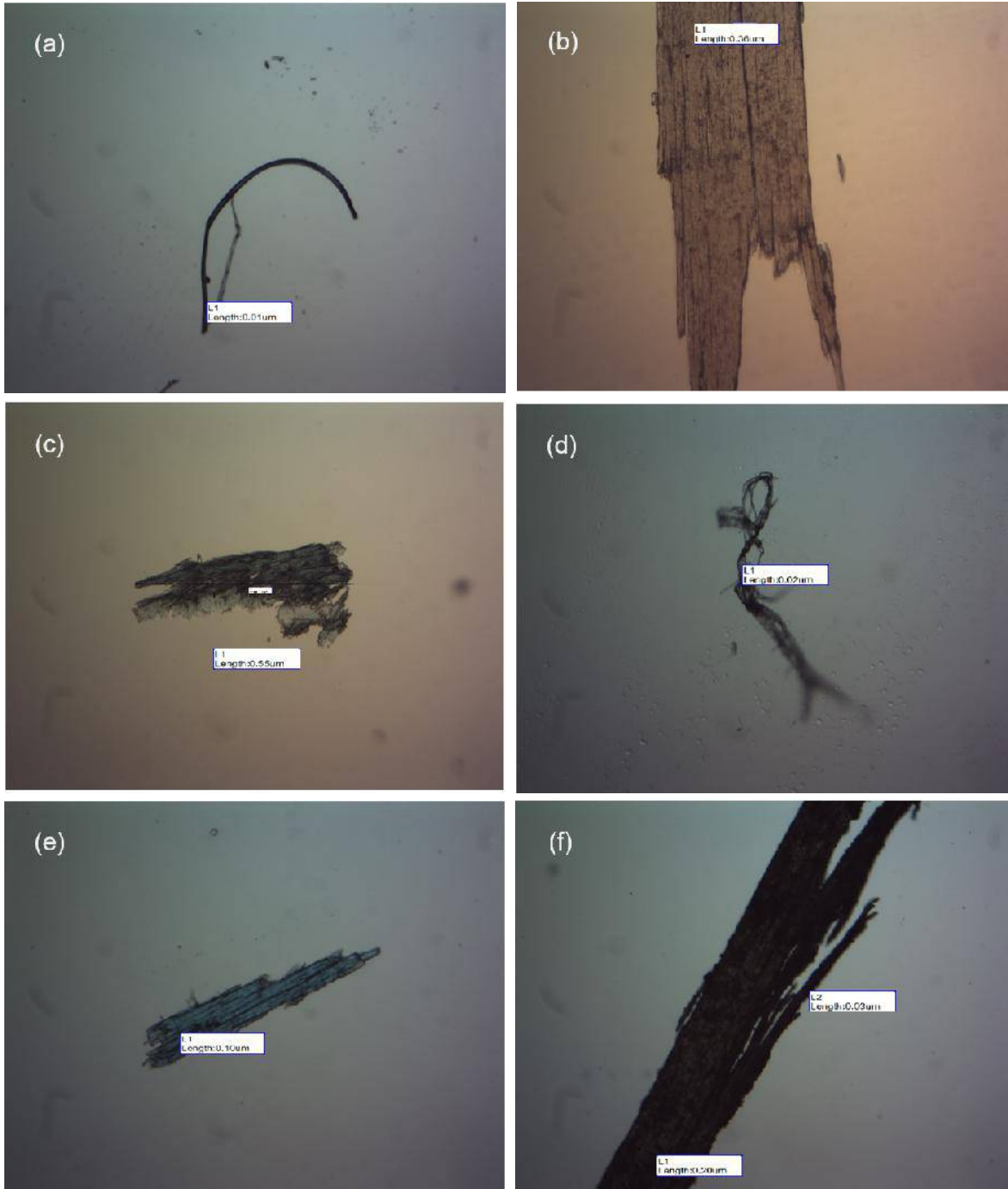


Figura 28: Fotografías de los microplásticos y la descripción del tamaño. (a) MP fibra color negro PM-07, (b) MP película color amarillo PM-01, (c) MP película color azul PM-02, (d) MP fibra color negro PM-08, (e) MP fibra color azul PM-08 y (f) MP fibra color café PM-11.

4.3 DISCUSIÓN

Los estudios realizados sobre MP a nivel mundial en las zonas criosféricas han sido pocos, siendo las del hielo marino, nieve superficial y glaciares de montaña las registradas hasta la actualidad Figura 8; en cuanto a esta última categoría, usualmente los análisis han sido a través de la nieve superficial, crioconita y núcleo de hielo. Los resultados obtenidos en este estudio a nivel del sustrato fueron $283.34 \text{ mp/kg D.S. } \pm 67.88 \text{ mp/kg}$; si bien en estudios anteriores no se evaluó la cantidad de MP existente en el sustrato a nivel de la zona de ablación de un glaciar de montaña, se ha llegado a encontrar MP en el núcleo de hielo de este tipo de ecosistema como lo registra Wang et al. (2022), $9.55 \pm 0.9 \text{ mp/L}$ de entre 30 cm a 130 cm de profundidad, lo que probablemente indicaría que existe un transporte vertical de MP en la zona de ablación, lo que generaría una acumulación en el sustrato, además del transporte atmosférico.

En cuanto a la cantidad de MPs en la nieve superficial, en este estudio se encontró 243 ítems de MP que representa a $121.5 \text{ mp/L D.S. } \pm 45.85 \text{ mp/L}$, cantidad que se ajusta a lo hallado en Sudamérica en los Andes Ecuatorianos con $131 \pm 24 \text{ MPs/L}$ (Cabrera et al., 2022) y lo encontrado en glaciares de montaña de Europa en los Alpes Centrales del norte de Italia (Forni, Cedec y Ebenferner-Vedretta) con 234 ítems de MP (Crosta et al., 2022). En el primer estudio realizado de MPs en glaciares ubicados a gran altitud, Ambrosini et al. (2019), halló $74.4 \pm 28.3 \text{ mp/kg}$ en los Alpes Italianos (Forni) y en los Andes Ecuatorianos (Cabrera et al., 2020) encontró 89.7 ítems de MP por muestra, lo que indicaría que, a pesar de los valores bajos encontrados en estos últimos estudios mencionados, habría un aumento en la acumulación de este contaminante emergente debido a que los datos recolectados pertenecen a los mismos lugares de estudio y esto sería indicativo de que no solamente existe presencia de MP en lugares prístinos sino que además, existe una acumulación de MPs en los glaciares de montaña.

En las superficies de hielo que están a una altitud del nivel del mar, en Vatnajökull al sureste de Islandia se logró identificar un total de 4 MPs entre fragmentos y fibras (Stefánsson et al., 2021) y González-Pleiter et al. (2021), halló MP en los glaciares Árticos alrededor del lago Uruguay y Ionosférico, una cantidad de 29 MPs lo que sería un indicador de que si bien existe contaminación por MPs en las zonas de la criosfera a nivel mundial, la presencia de este contaminante en zonas como el Ártico es mucho menor a comparación de zonas como los glaciares de montaña, por lo que una importante fuente de ingreso sería la atmósfera a través de los fenómenos meteorológicos propios de este tipo de ambientes.

En cuanto los valores de MP en muestras de crioconita, la cantidad encontrada en este estudio fue de $383 \text{ mp/kg D.S.} \pm 236.34 \text{ mp/kg}$, mientras que Ambrosini et al. (2019), registra en su estudio $70.5 \pm 32.9 \text{ mp/kg}$. Los análisis de MP en crioconita son muestra de la deposición de este contaminante a través del viento, las precipitaciones y el deslizamiento de material, razón por la cual se muestra diferencias notables en los valores con respecto a los resultados hallados en la nieve superficial y el sustrato. Ahora bien, una de las principales razones por las cuales puede llegar a existir este nivel de concentración de MP en crioconita en la zona de ablación son las corrientes de aire, como nos lo menciona Koutnik et al. (2021), el MP puede ser arrastrado por el viento debido a varios procesos que incluyen la emisión directa de la superficie del suelo, la emisión del bombardeo durante la saltación y la desintegración de grandes partículas de agregados.

En la Figura 28 (f) se observa el proceso de fragmentación de partículas, la teoría indica que los MPs secundarios son el producto de la degradación o fragmentación de partículas de plástico mucho más grandes (Duis, 2016) pero en este caso se observa una fragmentación del propio MP y aunque existe la posibilidad de que esto sea el resultado de la manipulación propia de las muestras en la metodología para la obtención de MP, Cabrera et al. (2020), menciona que solo existe fragmentación de estas partículas cuando se somete a las

muestras a una fuerza de centrifugación superior a las 4000 rpm y en este estudio solo se utilizó la separación por densidad como principal herramienta para la obtención de MP; por lo que en este estudio si existen muestras que están bajo este proceso, siendo evidencia de que los MP pueden alcanzar tamaños mucho menores.

En cuanto a la forma de los MPs encontrados en este estudio, los resultados son un 56.9% de forma de película, 39.9% de fibra y un 3.2 % de tipo esfera, mostrando una predominancia del tipo película y fibra. En estudios realizados en los Andes Ecuatorianos, la Meseta Tibetana y el glaciar del Forni en Italia, coinciden en la predominancia de los tipos de fibra y fragmento dentro de los resultados de MP, siendo un 70 a 71%, 50% y 62 % en fibra respectivamente y un 15%, 33.34% y 34.8% en cuanto a la forma de película respectivamente; pero además, se llegó a encontrar la forma de esfera en una mínima cantidad, en estudios de los Andes Ecuatorianos al igual que en este estudio (Ambrosini et al., 2019; Cabrera et al., 2020, 2022; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2021).

En cuanto a los resultados porcentuales de los colores de MP hallados en la Cordillera de Apolobamba, se encontró un 54.96% del color blanco, 19.50% en celeste, 8.40% negro, 6.53% verde, 6.19% azul, 3.65% amarillo, 0.68% café y 0.08% rojo. Existe similitud en los colores blanco, negro, azul, celeste, amarillo, verde y rojo en los estudios realizados en los Andes Ecuatorianos, Alpes Italianos y la Meseta Tibetana, solo hay una variación porcentual en cuanto a la cantidad de cada uno de estos (Cabrera et al., 2020, 2022; Wang et al., 2022; Zhang et al., 2021), más la tonalidad transparente es también una recurrente, pero en el presente estudio no se identificó de este tipo; también existe colores como el violeta (Ambrosini et al., 2019) y gris (Crosta et al., 2022) que no se llegaron a identificar para el presente caso. La variación de los colores de MP en los glaciares de montaña puede estar sujeta al tipo y material del plástico del cual se originó, como lo mencionan Parolini et al. (2021), determinada cantidad de los MPs que se hallan en estos ecosistemas están sujetos

al tipo de actividad que se desarrolla en las cercanías de los glaciares, en su estudio se llegó a encontrar que un 27% pertenece a artículos de equipo de montaña pero en la Rinconada, que es el lugar más cercano a la zona de ablación, no se realiza turismo ni actividades de montañismo o trekking, por lo que probablemente parte de los MPs encontrados pertenezcan a la actividad urbana y/o minera.

El rango de tamaño encontrado en la zona de estudio fue de 0.01 μm a 0.70 μm , teniendo un promedio de 0.25 μm . En cuanto a estudios realizados anteriormente los resultados de tamaño difieren con el presente, en zonas de la superficie de hielo como Vatnajökull en Islandia y los glaciares Antárticos el rango de tamaño fue de entre 30 μm a 11 334 μm (González-Pleiter et al., 2021; Stefánsson et al., 2021) y en zonas como los Andes Ecuatorianos y la Meseta Tibetana los rangos fueron de entre 48 μm y 2500 μm (Cabrera et al., 2020; Wang et al., 2022). Si bien en la teoría los MPs tienen una escala de tamaño para su clasificación Figura 2, aún no se ha establecido una medida estándar para los MPs, pero los resultados del presente estudio muestran una medida menor a 1 μm en cuanto al ancho de los MPs hallados en la zona de ablación. En los Alpes Italianos Parolini et al. (2021), en su estudio acerca de los MaPs el promedio de tamaño encontrado fue de 9.2 cm \pm 1.5 cm mostrando que en realidad no hay una medida estandarizada para la clasificación de estos contaminantes.

Las características y la cantidad de MPs encontrados en el presente estudio es una consecuencia de la mala gestión que existe en cuanto a los residuos sólidos a nivel mundial; la Rinconada es una de las principales fuentes de MP para el glaciar de Apolobamba debido a que la producción de residuos sólidos domésticos es de 21.37 ton/día de las cuales un 12% corresponde a residuos plásticos (Soto, 2016), probablemente en su mayoría destinado al embalaje y/o empaquetado (Plastics Europe, 2022). Una de las teorías acerca del flujo de movimiento de los MPs es el viento y el transporte atmosférico (González-Pleiter et al., 2021;

Stefánsson et al., 2021) y aunque en la Rinconada no se realiza actividades turísticas, la minería y la mala gestión de los residuos sólidos son fuente importante de generación de MPs. Como lo indica Koutnik et al. (2021), aunque por lo general la presencia de MP se da en mayor proporción en áreas cercanas a las zonas urbanas, los glaciares de montaña contienen las mayores concentraciones de MP en todo el mundo, debido a que existe una persistencia en las concentraciones de este contaminante (Ambrosini et al., 2019) y son el depósito de MP que pueden recorrer grandes distancias (Wang et al., 2022).

Respecto al tipo de plástico encontrado en los resultados, no se hizo una prueba para determinar con exactitud cuál era su composición, pero como lo indica Cabrera et al. (2020), la metodología de diferenciación de densidades con la solución de NaCl saca a flotación los polímeros PE, PP, PA, PS, PU y PET y como se menciona en la Tabla 2 uno de los polímeros con mayor frecuencia encontrado dentro de este tipo de ecosistemas es el PET. Por lo que, es importante señalar que independientemente del tipo de polímero, los MPs son consecuencia directa de la presión antrópica (Crosta et al., 2022) que se genera a través de las múltiples actividades que realizamos, siendo nuestros ecosistemas las principales afectadas.

La presencia de este contaminante en la Cordillera de Apolobamba es altamente riesgoso para otros ecosistemas, la biota y el mismo ser humano; una de las razones es porque la presencia de MP en la crioconita, la nieve superficial y el sustrato hace que su incorporación a los ríos que nacen en estos ecosistemas sea con mucha mayor facilidad fortaleciendo así su ubicuidad; por ejemplo el lago Titicaca, que es uno de los lagos de mayor importancia hidrológica dentro de la zona, registra contaminación por MPs como lo menciona Paredes et al. (2019), donde llegó a encontrar en el agua superficial $175\,916.67\text{ mp/m}^3 \pm 27\,428.69\text{ mp/m}^3$ y en la columna de agua $22\,583.34\text{ mp/m}^3 \pm 4114.11\text{ mp/m}^3$. Además de ello, los MPs son un medio para que se adhieran otros contaminantes y en los glaciares de montaña se

han llegado a encontrar elementos traza tanto naturales como antrópicos como lo menciona Torres et al. (2022), tales como el cobre, arsénico, zinc y plomo. Los impactos a la parte biótica de los ecosistemas se centran principalmente en la ingesta de MP, llegando a ocasionar desde la incorporación de este contaminante al sistema circulatorio hasta la reducción de la movilidad en especies de mucho mayor tamaño (Browne, 2008); y ya se cuenta con registro de MP en especies del lago Titicaca donde se encontró desde 25.40 mp/individuo hasta 33.32 mp/individuo (Paredes et al., 2019) siendo altamente riesgoso debido a que los MPs suben rápidamente dentro de la cadena trófica. Sumado a esto, los COPs tienen una gran afinidad con el plástico (Hirai et al., 2011), por lo que una combinación de ambos puede generar bioacumulación y biomagnificación al momento de ingresar a la cadena alimenticia, a través de los procesos de absorción, adsorción y desorción (Apul, 2015; Rochman, 2013).

Finalmente, dentro de los glaciares de montaña, el Perú cuenta con un gran porcentaje (71%) de los glaciares a nivel mundial (Yap, 2015) y la Cordillera de Apolobamba es parte de una de las 18 cordilleras con las cuales cuenta el Perú (INAIGEM, 2018). Uno de los mayores riesgos a los cuales se enfrentan los glaciares de montaña es el cambio climático y en consecuencia la pérdida de las masas de nieve y hielo que se va cada año; los MPs tienen como característica las diferentes variaciones de colores en las cuales se presentan, este parámetro ayuda a la reducción del albedo de la nieve y al mismo tiempo almacenan calor dentro de sí (Zhang et al., 2022) ocasionando que se acelere aún más el proceso de derretimiento, siendo así una terrible combinación con el cambio climático debido a que se calculó que para el año 2066 la Cordillera de Apolobamba perdería su superficie glaciar (INAIGEM, 2018) y este factor aceleraría aún más este pronóstico.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Los resultados hallados muestran la presencia de los microplásticos generados a partir de una mala gestión de los residuos sólidos en una amplia escala, siendo un indicativo de un nuevo tipo de contaminación transfronteriza.

SEGUNDA: Se determinó la cantidad de microplásticos presentes en la zona de ablación del glaciar de montaña de la Cordillera de Apolobamba en la Rinconada, departamento de Puno, encontrando en la nieve superficial un promedio de 121.50 ± 45.85 mp/L, en crioconita 383 ± 236.34 mp/kg y en el sustrato 283.34 ± 67.88 mp/L, mostrando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de crioconita y los otros dos grupos de análisis, apoyando a la teoría del transporte atmosférico que tienen los microplásticos y dando lugar a su ubicuidad en los lugares prístinos del territorio peruano. Este estudio es el primero realizado dentro de los glaciares de montaña del Perú, en el campo de los microplásticos, dando cuenta del riesgo potencial de contaminación que existe en los ecosistemas de alta montaña por este contaminante emergente.

TERCERA: Se caracterizó los microplásticos encontrados en el glaciar de montaña de la Cordillera de Apolobamba en la Rinconada a través de las propiedades físicas que estas presentan, mostrando que de los 1179 ítems de microplástico hallados, un 56.9% es de forma película, un 39.9% fibra y un 3.2% de forma esfera, observando similitud con estudios

realizados en los Andes Ecuatorianos, Alpes Italianos y la Meseta Tibetana. En cuanto al color se encontró predominancia en el blanco (54.96%), celeste (19.50%), negro (8.40%) y verde (6.53%), siendo un riesgo para la pérdida de la masa de nieve y hielo del glaciar de montaña estudiado, debido a que se reduce el albedo y existe una tendencia a la acumulación de calor dentro de este contaminante. Finalmente, en cuanto al tamaño de los microplásticos se encontró que existe un rango de entre 0.01 μm y 0.70 μm teniendo un promedio de 0.25 μm , evidenciando que, además de la variedad de tamaños de los microplásticos hallados en el glaciar de montaña, existe la fragmentación de los mismos dando como resultado a la generación de partículas mucho más pequeñas, siendo uno de los probables orígenes a los llamados nanoplásticos.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Se recomienda impulsar los estudios entorno a los microplásticos en ecosistemas de montaña instituciones como el MINAM y las Universidades que incluyen carreras profesionales involucradas en la gestión ambiental, para formar una base sólida que nos permita visualizar el problema real de este contaminante emergente sobre nuestros glaciares, ya que el Perú es uno de los países con una considerable cantidad de nieve superficial a gran altitud, que forman cordilleras que son de gran importancia ambiental por la cantidad de servicios ecosistémicos que brinda y por la fragilidad que estos tienen frente a nuevos problema que surjan que pongan en riesgo su calidad y cantidad.

SEGUNDA: A las futuras investigaciones que se realicen en la universidad Privada San Carlos abordar los estudios sobre los microplásticos en la mayoría de los niveles ecosistémicos debido a que, si bien se conoce el origen de los microplásticos, no se tiene documentación acerca de las consecuencias que estos tienen sobre los individuos, población y comunidad a largo plazo, y más aún conociendo que este problema es de una escala transfronteriza y que puede llegar a cargar consigo una gran cantidad de contaminantes adicionales aumentando los riesgos hacia la biota y ecosistemas, incluso en lugares alejados de las actividades humanas.

TERCERA: Para los laboratorios encargados tener en cuenta que la metodología para la obtención de microplásticos a la actualidad es una que se está estandarizando bajo ciertas variantes, dependiendo del tipo de muestra y los objetivos que se plantee, siendo una que funciona y ha dado resultados que nos han llevado al conocimiento actual sobre el tema, por lo que es importante continuar con su aplicación y también con su mejoramiento constante. Además de ello es importante establecer una metodología para la obtención de los nanoplásticos ya que no se cuenta con una, por lo que no se ha establecido una línea de estudio para su amplia comprensión.

CUARTA: Se recomienda que las instituciones del estado que están entorno a la gestión de los residuos sólidos puedan seguir fortaleciendo su trabajo en el tema para que la inclusión de la problemática de los microplásticos entre en la agenda de una eficiente gestión de los residuos plásticos y a través de la información que se ha generado alrededor de este contaminante emergente, se puedan realizar acciones que minimicen su generación y su continua acumulación en todos nuestros ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alomar, C., Estarellas, F., & Deudero, S. (2016). Microplastics in the Mediterranean Sea: Deposition in coastal shallow sediment, spatial variation and preferential grain size. *Mar Environ Res*, 115, 1-10. doi:10.1016/j.marenvres.2016.01.005
- Amaya, A. (2016). *Evaluación de los microplásticos en la laguna Arrecifal de Puerto Morelos y sus efectos en la biota mx*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., & Parolini, M. (2019). First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environmental Pollution*, 253, 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.005>
- Amy L., An, B., Ian O'Connor & Rick, O. (2014). Microplastic pollution in the northeast atlantic ocean: validated and opportunistic sampling. *Marine pollution bulletin*, 88(1):325–333.
- Apul, O. & Karanfil, T. (2015). Adsorption of Synthetic Organic Contaminants by Carbon Nanotubes: A Critical Review. *Water Res*, 68, 34–55.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la Metodología Científica: Vol. Sexta* (Sexta Edición). Editorial Episteme C.A.
- Benavente, V. (2021). *Determinación de la presencia de microplásticos en nueve playas de Camaná - Arequipa - Perú y Programa de sensibilización*. Universidad Católica de Santa María.
- Billmeyer., F. (2020). *Ciencia de los Polímeros*. Universidad Politécnica de Barcelona
- Blancard, M., Choplin, L., Mbaye, M., & Olivereau, A. (2019). *Un sistema de depósito para botellas de plástico en Lima ¿Una alternativa colectiva y exitosa para resolver el*

problema de la contaminación y la creciente producción de plástico en el Perú? ESAN Business.

Bravo, K. C. (2019). *Análisis del registro glaciar del cambio climático desde la pequeña edad de hielo en el nevado Tunshu (11°) Cordillera Occidental de los Andes Centrales*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Browne, M., Dissanayake, A., Galloway, T., Lowe, D.; & Thompson, R. (2008). Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, *Mytilus Edulis* (L.). *Environ. Sci. Technol*, 42 (13), 5026–5031.

Browmer, T., & kershaw, P. (2010). Proceedings of the GESAMP International Workshop on Microplastic particles as a vector in transporting persistent, bio accumulating and toxic substances in the ocean. Paris: *GESAMP Reports and Studies*. Francia.

Cabrera, M., Moulatlet, G. M., Valencia, B. G., Maisincho, L., Rodríguez-Barroso, R., Albendín, G., Sakali, A., Lucas-Solis, O., Conicelli, B., & Capparelli, M. v. (2022). Microplastics in a tropical Andean Glacier: A transportation process across the Amazon basin? *Science of the Total Environment*, 805. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150334>

Cabrera, M., Valencia, B. G., Lucas-Solis, O., Calero, J. L., Maisincho, L., Conicelli, B., Massaine Moulatlet, G., & Capparelli, M. v. (2020). A new method for microplastic sampling and isolation in mountain glaciers: A case study of one antisana glacier, Ecuadorian Andes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100051>

Castillo, E. (2017). *Factores ambientales de temperatura y precipitación que inciden en la dinámica de la montaña glaciar Pasoruri*.

- Castro, E. (2019). *Análisis cuantitativo de microplásticos de tamaño 0.5 mm a 5 mm en sedimentos costeros del norte del Caribe Mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- CBD y STAP/FMAM. (2012). Impacts of marine Debris on biodiversity Current Status and Potential Solutions
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review, *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597.
- Cristán, A., Ize, I., & Gavilán, A. (2003). La situación de los envases de plástico en México. *Caceta Ecológica*, 69, 67–82.
- Crosta, A., de Felice, B., Antonioli, D., Chiarcos, R., Perin, E., Orteni, M. A., Gazzotti, S., Azzoni, R. S., Fugazza, D., Gianotti, V., Laus, M., Diolaiuti, G., Pittino, F., Franzetti, A., Ambrosini, R., & Parolini, M. (2022). Microplastic contamination of supraglacial debris differs among glaciers with different anthropic pressures. *Science of the Total Environment*, 851. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158301>
- DeTitto, E., de Titto, G., & Savino, A. (2022). Plásticos: un mundo en expansión. *ISALUD*, 17(83), 46–58. <https://www.researchgate.net/publication/363661412>
- D.L. 1278. Decreto Legislativo que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. 22 de diciembre de 2016.
- Dollfus, O. (1981). El reto del espacio andino.
- Donoso, J. (2018). *Cuantificación de la Presencia de Microplásticos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba*.

- Duis, K. & Coors, A. (2016). Microplastics in the Aquatic and Terrestrial Environment: Sources (with a Specific Focus on Personal Care Products), Fate and Effects. *Environ. Sci. Eur.* 28 (1), 1–25.
- Eerkes-medrano, D., Thompson, R. C., & Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritization of research needs. *Water Research*, 75, 63–82. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Elías, R. (2015). Mar del plástico: Una revisión del plástico en el mar. *Invest. Desarr. Pesq.*, 27, 83–105.
- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Fadare, O. y Okoffo, E. (2020). «Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment». *Science of the Total Environment*, 737, 140279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>
- Galvis, J. A. (2016). Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*, 22, 7–28.
- Góngora, J. P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, 64(5), 6–9. <http://www.freeimages.com/browse.phtml?f=download&id=248748>
- González-Pleiter, M., Lacerot, G., Edo, C., Lozoya, J., Leganés, F., Fernández-Pinás, F., Rosal, R., & Teixeira-De-Mello, F. (2021). A pilot study about microplastics and

- mesoplastics in an Antarctic glacier. *The Cryosphere*, 15(6), 2531–2539. <https://doi.org/10.5194/tc-15-2531-2021>
- Hirai, H., Takada, H., Ogata, Y., Yamashita, R., Mizukawa, K., Saha, M., Kwan, C., Moore, C., Gray, H., Laursen, D., Zettler, E., Farrington, J., Reddy, C., Peacock, E. & Ward, M. (2011). Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Marine Pollution Bulletin* 62: 1683-1692
- Hoffmann, D. (2014). *El impacto de hollín en los glaciares bolivianos*.
- Huanaco, R. (2019). *Diagnóstico de la presencia de microplásticos en sedimentos laterales en la cuenca baja del Río Rímac*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., Bahl, A., Biemans, H., Bolch, T., Hyde, S., Brumby, S., Davies, B. J., Elmore, A. C., Emmer, A., Feng, M., Fernández, A., Haritashya, U., Kargel, J. S., Koppes, M., Kraaijenbrink, P. D. A., Kulkarni, A. v., Mayewski, P. A., ... Baillie, J. E. M. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577(7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>
- INAIGEM. (2018). *Inventario Nacional de Glaciares, Las Cordilleras Glaciares del Perú: Vol. Primera Edición* (Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, Ed.).
- Izaguirre, M. (2021). *Impactos del retroceso glaciar y disponibilidad hídrica en la subcuenca Lullán-Parón, cuenca del Río Santa*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Klein, S. (2015). *Microplastics in Freshwater Systems: Analysis, Occurrence, and Sorption of Organic Contaminants*.
- Koutnik, V. S., Leonard, J., Alkidim, S., DePrima, F. J., Ravi, S., Hoek, E. M. V., & Mohanty, S. K. (2021). Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: Global

- analysis and framework for transport modeling. In *Environmental Pollution* (Vol. 274). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116552>
- Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Caycho, T., Endara, S., Huerta, A., & Obando, O. (2016). PISCO: Peruvian interpolated data of the SENAMI's climatological and hydrological observations. Precipitación v1.0. Lima: SENAMHI.
- Ley N°30884. Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables. 18 de diciembre de 2018.
- Lee, M., Kim, H., Ryu, H. S., Moon, J., Khant, N. A., Yu, C., & Yu, J. H. (2022). Review on invasion of microplastic in our ecosystem and implications. *Science Progress*, 105(4), 1–23. <https://doi.org/10.1177/00368504221140766>
- Lino, L. (2022). *Microplástico en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu*. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- López, M. (2020). *Supervivencia de larvas de dos especies de escarabajos Tenebrio molitor y Dermestes sp. expuestas a dietas basadas en dos tipos de plásticos (polietileno y poliestireno)*.
- Manilla, J., & Martínez, S. (2008). Los polímeros y sus características. Instituto Politécnico Nacional. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/544>
- Manrique, R. (2019). *Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequepeque, Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Manrique, R. (2020). Microplastics: The huge problem of tiny plastic particles. *Revista de Química PUCP*, 34, 8–14. <http://revistas.pucp.edu.pe/quimica>.

- Marcus, E., Sherri M., Stiv W., Carolyn B., Ann, Z., William, E., Hannah, F., & Stephen, A. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1):177–182.
- MINAM (2017). «Cifras del mundo y el Perú». Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/menos-plasticomas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- More, C. J. (2008). Synthetic polymers in the marine environment, A rapidly increasing, long-term threat. *Environmental Research*, 108(2), 131-139.
- Padha, S., Kmar, R., Dhar, A., & Sharma, P. (2022). Microplastic pollution in mountain terrains and foothills: A review on source, extraction, and distribution of microplastics in remote areas. *Environmental Research*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112232>
- Paredes, J., Sanchez, A., Ordoñez, K., & Palo, M. (2019). *Caracterización de Microplásticos en los Recursos Hidrobiológicos del Lago Titicaca*.
- Parolini, M., de Felice, B., Lamonica, C., Cioccarelli, S., Crosta, A., Diolaiuti, G., Ortenzi, M. A., & Ambrosini, R. (2021). Macroplastics contamination on glaciers from Italian Central-Western Alps. *Environmental Advances*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100084>
- Perdomo, G. (2002). Plásticos y Medio Ambiente. *Iberoamericana Polímeros*, 3(2), 1–13.
- Plastics Europe (2012). *Plastics the Facts 2012: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste*. <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts2012.aspx?Page¼DOCUMENT&FolID¼2>

Plastics Europe (2018). Plásticos – Situación en 2017 Un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa. European Association of Plastics Recycling and Recovery Organisations.

Plastics Europe. (2022). *Plastics-the Facts 2022*.

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>

Ribas, Á. B. (2017). Los glaciares: un recurso educativo dentro y fuera del aula. *Ciencias de La Tierra*, 25(1), 88–94. <https://www.researchgate.net/publication/329034391>

Rivera Mantilla, H. (2005). Geología General. Lima.

Rochman, C., Manzano, C., Hentschel, B. T., Simonich, S. & Hoh, E. (2013). Polystyrene Plastic: A Source and Sink for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment. *Environ. Sci. Technol*, 47 (24), 13976–13984

Rojas, L. (03 de enero de 2022). ¿Cuál es la situación del plástico de un solo uso? *Gestión*. <https://gestion.pe/blog/te-lo-cuento-facil/2022/01/cual-es-la-situacion-del-plastico-de-un-solo-uso.html/?ref=gesr>

Rowe, L., Kubalewski, M., Clark, R., Statza, E., Goynes, T., Leach, K., & Peller, J. (2019). Detecting Microplastics in Soil and Sediment in an Undergraduate Environmental Chemistry Laboratory Experiment That Promotes Skill Building and Encourages Environmental Awareness. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 323–328. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00392>

- Ruelas, S., De Haz, Y., & Parra, M. (2020). La comunicación sobre el impacto medioambiental de la acumulación de desechos tóxicos en la isla de basura. 2do Congreso Internacional Sobre Tierra y Derechos Humanos, 142–153.
- Ruíz, A., Zela, C., Pajuelo, M., Roldán, P., & Rodríguez, J. C. (2009). Desde la Basura, cambiando mentes y corazones. Lima: Ciudad Saludable.
- Sarria-Villa, R., & Gallo-Corredor, J. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Ciencia e Ingeniería*, 8(1), 21-27.
- Schoolmeester, T., Johansen, K.S., Alfthan, B., Baker, E., Hesping, M. & Verbist, K. (2018). Atlas de Glaciares y Aguas Andinos. El impacto del retroceso de los glaciares sobre los recursos hídricos. UNESCO y GIRD-Arendal
- Sosa, A. M. (2020). Los plásticos: materiales a la medida. *¿Cómo Ves?*, 22–25.
- Soto, M. (2016). *Producción per cápita de residuos sólidos domésticos según factores socioeconómicos de los habitantes del centro poblado Mina Rinconada Ananea, San Antonio de Putina, Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Stefánsson, H., Peternell, M., Konrad-Schmolke, M., Hannesdóttir, H., Ásbjörnsson, E. J., & Sturkell, E. (2021). Microplastics in glaciers: First results from the Vatnajökull ice cap. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084183>
- Tar buck, E. J. (2013). Ciencias de la Tierra. ISBN ebook: 9788490353837, 10ma edición
- Téllez, A. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá* [Instituto de Estudios Ambientales IDEA]. Universidad Nacional de Colombia.
- Téllez, V. (2019). *Contaminación por Microplásticos en la Zona Sur y Centro de las Costas de Quintana Roo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Thompson, R.C., (2004). Lost at Sea: where is all the plastic? *Science*.
<https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1094559>
- Torres, C., Bendezú, Y., Álvarez, D., Suárez-Salas, L., de La Cruz, A. H., Schmitt, C., Fuentes, W., & Caro, E. (2022). Characterization of trace elements and light absorbing particles (LAPs) at snow of Huaytapallana glacier (Perú). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 181–197. <https://doi.org/10.20937/RICA.54091>
- Van Melkebeke, M., Janssen, C. & De Meester, S. (2020). Characteristics and sinking behavior of typical microplastics including the potential effect of biofouling: implications for remediation. *Environ. Sci. Technol.* 54 (14). <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07378>
- Veettil, B., Pereira, S., Wang, S., Valente, P., Grondona, A., Rondón, A., ... & Simões, J. C. (2016). Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección. *Investigación Geográfica*, 36, 3-36.
- Vuille, M., Carey, M., Huggel, C., Buytaert, W., Rabatel, A., Jacobsen, D., Soruco, A., Villacis, M., Yarleque, C., Elison Timm, O., Condom, T., Salzmann, N., & Sicart, J. (2018). Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *EarthScience Reviews*, 176, 195–213.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.01>
- Waldschlaeger, K. & Schuettrumpf, H. (2019). Effects of particle properties on the settling and rise velocities of microplastics in freshwater under laboratory conditions. *Environ. Sci. Technol.* 53, 1958e1966. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06794>.
- Wang, Z., Zhang, Y., Kang, S., Yang, L., Luo, X., Chen, P., Guo, J., Hu, Z., Yang, C., Yang, Z., & Gao, T. (2022). Long range transport of atmospheric microplastics deposited onto glacier in southeast Tibetan Plateau. *Environmental Pollution*, 306.
<https://ssrn.com/abstract=4016963>

- Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., & Kolandhasamy, P. (2015). Microplastic Pollution in Table Salts from China. *Environmental Science and Technology*, 49(22), 13622–13627. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b03163>
- Yap, A. A. (2015). *Análisis multitemporal de glaciares y lagunas glaciares en la Cordillera Blanca e identificación de potenciales amenazas GLOFs*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., Allen, S., Luo, X., & Allen, D. (2021). Microplastics in glaciers of the Tibetan Plateau: Evidence for the long-range transport of microplastics. *Science of the Total Environment*, 758. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143634>
- Zhang, Y., Gao, T., Kang, S., Shi, H., Mai, L., Allen, D., & Allen, S. (2022). Current status and future perspectives of microplastic pollution in typical cryospheric regions. In *Earth-Science Reviews* (Vol. 226). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103924>

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES	INDICADORES	METODO	ESTADÍSTICA
¿Existirá presencia de microplásticos debido a la contaminación por plásticos en los glaciares de montaña de la Rinconada del departamento de Puno?	Se evidenciará presencia de microplásticos en el glaciar de montaña que se ubica en la Rinconada, departamento de Puno.	Evaluar presencia de microplásticos en el glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, Cordillera de Apolobamba del departamento de Puno.	VARIABLE INDEPENDIENTE - Residuos sólidos, plásticos	- Toneladas de Residuos Sólidos (tn). - Densidad poblacional.	Para la detección de microplásticos en la zona de ablación: - Metodología de Thomson y coautores utilizado en la investigación de Azzoni y coautores. Para la detección de microplásticos en el sustrato: - Metodología especificada en la investigación de Rowe y coautores (Detecting microplastic in soil and sediment)	Para la determinación de la significancia de las variables se usará: - Estadística descriptiva. - Estadística inferencial: evaluación de supuestos. Prueba no paramétrica (Kruskal Wallis). Prueba paramétrica (Análisis de varianza)
PROBLEMAS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE - Microplásticos	- mp/m3 - mp/l - mp/kg		
1. ¿Cuál es la cantidad de microplásticos presentes en la zona de ablación y el sustrato encontrado en el glaciar de montaña de Ananea la Rinconada?	1. La cantidad de microplásticos encontrados en la zona de ablación y sustrato en el glaciar de montaña que se ubica en la Rinconada será significativo.	1. Determinar la cantidad de microplásticos presente en la zona de ablación y el sustrato del glaciar de montaña ubicado en la Rinconada, departamento de Puno.				
2. ¿Cuáles son las características físicas de los microplásticos encontrados en el glaciar de montaña de Ananea la Rinconada?	2. Las características físicas de los microplásticos encontrados serán conforme a la zona de estudio y sus alrededores.	2. Caracterizar los microplásticos encontrados a través de sus propiedades físicas en el glaciar de montaña que se ubica en la Rinconada, departamento de Puno.				

ANEXO 02: REGISTRO FOTOGRÁFICO TRABAJO EN LABORATORIO, ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA LA EXTRACCIÓN DE MICROPLÁSTICOS



Figura 29: Llegada de muestras al laboratorio de la UPSC



Figura 30: Preparación de solución de alta densidad con NaCl, para la separación de MP de las muestras de la zona de ablación



Figura 31: Medición de la densidad de la solución de NaCl



Figura 32: Muestras dejadas en reposo con la solución de NaCl para la separación por densidad



Figura 33: Separación de MP por bomba al vacío y papel filtro de las muestras en reposo



Figura 34: Muestra en blanco procesada simultáneamente con las muestras de la zona de ablación y observación preliminar de los MPs a través de un estereoscopio



Figura 35: Muestra de sustrato y tratamiento a través de horno para el secado



Figura 36: Separación por granulometría a través de tamices de sustrato zona de ablación

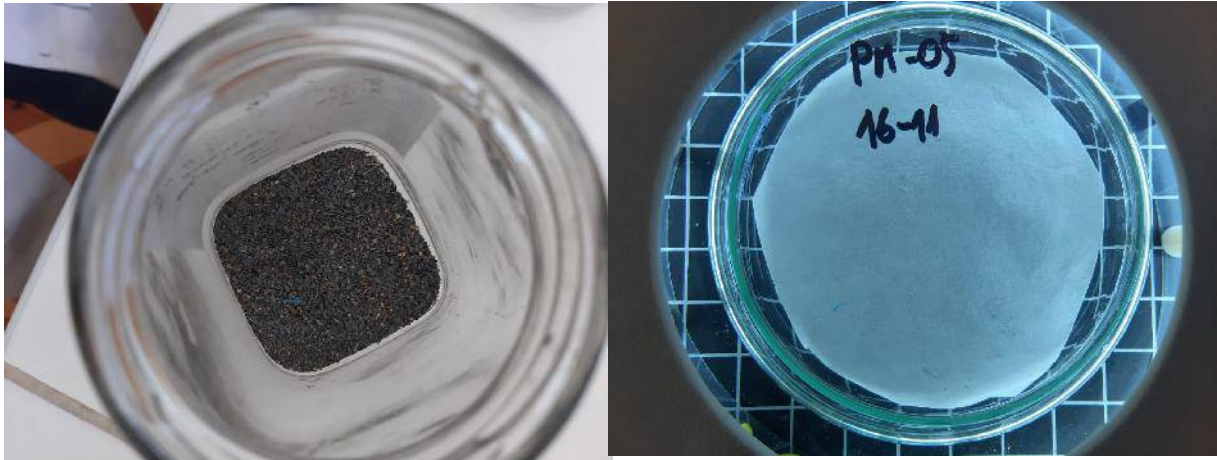
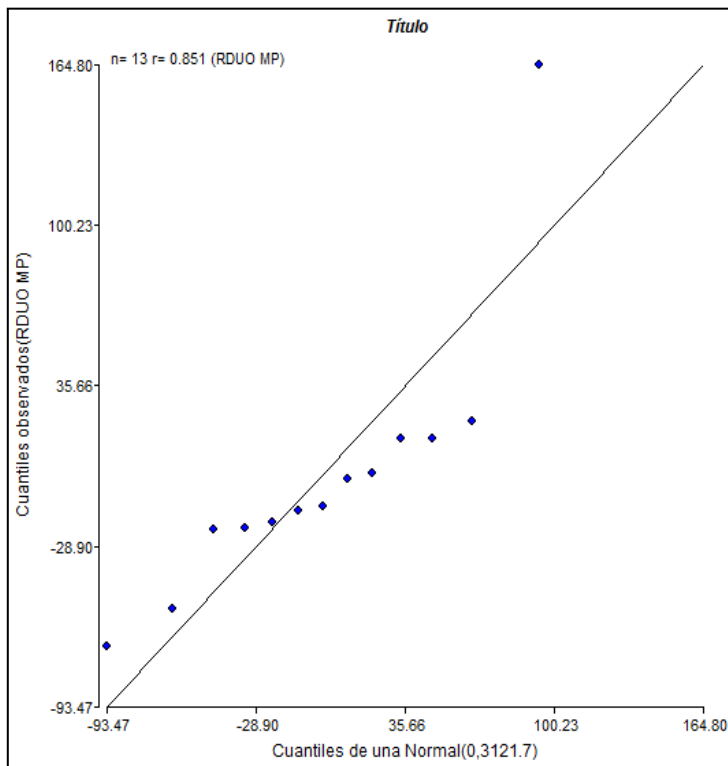
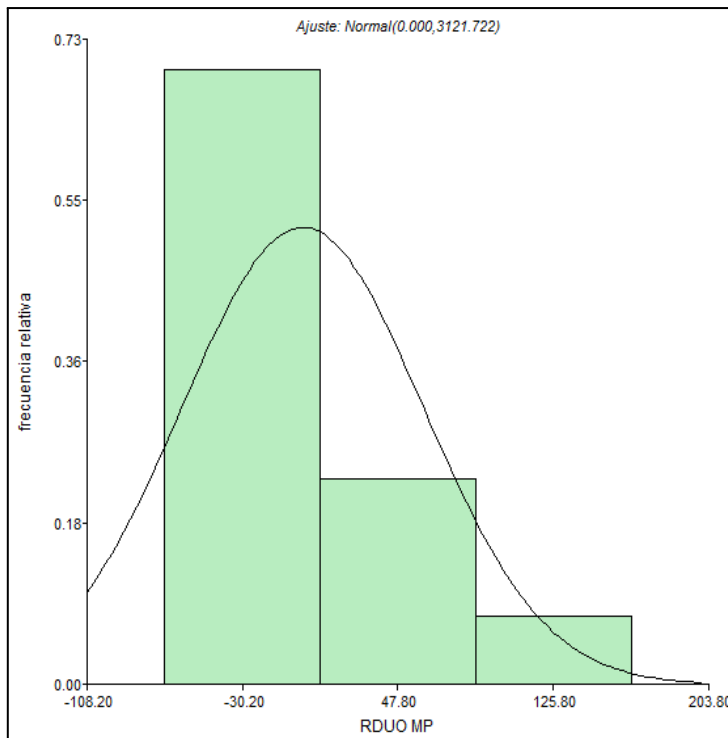


Figura 37: Muestra en reposo de sustrato sometida a la separación por densidades y primeras observaciones



Figura 38: Observación y medición de los MPs hallados en cada una de las muestras extraídas de la zona de ablación de la Cordillera de Apolobamba, la Rinconada

**ANEXO 03: PRUEBA NO FORMAL PARA EVALUAR LA DISPERSIÓN DE LOS DATOS
OBTENIDOS DE MICROPLÁSTICO, INFOSTAT**



ANEXO 04: PRUEBA FORMAL SHAPIRO-WILKS, INFOSTAT

Nueva tabla_1 : 19/01/2023 - 19:11:56 - [Versión : 30/04/2020]

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO MP	13	0.00	55.87	0.79	0.0050

ANEXO 05: PRUEBA DE SUPUESTOS, INFOSTAT

Nueva tabla_1 : 19/01/2023 - 18:52:20 - [Versión : 30/04/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
MP	13	0.46	0.35	67.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31868.10	2	15934.05	4.25	0.0461
Análisis	31868.10	2	15934.05	4.25	0.0461
Error	37460.67	10	3746.07		
Total	69328.77	12			

ANEXO 06: PRUEBA DE KRUSKALL WALLIS, INFOTAT

Nueva tabla_1 : 19/01/2023 - 18:57:31 - [Versión : 30/04/2020]

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Análisis	N	Medias	D.E.	Medianas	C	H	p
MP	Criocanita	5	153.20	94.53	131.00	1.00	8.79	0.0025
MP	Nieve	5	48.60	18.34	49.00			
MP	Sustrato	3	56.67	13.58	55.00			

Trat.	Medianas	Ranks	
Nieve	49.00	4.00	A
Sustrato	55.00	5.33	A
Criocanita	131.00	11.00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 07: ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA DE MICROSCOPIO

	0.3MP CMOS	1.3MP CMOS	3.0MP CMOS	5.0MP CMOS	10.0MP CMOS
Sensor manufacturer	OV	Micron	Micron	Micron	Micron
Sensor format	1/4"	1/3"	1/2"	1/2.5"	1/2.3"
Pixel size	6µm X 6µm	3.6µm X 3.6µm	3.2µm X 3.2µm	2.2µm X 2.2µm	1.67µm X 1.67µm
Resolution	640H X 480V	1280H X 1024V	2048H X 1536V	2592H x 1944V	3856H x 2764V
Filter	RGB Bayer Pattern	RGB Bayer Pattern	RGB Bayer Pattern	RGB Bayer Pattern	RGB Bayer Pattern
Lens mount	C-mount, include adapter ring	C-mount, include adapter ring	C-mount, include adapter ring	C-mount, include adapter ring	C-mount, include adapter ring
Max Frame rate	30fps(640*480)	15fps(1280*1024) 30fps(640*480)	11fps(2048*1536) 30fps(640*480)	8fps(2592*1944) 30fps(640*480)	3fps(3856*2764) 25fps(1280*1024)
Output RGB	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit
Exposure control	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual
Exposure time	1ms-0.3S	1ms-0.3S	1ms-0.3S	1ms-0.3S	1ms-0.3S
White balance	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual	Auto/Manual
Scan mode	Progressive	Progressive	Progressive	Progressive	Progressive
Sensitivity	3.0V/Lux-sec(550nm)	1.0V/Lux-sec(550nm)	1.0V/Lux-sec(550nm)	0.53V/Luxsec(550nm)	0.44V/Luxsec(550nm)
S/N Ratio	44dB	44dB	43dB	40.5dB	40.5dB
Dynamic Range	>60dB	>71dB	>61dB	>60dB	>63dB
Control	Image size, bright,gain, expousre time, RGB	Image size, bright,gain, expousre time, RGB	Image size, bright,gain, expousre time, RGB	Image size, bright,gain, expousre time, RGB	Image size, bright,gain, expousre time, RGB
interface	USB2.0/480Mb/s	USB2.0/480Mb/s	USB2.0/480Mb/s	USB2.0/480Mb/s	USB2.0/480Mb/s
USB cable	1.8M	2M	2M	2M	1.8M
Power supply	USB2.0	USB2.0	USB2.0	USB2.0	USB2.0
Operating Temperature	0-60°C	0-60°C	0-60°C	0-60°C	0-60°C
Humidity	45%-85%	45%-85%	45%-85%	45%-85%	45%-85%
Storage temperature	-20-70°C	-20-70°C	-20-70°C	-20-70°C	-20-70°C

ANEXO 08: INFORME DE ENSAYO DEL LABORATORIO UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS PUNO
INFORME DE ENSAYO N°01-2022

HOJA DE DATOS

Solicitante : BRAYAN HANTHONY LEÓN APAZA
 Atención : BRAYAN HANTHONY LEÓN APAZA
 Proyecto : Tesis "EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LOS GLACIARES DE MONTAÑA DE LA RINCONADA – DEPARTAMENTO DE PUNO, 2021"
 Número de muestras : 13
 Toma de muestras : Realizadas por Tesista
 Descripción muestras : 13 frascos de vidrio de 400 ml
 Registro de muestreo : 13 de noviembre de 2022
 Fecha de recepción : 14 de noviembre de 2022
 Fecha de ensayo : 14 de noviembre de 2022
 Fecha de emisión : 28 de noviembre de 2022

Nombre de la Muestra	Tipo de Muestra	Lugar de Muestreo	Coordenadas UTM Este/Norte	Fecha de Muestreo	Hora de Inicio de Muestreo
PM-01	Nieve con crioconita	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452881 8383721,6	13/11/2022	12:27 pm
PM-02	Nieve con crioconita	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452900,7 8383772,7	13/11/2022	12:38 pm
PM-03	Sustrato	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452761,6 8383664,7	13/11/2022	12:53 pm
PM-04	Sustrato	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452790,7 8383793,7	13/11/2022	01:05 pm
PM-05	Nieve	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452795,4 8383852,5	13/11/2022	01:14 pm
PM-06	Nieve	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452707,9 8383871,7	13/11/2022	01:22 pm
PM-07	Nieve	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452616,5 8383953,6	13/11/2022	02:02 pm
PM-08	Nieve	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452571,8 8383912	13/11/2022	02:19 pm

Jr. CONDE DE LEMOS 128, PUNO-PERÚ

PM-09	Nieve	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452535,1 8383882	13/11/2022	02:37 pm
PM-10	Nieve con crioconita	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452609 8383813,6	13/11/2022	02:49 pm
PM-11	Nieve con crioconita	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452517,7 8383783,5	13/11/2022	02:57 pm
PM-12	Nieve con crioconita	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452582,1 8383694,7	13/11/2022	03:24 pm
PM-13	Sustrato	CP Rinconada/ Ananea/ Puno	452660,7 8383666,9	13/11/2022	03:34 pm



Beatrix
Beatrix Humoza Vilca
ING. QUÍMICO
CP. 14401

Jr. CONDE DE LEMOS 128, PUNO-PERÚ

LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS PUNO

INFORME DE ENSAYO N°01-2022

HOJA DE RESULTADOS DE MICROPLÁSTICO

28 de noviembre de 2022

TIPO DE MUESTRA	NOMBRE DE LA MUESTRA	ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Nieve Superficial	PM-05	Densimetría	Ítems	27
	PM-06	Densimetría	Ítems	49
	PM-07	Densimetría	Ítems	63
	PM-08	Densimetría	Ítems	34
	PM-09	Densimetría	Ítems	70
Crioconita	PM-01	Densimetría	Ítems	318
	PM-02	Densimetría	Ítems	131
	PM-10	Densimetría	Ítems	134
	PM-11	Densimetría	Ítems	84
	PM-12	Densimetría	Ítems	99
Sustrato	PM-03	Gravimetría/ Densimetría	Ítems	55
	PM-04	Gravimetría/ Densimetría	Ítems	71
	PM-13	Gravimetría/ Densimetría	Ítems	44

Métodos de referencias:

Densimetría: Ambrosini, R., Azzoni, R. S., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., & Parolini, M. (2019). First evidence of microplastic contamination in the supraglacial debris of an alpine glacier. *Environmental Pollution*, 253, 297–301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.005>

Gravimetría: Rowe, L., Kubalewski, M., Clark, R., Statza, E., Goynes, T., Leach, K., & Peller, J. (2019). Detecting Microplastics in Soil and Sediment in an Undergraduate Environmental Chemistry Laboratory Experiment That Promotes Skill Building and Encourages Environmental Awareness. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 323–328. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00392>


 Beatriz Huamra Vilca
 ING. QUÍMICO
 CIP. 144061

Jr. CONDE DE LEMOS 128, PUNO-PERÚ