



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN,
VINCULACIÓN Y POSGRADO**

DIRECCIÓN DE POSGRADO

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE:

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA AMBIENTAL CON MENCIÓN EN
RECURSOS HÍDRICOS**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA SUPERFICIAL
DEL RÍO SICALPA, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

AUTORA:

Ing. Verónica Consuelo Remache Morocho

TUTORA:

Dra. Anita Cecilia Ríos Rivera, PhD.

Riobamba – Ecuador

2025

Certificación del Tutor

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: “EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO SICALPA, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, ha sido elaborado por la Ing. Verónica Consuelo Remache Morocho, el mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutora. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti plagio institucional; por lo que certifico que se encuentra apto para su presentación y defensa respectiva.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad.

Riobamba, 29 de enero de 2025

Dra. Anita Cecilia Ríos Rivera, PhD.

TUTORA

Declaración de Autoría y Cesión de Derechos

Yo, Verónica Consuelo Remache Morocho, con número único de identificación 0604601922, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “EVALUACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DEL RÍO SICALPA, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO”, previo a la obtención del grado de Magíster en Ingeniería Ambiental con mención en Recursos Hídricos.

- Declaro que mi trabajo investigativo pertenece al patrimonio de la Universidad Nacional de Chimborazo de conformidad con lo establecido en el artículo 20 literal j) de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.
- Autorizo a la Universidad Nacional de Chimborazo que pueda hacer uso del referido trabajo de titulación y a difundirlo como estime conveniente por cualquier medio conocido, y para que sea integrado en formato digital al Sistema de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor, dando cumplimiento de esta manera a lo estipulado en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior LOES.

Riobamba, 29 de enero de 2025

Ing. Verónica Consuelo Remache Morocho

N.U.I. 0604601922

Agradecimiento

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a DIOS a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido mi mayor fuente de motivación. A mis padres, a mi amado esposo e hijo quienes son la base de mi formación personal y académica. A mis hermanos, por su compañía y aliento en los momentos más difíciles.

A toda la familia quienes con sus palabras de aliento y momentos de distracción que hicieron más llevadero este camino. Su apoyo ha sido invaluable y ha convertido esta etapa en una experiencia inolvidable.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. A cada uno de ustedes, mi gratitud eterna.

Verónica Consuelo Remache Morocho

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, que ha sido mi pilar en cada momento de duda y cansancio José y Josué Jhair Cuzco. A quienes creyeron en mí incluso cuando yo dudé. A cada sacrificio, cada desvelo y cada sueño que hoy comienza a hacerse realidad.

A mis amados padres Bolívar y María mis hermanos Marco y María Inés, mis sobrinos Daniel y Diego por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mis profesores, por compartir su conocimiento y guiarme en este camino. A toda la familia Cuzco Argos, Remache Morocho y Ñamo Remache, por su apoyo inquebrantable. Esta tesis es el fruto de su confianza en mí.

Verónica Consuelo Remache Morocho

SIGLAS Y ABREVIATURAS

Al:	Aluminio
at. %:	Porcentaje atómico
ATR:	Reflectancia total atenuada
Ba:	Bario
C:	Carbono
°C	Celsius
cps/eV:	Cuentas por segundo por electrón voltio
EDS:	Espectroscopía de rayos X por dispersión de energía
FTIR:	Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier
g	Gramos
gC/kg	Gramos de carbono/kilogramos
GEI	Gases de efecto invernadero
ICP-MS:	Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente
keV:	Kiloelectrones voltios
L	Litro
MPs:	Microplásticos
Mo	Molibdeno
NaF	Fluoruro de sodio
N	Nitrógeno
O:	Oxígeno
PC:	Policarbonato
PE:	Polietileno
PET:	Polietileno tereftalato
PP:	Polipropileno
PS:	Poliestireno
PU:	Poliuretano
PVC:	Policloruro de vinilo
SEM:	Microscopía electrónica de barrido
Si:	Silicio
TDS	Sólidos Totales Disueltos
Ti:	Titanio
wt. %:	Porcentaje en peso
XRF:	Fluorescencia de rayos X
Y	Itrio

Índice General

Certificación del Tutor	
Declaración de Autoría y Cesión de Derechos	
Agradecimiento	
Dedicatoria	
SIGLAS Y ABREVIATURAS	
Índice General	
Índice de Tablas	
Índice de Figuras	
Resumen	
Abstract	
Introducción	14
Capítulo 1 Generalidades	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Justificación de la investigación	16
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica	19
2.1 Antecedentes investigativos.....	19
2.2 Fundamentación legal	21
2.3 Normativa nacional.....	21
2.3.1 Constitución de la Republica del Ecuador (2008):	21
2.3.2 Código Orgánico del Ambiente (COA) (2017):	22
2.3.3 Ley de Gestión Ambiental (1999):	22
2.3.4 Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1108):	22
2.3.5 Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos:	22
2.3.6 Estrategia Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (2015-2030):.....	22
2.4 Fundamentación Teórica	22
2.4.1 Importancia del agua.....	22

2.4.2	Calidad del agua	23
2.4.3	Indicadores de calidad	23
2.4.4	Plástico y su producción	23
2.4.5	Microplásticos.....	24
2.4.6	Tipos de microplásticos	24
2.4.7	Técnicas de separación de microplásticos	26
2.4.8	Microplásticos y su efecto en la fauna.....	27
2.4.9	Microplásticos y su efecto en la salud humana	28
2.4.10	Microplásticos y su efecto en aguas	28
2.4.11	Contaminación del río Sicalpa.....	29
	Capítulo 3 Diseño Metodológico.....	30
3.1	Enfoque de la investigación.....	30
3.2	Diseño de la investigación	30
3.3	Área de estudio	30
3.4	Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos.....	31
3.5	Muestra	31
3.6	Identificación de microplásticos en laboratorio.....	32
3.7	Análisis de microscopia electrónica de barrido de microplásticos	33
3.8	Análisis estadístico	33
	Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados	34
4.1	Estaciones de muestreo.....	34
4.1.1	Punto de muestreo 1 y 2: Parte alta de la microcuenca Sicalpa.....	35
4.1.2	Punto 3 y 4: Parte media de la microcuenca Sicalpa	35
4.1.3	Punto 5 y 6: Parte baja de la microcuenca Sicalpa	37
4.2	Cantidad de microplásticos presentes en un volumen determinado de muestras de agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo.....	38
4.2.1	Comparación de microplásticos asociados al agua superficial de la microcuenca Sicalpa	39
4.3	Análisis de microplásticos presentes en el agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo	41
4.3.1	Morfología superficial y caracterización física de microplásticos	43
4.3.2	Caracterización química de microplásticos	45

4.4	Discusión de los Resultados	49
	Capítulo 5	51
	Conclusiones.....	51
	Recomendaciones.....	52
	Referencias Bibliográficas	53
	ANEXOS	59

Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones de muestreo.....	34
Tabla 2. Concentración de microplásticos en el agua superficial de la microcuenca Sicalpa	38
Tabla 3. Estadística descriptiva de la presencia de microplásticos en el agua superficial de la microcuenca Sicalpa	40
Tabla 4. Composición química elemental de las muestras de microplásticos: Partícula de fragmento.....	47
Tabla 5. Composición química elemental de las muestras de microplásticos: Partícula de fibra.....	48

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la Microcuenca Sicalpa	30
Figura 2. Recolección de muestras de agua.....	31
Figura 3. Muestreo de microplásticos	31
Figura 4. Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio	32
Figura 5. Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio	32
Figura 6. Identificación de tipo y forma de microplásticos.....	33
Figura 7. Estaciones de muestreo en la microcuenca Sicalpa	34
Figura 8. Estación de muestreo 1 y 2	35
Figura 9. Estación de muestreo 3 y 4	36
Figura 10. Estación de muestreo 5 y 6	38
Figura 11. Comparación de microplásticos en la microcuenca Sicalpa	41
Figura 12. Morfotipos de microplásticos identificados en agua superficial de la microcuenca Sicalpa	43
Figura 13. Micrografías SEM de microplásticos: a) partículas de fragmentos con un aumento de 50 X y b) partícula de fragmento con un aumento de 202 X.....	44
Figura 14. Micrografías SEM de microplásticos: a) distribución dispersa de partículas a 42 X y b) estructura detallada de fibra a 147 X.....	45
Figura 15. Análisis de composición molecular de microplásticos: Partícula de fragmento	46
Figura 16. Análisis de composición molecular de microplásticos: Partícula de fibra.....	48

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia de microplásticos en el agua superficial del río Sicalpa, ubicado en el cantón Colta, provincia de Chimborazo. Se establecieron seis puntos de muestreo estratégicamente distribuidos, teniendo en cuenta el uso del suelo y la accesibilidad. Las muestras de agua fueron recolectadas en recipientes plásticos y posteriormente transportadas al laboratorio para su análisis. Los resultados revelaron variaciones significativas en las concentraciones de microplásticos entre las diferentes zonas geográficas de la microcuenca. En la zona alta, los puntos P1 y P2 presentaron baja presencia de microplásticos, con P1 sin detecciones y P2 con concentraciones que oscilaron de 2 MPs/L a 1 MPs/L, lo que sugiere una menor influencia humana. En contraste, la zona media, representada por P4 y P5, mostró un aumento considerable en las concentraciones, que varían entre 9 y 14 MPs/L, atribuible a actividades humanas intensivas. En la zona baja, los puntos P5 y P6 registraron las concentraciones más altas, alcanzando hasta 32 MPs/L, lo que evidencia una acumulación de microplásticos debido al escurrimiento de desechos y el vertido de aguas residuales. La diversidad de microplásticos identificada, que incluye fragmentos de plástico degradado, microperlas y filamentos sintéticos, refleja la influencia de las actividades humanas en la región, resaltando la importancia de estrategias de conservación para mitigar los efectos antropogénicos en estos ecosistemas altoandinos. Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de implementar medidas de gestión de residuos para reducir la contaminación por microplásticos y proteger los ecosistemas acuáticos.

Palabras claves: agua superficial, contaminación, microplásticos, microcuenca Sicalpa.

Abstract

This research aims to evaluate microplastics' presence in the Sicalpa River's surface water, located in the Colta canton, province of Chimborazo. Six strategically distributed sampling points were established, taking into account land use and accessibility. The water samples were collected in plastic containers and subsequently transported to the laboratory for analysis. Results revealed significant variations in the concentrations of microplastics between the different geographical areas of the micro basin. In the upper area, points P1 and P2 presented a low presence of microplastics, with P1 without detections and P2 with concentrations that ranged from 2 MPs/L to 1 MPs/L, which suggests less human influence. In contrast, the middle zone, represented by P4 and P5, showed a considerable increase in concentrations, varying between 9 and 14 MPs/L, attributable to intensive human activities. In the lower area, points P5 and P6 recorded the highest concentrations, reaching up to 32 MPs/L, which shows an accumulation of microplastics due to waste runoff and wastewater discharge. The diversity of microplastics identified, which includes fragments of degraded plastic, microbeads, and synthetic filaments, reflects the influence of human activities in the region, highlighting the importance of conservation strategies to mitigate anthropogenic effects in these high Andean ecosystems. These findings underline the urgent need to implement waste management measures to reduce microplastic pollution and protect aquatic ecosystems.

Keywords: surface water, pollution, microplastics, Sicalpa micro basin.



firmado digitalmente por
GABRIELA MARIA DE
LA CRUZ FERNANDEZ

Reviewed by:

Msc. Gabriela de la Cruz Fernández

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0603467929

Introducción

El crecimiento exponencial de la producción y uso de plásticos en las últimas décadas ha provocado una crisis ambiental de gran magnitud. Uno de los desafíos más importantes derivados de la contaminación por plástico es la aparición de microplásticos en los cuerpos de agua que está generando cada vez más preocupación (Lacerot, Lozoya, & Teixeira de Mello, 2020). Los microplásticos son pequeñas partículas que llegan a medir menos de 5 milímetros y representan un riesgo significativo para los ecosistemas acuáticos y potencialmente, para la salud de las personas (Nogueira et al., 2024).

La magnitud de este problema se refleja en estudios que documentan la presencia de microplásticos en prácticamente todos los cuerpos de agua del planeta, desde ríos y lagos hasta los océanos más remotos. Este fenómeno trasciende fronteras, afectando tanto a regiones urbanas altamente industrializadas como a áreas rurales aparentemente aisladas. La capacidad de los microplásticos para transportarse a través del aire y el agua, así como su persistencia en el medio ambiente, plantea desafíos significativos para su evaluación y control (Apetogbor et al., 2023).

A nivel local, la evaluación de microplásticos en el agua se vuelve crucial para comprender la exposición de las comunidades a esta contaminación y sus posibles consecuencias. Los cuerpos de agua utilizados para riego y consumo humano pueden convertirse en fuentes de contaminación, afectando directamente la seguridad alimentaria y la salud de las poblaciones locales. Por lo tanto, una evaluación precisa de la presencia de microplásticos en los recursos hídricos locales se convierte en un elemento esencial para abordar esta problemática de manera efectiva (Bernal & Caruzo, 2023).

Los microplásticos representan amenazas sustanciales para los ecosistemas acuáticos. Estas partículas, al ser ingeridas por organismos acuáticos, pueden provocar efectos adversos en su salud y en las cadenas tróficas. Además, la capacidad de los microplásticos para adsorber contaminantes químicos en su superficie amplifica los riesgos para la fauna acuática y, en última instancia, para los consumidores finales, incluidos los seres humanos (Nogueira et al., 2024).

La evaluación de microplásticos en el agua debe considerar no solo la cantidad, sino también la diversidad de estas partículas y sus posibles efectos sinérgicos. Los métodos de muestreo y análisis deben ser capaces de identificar diferentes tipos de microplásticos y sus características específicas, ya que algunas partículas pueden tener propiedades más tóxicas o persistir más tiempo en el medio ambiente que otras (Abarca & Mejia, 2023; Khan et al., 2024).

A pesar del creciente reconocimiento de la importancia de evaluar los microplásticos en el agua, los desafíos metodológicos persisten. La diversidad de fuentes, tipos y tamaños de microplásticos requiere enfoques de muestreo y análisis adaptables y específicos para cada contexto. La estandarización de métodos de evaluación se convierte en un objetivo clave para comparar resultados entre estudios y comprender la verdadera magnitud del problema a nivel global (Bernal & Caruzo, 2023).

La evaluación de microplásticos en el agua se ha convertido en un campo multidisciplinario crucial que aborda cuestiones medioambientales, de salud y económicas. Esta investigación busca explorar los desafíos actuales, los avances en la tecnología de evaluación y la importancia de abordar este problema desde una perspectiva global y local. La comprensión integral de la presencia y los impactos de los microplásticos en el agua sienta las bases para la formulación de estrategias efectivas de gestión y mitigación.

El presente estudio tiene como objetivo principal determinar la presencia de microplásticos en el agua superficial del río Sicalpa, ubicado en el cantón Colta, provincia de Chimborazo, con el propósito de evaluar la salud ecológica de este ecosistema. Cabe destacar que este río ha experimentado un deterioro significativo debido a las actividades humanas irresponsables, como el vertido de residuos sólidos e industriales, la deficiente gestión de desechos sólidos y la escorrentía de aguas contaminadas hacia el cauce principal. Como consecuencia, el río ha perdido su belleza natural y biodiversidad, enfrentando una creciente contaminación derivada del inadecuado manejo de los desechos sólidos (Cumbal & Ordoñez, 2023; Salau & Soliz, 2023).

Por esta razón la presente investigación se centra en la detección y cuantificación de microplásticos en el agua, un campo de estudio crucial para comprender la magnitud del problema y desarrollar estrategias efectivas de mitigación. La necesidad de una evaluación rigurosa y estandarizada se vuelve evidente para abordar esta problemática desde sus raíces. Los resultados obtenidos son cruciales para anunciar la generación de políticas y acciones de conservación que garanticen la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región, promoviendo un equilibrio entre el desarrollo humano y la preservación del medio ambiente.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

La contaminación por microplásticos en los cuerpos de agua es un problema ambiental emergente que ha captado la atención de la comunidad científica a nivel global debido a sus implicaciones potenciales para los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Los microplásticos, definidos como partículas de plástico de menos de 5 mm de diámetro, pueden derivar de una amplia gama de fuentes, incluyendo la fragmentación de plásticos más grandes, productos cosméticos, textiles sintéticos y residuos industriales.

En la provincia de Chimborazo, el río Sicalpa, ubicado en el cantón Colta, ha experimentado un notable deterioro ambiental en los últimos años, atribuido en gran medida a las actividades antrópicas. Entre estas actividades destacan las descargas de aguas residuales, la deficiente gestión de desechos sólidos y la escorrentía de aguas contaminadas hacia el cauce principal del río.

Estos factores no solo han afectado la calidad del agua (Cumbal & Ordoñez, 2023), sino que también han provocado la pérdida de la biodiversidad y la belleza natural del río (Salau & Soliz, 2023), incrementando el riesgo de contaminación por microplásticos en este ecosistema.

El impacto de los microplásticos en los cuerpos de agua es alarmante, ya que estas partículas pueden ser ingeridas por organismos acuáticos, afectando su salud y alterando las cadenas tróficas. Dado que el río presenta un cierto grado de contaminación, resulto crucial realizar este estudio ya que permitió cuantificar y caracterizar la presencia de microplásticos en este cuerpo de agua. Con dicha evaluación se comprendió la magnitud del problema y permitió la formulación de estrategias efectivas para su mitigación.

El desarrollo de la presente investigación fue decisivo ya que permitió abordar una problemática que, si bien es global, tiene manifestaciones locales que requieren atención urgente. Los resultados obtenidos no solo contribuyeron a una mejor comprensión de la situación actual del río Sicalpa, sino que también sirvieron como base para el desarrollo de acciones concretas que promuevan la sostenibilidad del entorno natural, protegiendo la biodiversidad y garantizando la calidad del agua para las futuras generaciones.

1.2 Justificación de la investigación

La contaminación por microplásticos ha emergido como uno de los desafíos ambientales más significativos de nuestro tiempo, con impactos potencialmente devastadores en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. A nivel global, la presencia de microplásticos en cuerpos de agua ha sido ampliamente documentada, revelando su capacidad para desplazarse y persistir en el medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas marinos como de agua dulce. Sin embargo, en el contexto local, aún existe un vacío considerable de conocimiento sobre

la extensión y las consecuencias de este problema en ríos de regiones específicas, como el río Sicalpa, ubicado en el cantón Colta, provincia de Chimborazo.

El río Sicalpa, que históricamente ha sido un recurso vital para las comunidades locales, enfrenta un deterioro progresivo debido a diversas actividades antropogénicas, tales como el vertido de residuos sólidos e industriales, la inadecuada gestión de desechos plásticos y la escorrentía de aguas contaminadas. Estos factores no solo han contribuido a la degradación de la calidad del agua y la pérdida de biodiversidad, sino que también han aumentado la probabilidad de que los microplásticos se acumulen en este ecosistema. La falta de estudios específicos que evalúen la presencia de microplásticos en el río Sicalpa limita la capacidad de las autoridades y de la comunidad para entender y mitigar los riesgos asociados a esta forma de contaminación.

Realizar una evaluación detallada de los microplásticos en el agua superficial del río Sicalpa fue fundamental por varias razones. Esta investigación proporcionó datos científicos necesarios para comprender la magnitud del problema en un contexto local, lo que es esencial para el desarrollo de políticas públicas y estrategias de gestión ambiental que están alineadas con las necesidades específicas de la región. Los resultados del estudio contribuyeron a la protección de la salud pública, ya que los microplásticos no solo amenazan la biodiversidad acuática, sino que también pueden ingresar a la cadena alimentaria humana, con potenciales efectos adversos para la salud.

Además, la evaluación de microplásticos en el río Sicalpa permitió identificar fuentes de contaminación y patrones de dispersión, lo que es crucial para diseñar e implementar medidas de control y mitigación efectivas. Este conocimiento facilitará la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades locales, así como la sensibilización de la población sobre la importancia de la gestión adecuada de los desechos plásticos y la protección de los recursos hídricos.

Finalmente, este estudio tiene un valor científico y social, ya que aporta a la literatura existente sobre contaminación por microplásticos en cuerpos de agua de regiones andinas, un área geográfica que ha sido menos explorada en comparación con otras. Los hallazgos no solo benefician a la comunidad local, sino que también son utilizados como referencia en estudios futuros sobre microplásticos en otras regiones con características similares.

Este estudio respondió a la necesidad urgente de generar conocimiento sobre la presencia y efectos de los microplásticos en el río Sicalpa para proteger la salud del ecosistema y de las comunidades humanas que dependen de él. Además, se buscó contribuir al desarrollo de políticas y prácticas sostenibles para garantizar la conservación de los recursos hídricos en la provincia de Chimborazo, frente al creciente impacto de las actividades humanas y la contaminación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la presencia de microplásticos en el agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Cuantificar la cantidad de microplásticos presentes en un volumen determinado de muestras de agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo.
2. Analizar los tipos de microplásticos presentes en el agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo.

Capítulo 2

Estado del Arte y la Práctica

2.1 Antecedentes investigativos

Para describir los antecedentes de la investigación sobre la evaluación de microplásticos en el agua superficial del río Sicalpa, en el cantón Colta, provincia de Chimborazo, fue esencial analizar estudios previos desarrollados en la UNACH como en otras Instituciones de Educación Superior (IES). Estas investigaciones relacionadas con la evaluación de microplásticos ofrecieron una base sólida para comprender el panorama actual. Además, permitieron identificar vacíos de conocimiento y necesidades específicas, guiando el enfoque hacia la problemática de los microplásticos en las aguas superficiales de la región.

De acuerdo con Fuentes (2018), la preocupación por la contaminación por microplásticos ha ido en aumento a nivel mundial, impulsando una creciente cantidad de investigaciones que buscan comprender su impacto en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Sin embargo, en el contexto ecuatoriano, y más específicamente en la provincia de Chimborazo, la investigación sobre la presencia de microplásticos en aguas superficiales es aún incipiente, lo que genera la necesidad de compilar y analizar los antecedentes disponibles que contextualizan esta problemática

Desde el punto de vista de Chávez (2019), la presencia de microplásticos en el agua potable de Riobamba se relaciona con la degradación de tanques de reserva fabricados con polietileno de alta densidad (HDPE). El estudio evaluó tanques con más de cinco años de uso, realizando muestreos de 250 ml de agua. Las muestras se filtraron y analizaron utilizando microscopios y pigmento rosa de bengala para facilitar la identificación de partículas de microplásticos. Los resultados confirmaron la presencia de microplásticos en todas las muestras analizadas.

Castañeta et al., (2020) indica que los microplásticos se han convertido en un importante desafío ambiental debido a su persistencia y dispersión global, desde los océanos hasta zonas remotas como el Ártico. Su origen está relacionado con una gestión deficiente de residuos urbanos y malas prácticas industriales. Esta revisión aborda la formación, tipos, fuentes y consecuencias de los microplásticos, destacando su presencia en el medio ambiente y la salud humana. También se analiza la situación de los microplásticos en Sudamérica, contextualizando el problema a nivel regional.

A nivel global, la literatura científica ha demostrado que la contaminación por microplásticos en cuerpos de agua dulce puede tener consecuencias significativas en la salud de los ecosistemas. Investigaciones de Lacerot, Lozoya & De Mello (2020), han evidenciado que los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos acuáticos, alterando las cadenas tróficas y afectando la biodiversidad. En este sentido, es fundamental comprender que el río Sicalpa y otros cuerpos de agua en Chimborazo pueden estar experimentando efectos similares debido a la contaminación por microplásticos.

Los microplásticos, provenientes de la degradación de productos desechables, se transportan por aguas residuales y afectan a organismos acuáticos. Este estudio exploratorio y

experimental analizó la separación de microplásticos por densidad en aguas residuales de Riobamba utilizando reactivos como cloruro de zinc. Los resultados indicaron que el método con cloruro de zinc logró una eficacia del 87,22% y una retención de microplásticos del 63.49%, mejorando la eficiencia en la eliminación de estos contaminantes (Barros, 2021).

El aumento global en la fabricación de plásticos ha generado una creciente contaminación ambiental, especialmente en fuentes hídricas, donde los plásticos se degradan en micro partículas que ingresan a la cadena trófica. Este estudio detectó microplásticos en el agua potable de Cuenca y Azogues, utilizando técnicas como microscopía de fluorescencia invertida y espectroscopía FTIR. Los resultados revelaron que el 100% de las muestras analizadas contenían microplásticos, predominando fibras y fragmentos de PET, HDPE, LDPE, poliéster y polibutileno, sin diferencias significativas entre puntos de muestreo (Arevalo et al., 2023).

Estudios previos en Riobamba en 2018 indicaron un 19% de presencia de microplásticos en el agua potable. Este estudio exploratorio y analítico evaluó la influencia de incrustaciones calcáreas en las tuberías de agua potable sobre la retención de microplásticos. Mediante la filtración de muestras con colorante rosa de bengala y observación microscópica, se identificaron microplásticos en todas las redes de distribución, siendo la red de Piscin la de mayor concentración. Los resultados destacan la necesidad de analizar los efectos de estas partículas en la salud humana (Córdova, 2024).

La creciente fabricación de plástico ha generado contaminación ambiental, con partículas microscópicas que ingresan a las fuentes hídricas y afectan la cadena trófica. Este estudio en Cuenca, Ecuador, analizó 99 muestras de agua en diversas etapas del sistema de potabilización, detectando microplásticos en todas las muestras, principalmente fibras y fragmentos, con un promedio de 18,28 partículas por 250 ml. Los polímeros identificados incluyen PET, PEHD, PEBD, poliéster y polibutileno, sin diferencias significativas entre los puntos de muestreo (Orellana & Vivar, 2024).

La escasez de datos sobre microplásticos en aguas superficiales en Chimborazo subraya la urgencia de realizar estudios específicos en la región. Investigaciones en otras partes del mundo han demostrado que los microplásticos son ubicuos y están presentes en diversos ecosistemas, lo que indica que su detección en Chimborazo es una posibilidad real. Esto no solo es relevante para la conservación de la biodiversidad local, sino que también es crucial para la salud pública, dado que muchas comunidades dependen de estas fuentes de agua para su consumo y actividades agrícolas.

En resumen, los antecedentes investigativos sobre la presencia de microplásticos en aguas superficiales son limitados, pero sugieren una creciente preocupación por la contaminación plástica en la región. La necesidad de estudios específicos y exhaustivos que evalúen la presencia y el impacto de los microplásticos en el río Sicalpa y otras fuentes hídricas es urgente. Esta investigación no solo contribuirá al conocimiento científico sobre la problemática, sino que también permitirá desarrollar estrategias efectivas para mitigar los efectos de la contaminación plástica en el ecosistema y la salud de las comunidades locales.

2.2 Fundamentación legal

El derecho ambiental, en el marco de las ciencias jurídicas, es una de las ramas del derecho internacional más dinámicas y en desarrollo. Los convenios internacionales se están convirtiendo en fuentes cada vez más importantes para el derecho ambiental internacional y para el desarrollo de la legislación ambiental nacional. Actualmente, se han adoptado varios convenios internacionales en este campo. El programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) ha iniciado una nueva etapa en este proceso (ONU, 2014).

En 1987, el Consejo de Gobierno del PNUMA decidió presentar a la Asamblea General el informe denominado “Nuestro futuro común”, conocido como el informe Brundtland, y renovó la Carta Mundial sobre el Derecho a la Diversidad Biológica. Posteriormente, la Cumbre de la Tierra creó diversos instrumentos legales internacionales, como la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que estableció un marco legal y reglas efectivas. La Convención de las Naciones sobre el Cambio Climático, continuó progresando hasta la Cumbre del Clima celebrada en París en 2015.

En Ecuador, la constitución ecuatoriana, garantiza a la población un acceso seguro y constante al agua, así como un entorno sano y ecológicamente equilibrado. El neoconstitucionalismo del país demuestra cómo las demandas ancestrales de los pueblos indígenas fueron incorporadas a las constituciones y se crearon nuevos derechos. La constitución representa un marco favorable en términos de derechos y garantías constitucionales, al definir el recurso agua como un derecho humano fundamental e inalienable.

Para asegurar su efectividad, se destaca que el acceso al agua debe involucrar aspectos de calidad y cantidad. Además, el agua es reconocida como patrimonio nacional estratégico de uso público, irrenunciable, inalienable y esencial para la vida, lo que implica que el estado debe tomar el control y decidir sobre el destino de los recursos, considerando las necesidades de las comunidades y las generaciones presentes y futuras, de conformidad con los principios constitucionales de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia ambiental según la legislación ambiental (Sofía et al., 2020).

2.3 Normativa nacional

2.3.1 *Constitución de la Republica del Ecuador (2008):*

- **Artículo 14**

La constitución, reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

- **Artículo 15**

La constitución, establece que el Estado debe tomar medidas para evitar la contaminación ambiental. Prohíbe actividades que destruyan ecosistemas, lo cual se relaciona directamente con la necesidad de controlar y gestionar los residuos plásticos que pueden afectar la biodiversidad (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

- **El artículo 396**

Es fundamental para la gestión de residuos plásticos, ya que obliga al Estado a tomar medidas preventivas y correctivas para mitigar la contaminación ambiental, incluyendo la causada por plásticos. Además, establece sanciones para quienes causen daño ambiental (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.3.2 Código Orgánico del Ambiente (COA) (2017):

- **Gestión de residuos sólidos:** Establece disposiciones para la gestión integral de residuos sólidos, incluyendo la reducción, reutilización y reciclaje de plásticos (COA, 2017).
- **Protección de cuerpo de agua:** Incluye disposiciones para la protección de fuentes de agua y la prevención de la contaminación (COA, 2017).

2.3.3 Ley de Gestión Ambiental (1999):

- **Prevención y control de la contaminación:** Establece la responsabilidad del Estado y de las personas en la prevención de la contaminación del agua, aire y suelo (Ley de Gestión Ambiental, 2004).

2.3.4 Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1108):

- **Calidad del agua potable:** Establece los parámetros de calidad del agua potable en Ecuador. Aunque no menciona directamente los microplásticos, regula la presencia de contaminantes que puedan afectar la salud humana (INEN, 2020).

2.3.5 Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos No Peligrosos:

- **Gestión de residuos:** Aborda la gestión de residuos sólidos en Ecuador, promoviendo la reducción del uso de plásticos y el reciclaje (MAATE, 2019).

2.3.6 Estrategia Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (2015-2030):

- **Protección de ecosistemas:** Incluye medidas para la protección de ecosistemas acuáticos y la biodiversidad, que puede verse afectada por la contaminación plástica (MAATE, 2016).

2.4 Fundamentación Teórica

2.4.1 Importancia del agua

La importancia de las fuentes hídricas radica en que son un servicio indispensable para la vida, influyendo en aspectos culturales, sociales y ambientales. No solamente satisfacen necesidades humanas, sino que también se consideran un desarrollo humano fundamental. Todos los seres vivos requieren agua para prácticamente todas sus actividades, por lo que el cuidado de este recurso es crucial. Esta necesidad ha generado una problemática global, debido a factores como la disponibilidad y calidad de agua. Aunque el 70% del planeta este cubierto de agua, solo el 1% de esta es apta para el consumo humano (Guadarrama et al., 2016).

Aunque en la actualidad es una problemática significativa, es difícil encontrar las medidas adecuadas para manejarla de manera consciente y responsable. Sin embargo, es necesario hacerlo, ya que, aunque hoy es un desafío complicado, mañana será un beneficio que agradeceremos.

2.4.2 *Calidad del agua*

La Organización Mundial de la Salud define la calidad del agua como las características físicas, químicas y biológicas que determinan su estado. A nivel global, existe una creciente preocupación por el deterioro de esta calidad debido a diversos factores como el rápido crecimiento poblacional, la intensificación de actividades agrícolas e industriales y los impactos del cambio climático (Samboni et al., 2007). Estos fenómenos contribuyen al aumento de contaminantes y alteraciones en los ecosistemas acuáticos, destacando la necesidad de implementar estrategias de protección y manejo sostenible de los recursos hídricos (Calvo & Araya, 2018).

2.4.3 *Indicadores de calidad*

Garantizar una calidad del agua adecuada para el consumo humano es un requisito esencial que depende de diversos factores. Este proceso implica cumplir con niveles aceptables definidos por estándares que aseguren tanto la disponibilidad de los recursos hídricos como la salud de la población en un territorio determinado (González et al., 2012). La evaluación de la calidad del agua se lleva a cabo mediante el análisis de indicadores químicos, biológicos y físicos, los cuales permiten identificar posibles contaminantes, condiciones de potabilidad y riesgos asociados al consumo (Quishpi et al., 2018). Estos parámetros proporcionan una base para establecer medidas de gestión sostenible y garantizar el acceso a agua segura, fundamental para el bienestar y desarrollo humano (Márquez et al., 2023).

2.4.4 *Plástico y su producción*

Los plásticos son materiales derivados de compuestos orgánicos naturales como la celulosa, el petróleo, el gas natural, el carbón y la sal. Se clasifican en tres tipos principales: plásticos naturales, que provienen de sustancias moldeables de la naturaleza, como algunas resinas de árboles; plásticos semisintéticos, que resultan de modificar materiales naturales mediante su mezcla con otros compuestos; y plásticos sintéticos, fabricados al alterar estructuras moleculares de compuestos basados en carbono, principalmente petróleo crudo, gas natural o carbón. Estos materiales son esenciales en la industria debido a su versatilidad, pero también representan un desafío ambiental significativo (Morocho & Pozo, 2022).

La creciente producción y uso de plásticos representan una amenaza ambiental global, ya que estos materiales terminan contaminando prácticamente todos los ecosistemas del planeta. Los océanos, como receptores finales de grandes cantidades de desechos plásticos, sufren graves impactos. Estas partículas afectan la salud de los ecosistemas marinos, alterando las cadenas alimenticias y poniendo en riesgo la supervivencia de numerosas especies. Este problema no solo daña la biodiversidad marina, sino que también repercute en las comunidades humanas que dependen de estos recursos (Lacerot, Lozoya, & Teixeira de Mello, 2020).

Los plásticos de un solo uso, como bolsas, pajitas, cubiertos y envases desechables, son la principal categoría de consumo de este material, representando cerca de un tercio del plástico producido globalmente. Su diseño efímero, orientado al uso inmediato y descarte, intensifica

los problemas de contaminación al acumularse en vertederos, ecosistemas terrestres y marinos (Abarca & Mejia, 2023).

Estos plásticos, además, contienen aditivos químicos que optimizan su funcionalidad y estética, pero muchos resultan perjudiciales para la salud, generando altos costos sociales y subrayando la urgencia de adoptar soluciones sostenibles para su gestión. Además, existen numerosos aditivos cuya toxicidad aún no se comprende completamente. En términos de producción, China lidera con el 24% del total mundial, seguido de Japón y el resto de Asia con un 21% combinado, consolidando a Asia como la principal región productora. Europa y América del Norte representan juntas un 40%, destacando su relevancia en el mercado global (Abarca & Mejia, 2023).

2.4.5 Microplásticos

El término "microplásticos" fue introducido por Thompson et al. en 2004, no existe una definición universalmente aceptada. Sin embargo, una definición clara y estándar es fundamental para monitorear la contaminación, implementar políticas ambientales y establecer condiciones equitativas entre gobiernos e industrias. Esta definición debería incluir criterios específicos, como rangos de tamaño y características físicas, para proporcionar seguridad jurídica y facilitar su regulación y gestión efectiva (Napper et al., 2023).

Los microplásticos son partículas sintéticas o matrices poliméricas, de origen petroquímico o biológico, que tienen tamaños entre 1 μm y 5 mm y son insolubles en agua. Pueden clasificarse como primarios, cuando se fabrican deliberadamente en pequeñas dimensiones, o secundarios, cuando se generan por la fragmentación de plásticos más grandes debido a procesos de degradación física, química o biológica (Castañeta et al., 2020).

2.4.6 Tipos de microplásticos

Los microplásticos se clasifican en dos grupos principales: pequeños (menos de 1 mm de diámetro) y grandes (entre 1 y 5 mm), diferenciándose de los meso plásticos, que miden entre 5 mm y 2.5 cm. Estas partículas no solo son tóxicas para los organismos acuáticos, sino que también pueden actuar como transportadores de diversos contaminantes, representando un riesgo potencial para la salud humana (Morocho & Pozo, 2022).

La mayoría de los microplásticos tienen fuentes terrestres, como aguas residuales, residuos aplicados como compost y sistemas de riego agrícola. Cuando los microplásticos se acumulan en el suelo, pueden reducir la fertilidad y ser absorbidos por animales cercanos. Su movilidad depende del tamaño y tipo del plástico, así como de las características del suelo, lo que facilita su llegada a ríos y, finalmente, a los océanos. Esta dispersión subraya la necesidad de estrategias efectivas para mitigar su impacto ambiental y en la salud pública (Lino, 2022).

2.4.6.1 Microplásticos primarios

Los microplásticos primarios son aquellos que se producen deliberadamente en tamaños microscópicos, generalmente en forma de gránulos o microesferas. Estos se emplean en diversas aplicaciones industriales, como abrasivos para chorreado de arena, gránulos de preproducción plástica y en productos de cuidado personal, como exfoliantes o cremas. Una

vez utilizados, suelen perderse directamente a través del desagüe, llegando al medio ambiente en el mismo estado en que fueron sintetizados originalmente (Lino, 2022).

Dichos microplásticos tienen un alto potencial contaminante, ya que no se degradan fácilmente y se acumulan en ecosistemas terrestres y acuáticos. Su liberación no controlada representa un problema ambiental significativo, dado que estas partículas pueden ser ingeridas por organismos, ingresando así a la cadena trófica. La búsqueda de alternativas sostenibles y el control de su uso son esenciales para mitigar su impacto en el medio ambiente y la salud pública (Flores & Orozco, 2022).

Son aquellos que se fabrican intencionalmente con tamaños diminutos para usos específicos. Se encuentran principalmente en:

- **Pellets o nurdles:** Pequeños gránulos de plástico que sirven como materia prima para la fabricación de productos plásticos. Se pierden durante el transporte o la manipulación, terminando frecuentemente en el medio ambiente (Cifuentes, 2018).
- **Microesferas:** Presentes en productos cosméticos (exfoliantes, cremas) y productos de limpieza. Estas partículas suelen ser liberadas al medio acuático tras su uso y difícilmente se eliminan en plantas de tratamiento de aguas residuales (Souza et al., 2023).
- **Abrasivos industriales:** Microplásticos utilizados en procesos como el chorreado de arena para limpieza y acabado de superficies (Bernal & Caruzo, 2023).

2.4.6.2 Microplásticos secundarios

Los microplásticos secundarios son partículas que se originan a partir de la fragmentación de plásticos más grandes, como botellas, bolsas, redes o boyas de pesca, así como de fibras desprendidas durante el lavado de telas. Este proceso ocurre debido a la exposición a factores como la radiación ultravioleta (UV), altas temperaturas y la acción mecánica de las olas o el viento, que debilitan la estructura química del plástico, haciéndolo más propenso a romperse en partículas más pequeñas (Córdova, 2024).

En entornos marinos, las olas y la radiación solar son los principales agentes responsables de esta fragmentación, mientras que, en ambientes terrestres, la exposición directa al sol y las fluctuaciones de temperatura juegan un papel predominante. Los pequeños sistemas acuáticos, como estanques o ríos, suelen estar más expuestos a la radiación UV en comparación con grandes lagos o el mar abierto, aunque no poseen la misma capacidad de fragmentación que las costas marinas debido a la falta de turbulencia intensa (Araújo et al., 2023).

La formación de microplásticos secundarios no solo contamina diversos ecosistemas, sino que también facilita la incorporación de estas partículas en las cadenas alimenticias, lo que genera riesgos ecológicos y para la salud humana. Este proceso destaca la necesidad de minimizar la generación de desechos plásticos y promover el reciclaje adecuado para reducir su impacto ambiental (Orellana & Vivar, 2024).

Se forman por la degradación y fragmentación de plásticos de mayor tamaño, como macroplásticos (>200 mm) o mesoplásticos (5-200 mm), debido a procesos físicos, químicos y biológicos. Ejemplos incluyen:

- **Fragmentos:** Derivados de la descomposición de objetos plásticos como botellas, bolsas o redes de pesca, fragmentados por la acción de rayos UV, olas y cambios de temperatura.
- **Fibras plásticas:** Proviene principalmente del lavado de prendas sintéticas como poliéster o nylon. Estas fibras microscópicas ingresan al agua durante el ciclo de lavado, pasando a través de las plantas de tratamiento y alcanzando ecosistemas acuáticos.

2.4.6.3 Clasificación adicional según forma

- **Fragmentos irregulares:** Piezas angulares o desiguales de plásticos degradados. Surgen por roturas de objetos más grandes debido a la exposición al sol, las olas o la presión mecánica.
- **Fibras:** Filamentos delgados y largos que provienen del desgaste de textiles sintéticos y cuerdas de pesca.
- **Pellets o esferas:** Plásticos de formas redondeadas, empleados en la industria o como microesferas cosméticas.

2.4.7 Técnicas de separación de microplásticos

Existen diversas técnicas empleadas en laboratorio para separar microplásticos de las muestras, las cuales varían según el tipo de material y su procedencia. Estas metodologías permiten identificar y analizar con mayor precisión las partículas presentes. A continuación, se describen las principales técnicas y sus características clave:

2.4.7.1 Clasificación visual

Esta técnica consiste en observar las partículas bajo un microscopio o lupa, identificando manualmente los microplásticos según su forma, color y textura. Es útil para diferenciar visualmente los microplásticos de otros materiales, pero su efectividad puede verse limitada por partículas muy pequeñas o transparentes.

2.4.7.2 Filtración

Utiliza filtros con diferentes tamaños de poro para capturar partículas de microplásticos presentes en el agua u otras matrices líquidas. Es una técnica ampliamente usada en muestras de agua dulce, salada y efluentes industriales. Los filtros permiten separar partículas según su tamaño, siendo esenciales para etapas posteriores de análisis.

2.4.7.3 Tamizado

Similar a la filtración, pero aplicado a materiales sólidos o semisólidos. Los tamices de diferentes mallas permiten separar las partículas según sus dimensiones, facilitando la clasificación por rangos de tamaño específicos.

2.4.7.4 Separación por densidad

Consiste en sumergir las muestras en líquidos de densidad conocida (por ejemplo, agua salina o soluciones densas). Los microplásticos flotan en la superficie debido a su baja

densidad, mientras que otros materiales más pesados se hundieren, permitiendo una separación eficiente (Peláez et al., 2023).

2.4.7.5 Elutriación

Un método que emplea corrientes de aire o agua para separar partículas ligeras de las más pesadas. Es útil para muestras que contienen grandes cantidades de material orgánico o sedimentos, facilitando la concentración de microplásticos (Barros, 2021).

2.4.7.6 Flotación

Se basa en las propiedades de flotabilidad de los microplásticos. Utiliza líquidos con densidades ajustadas para lograr que las partículas plásticas floten, separándolas del material no plástico. Este método es particularmente efectivo para muestras complejas (Mora, 2022).

2.4.7.7 Digestión química

Implica el uso de reactivos químicos, como peróxido de hidrógeno o soluciones alcalinas, para disolver materia orgánica presente en las muestras, dejando únicamente las partículas de microplásticos. Es una técnica esencial cuando las partículas están mezcladas con materia biológica, como en sedimentos o tejidos de organismos (Morocho & Pozo, 2022).

2.4.7.8 Consideraciones importantes

La elección de la técnica depende del tipo de muestra, la matriz (agua, suelo, sedimento, etc.) y los objetivos del análisis. En muchos casos, es necesario combinar varias metodologías para obtener resultados más precisos. Además, estas técnicas no solo permiten separar los microplásticos, sino que también sientan las bases para análisis posteriores, como la identificación química mediante espectroscopía o microscopía avanzada (Castro & Guayllas, 2023).

Estas herramientas son esenciales en la investigación de la contaminación por microplásticos, proporcionando datos que permiten evaluar su impacto ambiental y diseñar estrategias para mitigar este problema global.

2.4.8 *Microplásticos y su efecto en la fauna*

Según estimaciones del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, se prevé que para el año 2050 la cantidad de plásticos en los océanos superará al número de peces, lo que desencadenará efectos devastadores en los ecosistemas marinos. La flora y fauna acuáticas enfrentan un alto riesgo debido a la acumulación e ingesta de microplásticos. Estas partículas no solo contaminan físicamente los hábitats, sino que también absorben sustancias químicas y toxinas presentes en el medio, tanto durante su fabricación como después de depositarse en los mares. Esto las convierte en elementos potencialmente tóxicos que alteran la salud y la capacidad reproductiva de los organismos marinos (Sáenz, 2020).

La ingestión de plásticos por parte de la fauna marina varía según el tipo de especie, el color y el tipo de polímero predominante en cada área. Estudios han identificado que las regiones más afectadas a nivel global son el Mediterráneo y el océano Pacífico, donde se registra el mayor consumo de microplásticos por especies marinas. Este fenómeno no solo pone en peligro la biodiversidad, sino que también tiene implicaciones para la cadena alimentaria y,

en última instancia, para la salud humana, ya que muchos de estos contaminantes pueden transferirse a los organismos superiores (Andrady, 2011).

La gravedad de esta situación subraya la urgencia de implementar políticas efectivas de reducción, reciclaje y manejo de plásticos, además de promover investigaciones que profundicen en el impacto de los microplásticos en los ecosistemas y desarrollen soluciones para mitigar su presencia en el medio ambiente (Pinchi, 2022).

2.4.9 *Microplásticos y su efecto en la salud humana*

El consumo de alimentos contaminados con microplásticos es considerado la principal vía de exposición para los seres humanos. Una vez ingeridos, estos plásticos alcanzan el sistema gastrointestinal, donde desencadenan una respuesta proinflamatoria y alteran el metabolismo de los microorganismos intestinales. Esta interacción puede tener efectos perjudiciales en la salud digestiva y general. Además, la inhalación de partículas de microplásticos también puede causar problemas respiratorios y otros trastornos, aunque los estudios actuales están profundizando para comprender mejor la magnitud de estos impactos (Abarca & Mejia, 2023).

Investigaciones en células humanas, roedores y especies acuáticas han demostrado que los microplásticos pueden atravesar la barrera intestinal y acceder al sistema linfático y circulatorio, lo que genera una exposición sistémica. Estas partículas pueden acumularse en órganos vitales como el hígado, los riñones y el cerebro, provocando potenciales daños a largo plazo. Las partículas más pequeñas son especialmente peligrosas, ya que pueden interactuar directamente con las capas de revestimiento de los pulmones o el intestino y, tras su absorción, desencadenar efectos tóxicos físicos, químicos y microbiológicos. Este proceso tiene el potencial de causar daños acumulativos irreversibles a lo largo del tiempo (Bollaín & Agulló, 2019).

Estos hallazgos subrayan la necesidad de establecer medidas preventivas para limitar la exposición humana a los microplásticos, mejorar la regulación sobre su uso y manejo, y promover la investigación que explore soluciones efectivas para mitigar sus impactos en la salud humana y el medio ambiente.

2.4.10 *Microplásticos y su efecto en aguas*

En 2017, un estudio identificó que 10 ríos eran responsables de entre el 88 % y el 95 % de los desechos plásticos transportados desde los ríos hacia los océanos. Sin embargo, no toda la contaminación plástica oceánica tiene su origen en los ríos. Una parte significativa proviene de residuos arrojados directamente al mar, basura abandonada en las playas y actividades pesqueras o marítimas (Bollaín & Agulló, 2019).

Además, los arroyos y cuerpos de agua de flujo lento desempeñan un papel clave en el transporte y acumulación de microplásticos. En estos entornos, hasta un 8 % de partículas de plástico por kilómetro terminan atrapadas en los sedimentos fluviales. Debido al bajo caudal, los microplásticos pueden permanecer acumulados en estos sedimentos por períodos prolongados, de hasta 7 años (Higuera, 2022).

Sin embargo, este equilibrio puede alterarse significativamente con eventos climáticos extremos, como tormentas o inundaciones, que están aumentando en intensidad y frecuencia debido al cambio climático. Estas condiciones extremas tienen el potencial de liberar

millones de fragmentos de microplásticos previamente depositados en los sedimentos fluviales, contribuyendo a la contaminación plástica de los océanos. Dado que los plásticos no se degradan de forma natural, permanecen en ecosistemas de agua dulce por largos períodos hasta ser arrastrados hacia corrientes mayores y, finalmente, a los océanos (Silva, 2023).

Este fenómeno evidencia la urgencia de mitigar la contaminación plástica a nivel terrestre y fortalecer las medidas de gestión y prevención en los ecosistemas fluviales para evitar que los microplásticos acumulados lleguen a los océanos.

2.4.11 Contaminación del río Sicalpa

La contaminación del agua superficial es un problema ambiental creciente que afecta la calidad de los recursos hídricos en diversas regiones. En el caso de la microcuenca del río Sicalpa, ubicada en el cantón Colta, se realizó un estudio detallado para evaluar el impacto de las actividades humanas en la calidad del agua. Este estudio fue realizado por Cumbal & Ordoñez, (2023), quienes emplearon una metodología integral basada en parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el fin de obtener una visión completa de la situación del agua en la microcuenca.

El estudio, llevado a cabo durante la temporada seca, identificó 24 puntos estratégicos de muestreo en los que se recolectaron muestras de agua para su análisis en el laboratorio ambiental de la UNACH. Los principales parámetros considerados fueron la temperatura, el pH, la turbidez, los sólidos disueltos totales, la demanda bioquímica de oxígeno, el oxígeno disuelto, los fosfatos, los nitratos y los coliformes fecales.

Los resultados revelaron que la calidad del agua en la microcuenca es "regular", según el Índice de Calidad del Agua (ICA), con valores que oscilaron entre 67,90 y 68,42. Esta clasificación pone en evidencia el impacto de las actividades humanas, especialmente en una microcuenca con características morfológicas de drenaje lento, típica del páramo de Návag. Entre las principales fuentes de contaminación se identificaron actividades antropogénicas que alteran negativamente los ecosistemas acuáticos, subrayando la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible para proteger estos recursos hídricos en un entorno altamente sensible.

Por su parte, Salau & Soliz, (2023) evaluaron la calidad del agua de la misma microcuenca empleando macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores y herramientas de información geográfica para establecer 12 estaciones de muestreo estratégicas. Durante cuatro meses de 2022, se recolectaron 5231 organismos pertenecientes a 12 órdenes y 32 familias, destacando Baetidae (35,90%), Chironomidae (13,44%) y Hyallelidae (10,30%).

El índice BMWP clasificó el agua como de calidad aceptable, aunque medianamente contaminada, mientras que el índice ABI determinó una calidad moderada, indicativa de aguas contaminadas. Este último índice fue considerado más adecuado, dado el rango altitudinal del área (3069 - 4121 m.s.n.m.), donde la altitud afecta la distribución de especies y exige criterios más estrictos de evaluación.

Los resultados vinculan la contaminación con los usos predominantes del suelo, como cultivos, pastizales y áreas urbanizadas, y destacan la importancia de controlar los impactos antropogénicos en estas zonas de alta altitud, donde la fragilidad de los ecosistemas requiere un monitoreo riguroso y enfoques adaptados.

3.4 Técnicas e instrumentos de muestreo y recolección de datos

Para seleccionar los puntos de muestreo, se utilizó los Sistemas de Información Geográfica, junto con visitas de reconocimiento en la zona de estudio. Se establecieron 6 puntos de muestreo, considerando el uso de suelo y la accesibilidad del área. Para el muestreo, se utilizó un recipiente de plástico con tapa con el cual se recolectó la muestra de agua en sentido contrario al flujo del agua. Una vez recolectadas las muestras, se colocaron en recipientes plásticos previamente etiquetados (Figura 2). Posteriormente, las muestras fueron transportadas en un cooler, hasta el laboratorio de servicios ambientales de la Unach, para su procesamiento e identificación de microplásticos (Sánchez & Guangasig, 2023). Además, se llenó un formulario para registrar las características de los puntos de muestreo, lo cual permitió identificar y organizar en detalle datos importantes.

Figura 2. Recolección de muestras de agua



3.5 Muestra

Se tomo en fracciones en cada uno de los puntos de la microcuenca, nacimiento, cauce medio y final. La muestra dependió del volumen necesario según la metodología propuesta por Leon et al., (2020) quienes indican de 2 litros por punto, siendo en total 10 litros de agua en la microcuenca (Figura 3).

Figura 3. Muestreo de microplásticos



3.6 Identificación de microplásticos en laboratorio

Para la identificación de los microplásticos se usó un estereomicroscopio Led con cámara digital incluida y el Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos (Figura 4).

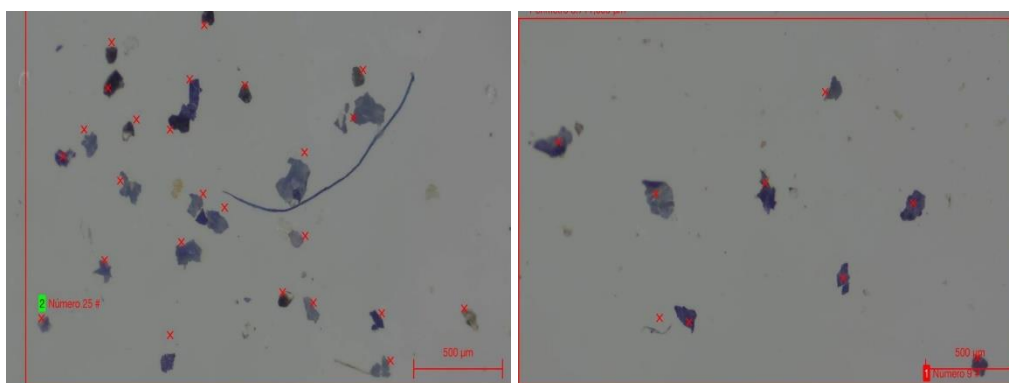
Figura 4. Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio



a. Determinación de la concentración de microplásticos mediante conteo

Para la determinación de la concentración de microplásticos mediante conteo, se utilizó la metodología propuesta por Leon et al., (2020) en el Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos (Figura 5). Siguiendo los procedimientos, se filtró un volumen determinado en un filtro, se dejó secar el filtro al ambiente, se señaló el filtro con un rotulo para identificar el filtro y dos puntos referenciales para la observación. Luego ordenadamente desde la parte superior de izquierda a derecha en zigzag, se procedió a contabilizar los microplásticos observados, esto en referencia a los detalles de observación de propuestos en el protocolo y posteriormente será enviado a un laboratorio para su identificación del tipo de polímero.

Figura 5. Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio

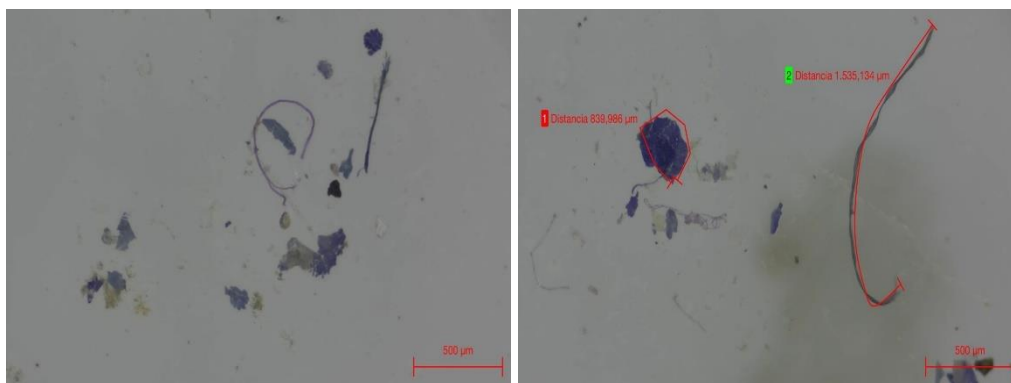


b. Determinación del tipo de forma y color

Para la determinación del tipo de forma y color de los microplásticos mediante identificación óptica, se utilizó la metodología propuesta por Leon et al., (2020) en el anexo 4 (guía de descarte y ayuda en la identificación) del protocolo para la planificación, muestreo, análisis

e identificación de microplásticos en ríos (Figura 6). Durante el procedimiento de determinación de concentración se procede a realizar anotaciones de los microplásticos contabilizados, teniendo en cuenta su forma (filamento, esfera, fragmento, esponja y película) y el color según los colores básicos (rojo, azul, verde, negro, blanco, amarillo, naranja, rosado, magenta y cian).

Figura 6. Identificación de tipo y forma de microplásticos



3.7 Análisis de microscopía electrónica de barrido de microplásticos

Para analizar las composiciones elementales de partículas finas de microplásticos, se empleó un microscopio electrónico de barrido (modelo VEGA3 SEM-EDX de Tescam, Alemania), que permite obtener imágenes con ampliaciones de 10x a 200x. Este equipo, en conjunto con el software Essence™ de TESCAN, facilita tanto la captura de datos morfológicos como el análisis elemental, convirtiéndolo en una herramienta eficiente para el estudio de materiales de rutina.

Las muestras de microplásticos fueron preparadas colocándolas en un porta muestras de aluminio y recubriéndolas con una capa de oro, lo que asegura la conductividad de la superficie para optimizar las imágenes obtenidas. Las observaciones se realizaron a un voltaje de aceleración de 5-10 kV, permitiendo visualizar características clave como la morfología, composición química, tamaño y distribución de las partículas recolectadas en la microcuenca del río Sicalpa. Este método ofrece un enfoque integral para evaluar las propiedades físicas y químicas de los microplásticos presentes en el entorno estudiado.

3.8 Análisis estadístico

Para comparar los resultados de la concentración de microplásticos, se empleó un diseño de bloque simple que identifica las fuentes de variabilidad, como el factor de tratamientos y el factor de bloque. En este diseño, se asignaron las concentraciones y los puntos de muestreo como bloques, lo que permitió evaluar su influencia. Tras la recopilación de los datos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre los puntos de muestreo (Escobar & Montoya, 2019).

Para llevar a cabo el análisis estadístico, se utilizó el software Minitab, que proporciona las herramientas necesarias para realizar el ANOVA.

Capítulo 4

Análisis y Discusión de los Resultados

4.1 Estaciones de muestreo

Para seleccionar los puntos de muestreo en la zona de estudio, se consideraron diferentes factores como la accesibilidad, altitud y actividades antrópicas. La identificación de estos puntos, se realizó mediante salidas de localización y reconocimiento, que permitieron determinar un total de 6 puntos de muestreo (Tabla 1).

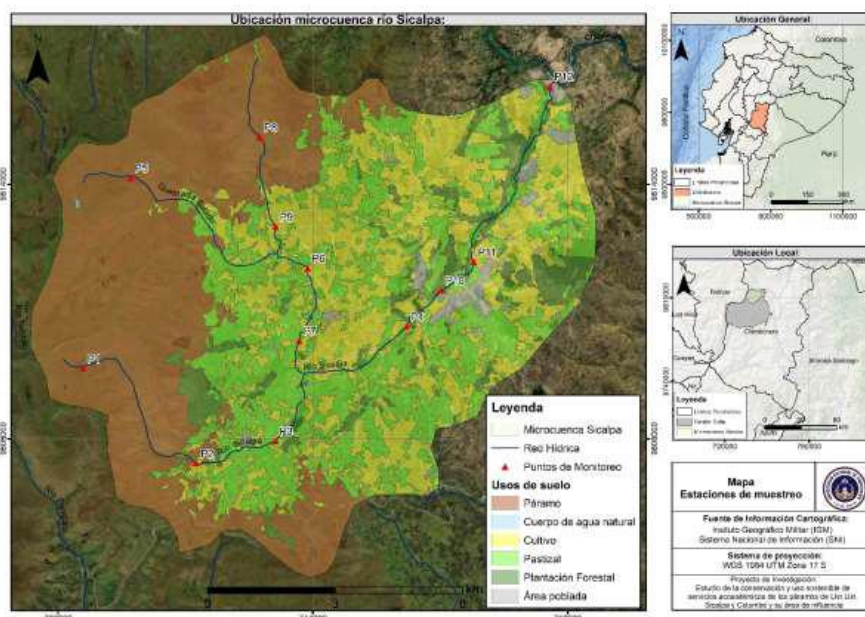
Tabla 1. Estaciones de muestreo

Partes de la microcuenca	Punto de muestreo	Descripción	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z
Zona alta	P1	Páramo Navag	738591	9809661	4121
	P2	Páramo Navag	741256	9807425	3602
Zona media	P4	Comunidad 20 de agosto	743877	9812026	3527
	P4	Comunidad 15 de agosto	743677	9810315	3417
Zona baja	P5	Salida de Cajabamba	747791	9812176	3202
	P6	Sector Cemento Chimborazo	749586	9816316	3069

En la microcuenca Sicalpa se identificaron tres usos de suelo: páramo, pasto y cultivo. Además, se observó la presencia de viviendas a lo largo de la microcuenca, lo cual podría influir en la existencia o ausencia de microplásticos.

En la Figura 7 se observa los puntos de muestreo seleccionados dentro de la microcuenca Sicalpa. Esta información se obtuvo mediante el uso de la herramienta GPS test, que proporciona las coordenadas X e Y en el sistema WGS UTM 84.

Figura 7. Estaciones de muestreo en la microcuenca Sicalpa



4.1.1 Punto de muestreo 1 y 2: Parte alta de la microcuenca Sicalpa

El punto de muestreo 1 y 2 se encuentra situado en la parte alta de la microcuenca Sicalpa, a una altitud de 4121 y 3602 m.s.n.m., respectivamente (Figura 8). Esta zona se caracteriza por presentar una cobertura vegetal de páramo, un ecosistema de alta montaña único y que juega un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico y en la conservación de la biodiversidad.

El páramo se distingue por su vegetación herbácea y suelos ricos en materia orgánica, lo que favorece la retención de agua y contribuye a la regulación hídrica en la microcuenca. Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica, el páramo es susceptible a la contaminación, por microplásticos que pueden ser transportados desde áreas urbanas o rurales a través de la escorrentía superficial. Es importante indicar que en la parte alta de la microcuenca existe una vía principal E35, por donde circulan vehículos como buses de transporte de pasajeros, transporte de carga pesada y vehículos livianos.

En este contexto, el muestreo en este sector fue vital para evaluar la calidad del agua, ya que la presencia de microplásticos en las aguas superficiales puede tener efectos adversos sobre los organismos acuáticos y el equilibrio del ecosistema. Al estar en una zona elevada, el punto de muestreo 1 también ofrece la oportunidad de investigar cómo los microplásticos, provenientes de actividades humanas a diferentes altitudes y distancias, pueden acumularse en este hábitat montano. Los procesos de erosión y escorrentía, exacerbados por el cambio climático y la actividad humana, pueden contribuir a la liberación de microplásticos en el agua, lo que resalta la necesidad de un monitoreo riguroso en este punto de muestreo.

Figura 8. Estación de muestreo 1 y 2



4.1.2 Punto 3 y 4: Parte media de la microcuenca Sicalpa

Los puntos de muestreo 3 y 4 se localizan en la zona media de la microcuenca Sicalpa, a altitudes de 3527 y 3417 m.s.n.m, respectivamente (Figura 9). Esta área es significativamente influenciada por actividades antropogénicas, ya que el uso del suelo está dominado por pastizales y áreas de cultivo, resultado directo de prácticas como la ganadería y la agricultura. Estas actividades alteran la estructura natural del ecosistema y aumentan el riesgo de contaminación, incluyendo la presencia de microplásticos en las aguas superficiales.

La agricultura y la ganadería, al modificar la cobertura vegetal natural y aumentar la erosión del suelo, facilitan el transporte de microplásticos hacia los cuerpos de agua. En esta zona media, las escorrentías provenientes de los campos de cultivo pueden arrastrar plásticos y microplásticos derivados de diversas fuentes, como envases, bolsas y utensilios utilizados en las actividades agrícolas. Además, los fertilizantes y pesticidas que contienen plásticos o microplásticos como aditivos también pueden llegar a las corrientes de agua, incrementando la carga de estas partículas contaminantes en el río.

La presencia de viviendas y un centro educativo en esta área también contribuye a la problemática. Los residuos plásticos domésticos y los desechos generados por la actividad humana cotidiana, como productos de cuidado personal y detergentes que contienen microplásticos, se introducen al sistema hídrico a través de aguas residuales mal gestionadas o filtraciones de basura mal dispuesta. Aunque las actividades humanas en la zona pueden parecer de baja intensidad en comparación con áreas urbanas, la acumulación paulatina de microplásticos provenientes de estas fuentes puede tener un impacto significativo en la calidad del agua.

El estudio en los puntos de muestreo 3 y 4 fue crucial para evaluar cómo las actividades humanas en la zona media de la microcuenca están contribuyendo a la contaminación por microplásticos. Esta información permitió comprender la relación entre el uso del suelo, las prácticas agrícolas y ganaderas, y la acumulación de microplásticos en el agua. Asimismo, ayudó a identificar qué actividades son las principales fuentes de estos contaminantes y cómo los flujos de agua superficial transportan estas partículas a lo largo de la microcuenca.

Figura 9. Estación de muestreo 3 y 4



Los microplásticos presentes en estas áreas no solo afectan negativamente a los organismos acuáticos, sino que también pueden incorporarse a la cadena alimentaria de la población local a través del uso del agua contaminada para riego y el consumo de productos agrícolas expuestos a estas partículas. Por lo tanto, la detección y cuantificación de microplásticos en estos puntos de muestreo son esenciales para desarrollar estrategias de gestión del territorio que minimicen la entrada de contaminantes plásticos al ecosistema acuático y protejan la salud de las comunidades humanas dependientes de estos recursos. Por consiguiente, estos estudios ayudarán a diseñar políticas de conservación y manejo sostenible de los recursos

hídricos, tomando en cuenta el papel crítico de las actividades antrópicas en la propagación de la contaminación por microplásticos.

4.1.3 Punto 5 y 6: Parte baja de la microcuenca Sicalpa

Los puntos de muestreo 5 y 6 se ubican en la parte baja de la microcuenca Sicalpa, a una altitud de 3202 y 3069 m.s.n.m., respectivamente (Figura 10). Esta zona está marcada por una intensa influencia de actividades antropogénicas, con predominancia de pastizales utilizados para la ganadería y la cría de porcinos en pequeños corrales. Estas actividades se desarrollan en las riberas del río, lo que aumenta significativamente el riesgo de contaminación del agua, especialmente por microplásticos derivados de diversas fuentes antropogénicas. Además, se observó un número considerable de viviendas, las cuales vierten sus aguas residuales directamente al cauce principal, agravando la problemática ambiental.

En este contexto, podemos dar a conocer que las actividades humanas contribuyen significativamente al incremento de la carga de microplásticos en las aguas superficiales del río. La ganadería y la cría de porcinos en corrales cercanos al río no solo contribuyen con residuos sólidos, sino que también favorecen la erosión del suelo, lo que facilita el arrastre de partículas de microplásticos hacia el agua a través de la escorrentía. Los plásticos utilizados en materiales de construcción, embalajes de alimentos para animales y productos de uso diario, al degradarse, liberan microplásticos que terminan contaminando el cauce.

Uno de los factores más críticos en la contaminación de estos puntos de muestreo es el vertido directo de aguas residuales domésticas al río. Las viviendas en esta zona, al no contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales adecuados, desechan sus aguas grises y negras directamente al cauce. Estas aguas contienen una mezcla de contaminantes, incluidos microplásticos provenientes de productos de higiene personal, detergentes, fibras sintéticas desprendidas en el lavado de ropa y otros residuos plásticos domésticos. La falta de sistemas de saneamiento agrava la acumulación de microplásticos en el agua lo que se ve reflejado en su calidad y la salud del ecosistema acuático.

El impacto acumulativo de estas actividades antropogénicas y el vertido de aguas residuales en la parte baja de la microcuenca es significativo. Los microplásticos no solo son transportados por la escorrentía superficial desde las áreas cercanas, sino que también pueden provenir de fuentes más lejanas a través del flujo del río, lo que implica que los puntos de muestreo 5 y 6 podrían recibir contaminantes plásticos de toda la cuenca. Este fenómeno crea una concentración de microplásticos que afecta gravemente la salud ecológica del río, especialmente en estas áreas más bajas, donde el agua actúa como receptor final de los desechos.

El estudio de estos puntos de muestreo es esencial para comprender cómo las actividades humanas están contribuyendo a la acumulación de microplásticos. La cría de animales y el vertido de aguas residuales no solo alteran la calidad del agua, sino que también representan una amenaza para las especies acuáticas que habitan en el río y los organismos que dependen de este recurso. Los microplásticos pueden ser ingeridos por organismos acuáticos, lo que provoca efectos adversos en la cadena trófica y la biodiversidad local.

Este estudio es crucial para el diseño de estrategias de mitigación que incluyan la implementación de sistemas de gestión de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales en la parte baja de la microcuenca. Asimismo, los resultados de la presente investigación, servirán de base para proponer soluciones que reduzcan la carga de microplásticos en el río, desde el control de las fuentes de contaminación hasta la adopción de prácticas agrícolas y ganaderas más sostenibles. Por otro lado, también la información generada ayudará a sensibilizar a las comunidades locales sobre los impactos negativos de verter sus aguas residuales en los cuerpos de agua, promoviendo la adopción de medidas de conservación que mejoren la calidad del agua en la cuenca.

Figura 10. Estación de muestreo 5 y 6



4.2 Cantidad de microplásticos presentes en un volumen determinado de muestras de agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo

La tabla 2 muestra la concentración de microplásticos en diferentes puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca Sicalpa, ubicada en el cantón Colta. Para facilitar la interpretación de los datos obtenidos, la zona de estudio se dividió en tres zonas: (a) alta; (b) media y (c) baja. En cada una de estas zonas se establecieron dos puntos de muestreo, y las muestras fueron recolectadas mensualmente durante un período de tres meses. Los resultados obtenidos permitieron observar la variabilidad temporal en las concentraciones de microplásticos presentes en el agua superficial de la microcuenca.

Tabla 2. Concentración de microplásticos en el agua superficial de la microcuenca Sicalpa

Partes de la microcuenca	Puntos de muestreo	Concentración (Unid. MPs/L)		
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
Zona alta	P1	0	0	0
	P2	2	1	1
Zona media	P4	9	10	14
	P4	11	9	12
Zona baja	P5	19	26	22
	P6	23	32	26

En la zona alta, los puntos de muestreo P1 y P2 se caracterizan por una baja o nula presencia de microplásticos. En el punto P1, no se detectaron microplásticos durante los tres muestreos realizados, lo que refleja el limitado impacto de actividades humanas en esta área. En cambio, en P2 se registraron concentraciones muy bajas: 2 MPs/L en el primer muestreo, disminuyendo a 1 MPs/L en los dos muestreos posteriores. Esto sugiere una leve influencia humana o el arrastre ocasional de partículas plásticas desde otras zonas.

En la zona media, representada por los puntos de muestreo P4 y P5, se evidencia un aumento considerable en las concentraciones de microplásticos. En P4, los valores oscilaron entre 9 y 14 MPs/L durante los tres muestreos, mientras que en P5 las concentraciones fueron similares, aunque ligeramente inferiores. Este incremento puede asociarse con actividades humanas más intensivas, como la agricultura y la ganadería, predominantes en esta región de la cuenca. Los residuos plásticos derivados de estas actividades, junto con el escurrimiento de aguas residuales, son probablemente las principales fuentes de microplásticos en esta área.

En la zona baja, los puntos de muestreo P5 y P6 registraron las concentraciones más altas de microplásticos, con un incremento significativo en comparación con las zonas alta y media. En P5, las concentraciones variaron entre 19 y 26 MPs/L, mientras que en P6 se alcanzaron los valores más elevados, con un máximo de 32 MPs/L en el segundo muestreo. Este aumento se atribuye a la acumulación de residuos arrastrados desde las zonas altas y medias, a la descarga directa de aguas residuales sin tratamiento adecuado y a las intensas actividades agrícolas y ganaderas cercanas al río.

La tendencia observada en los datos refleja una clara correlación entre la ubicación en la cuenca y las concentraciones de microplásticos. Las zonas más altas, menos alteradas por la actividad humana, presentan las concentraciones más bajas, mientras que, en las zonas medias y bajas, donde la intervención antropogénica es más evidente, las concentraciones aumentan significativamente. Esto sugiere que la principal fuente de microplásticos en la cuenca proviene de actividades humanas, como la agricultura, la ganadería y el vertido de aguas residuales, que intensifican la presencia de estas partículas en el agua a medida que el río fluye hacia las áreas más bajas.

El incremento en las concentraciones a lo largo de la cuenca resalta la importancia de implementar medidas de control y manejo de desechos, especialmente en las zonas media y baja, para reducir la contaminación por microplásticos y proteger tanto los ecosistemas acuáticos como la salud de las comunidades locales que dependen de estos recursos hídricos.

4.2.1 Comparación de microplásticos asociados al agua superficial de la microcuenca Sicalpa

La tabla 3 presentada muestra la estadística descriptiva de la concentración de microplásticos en el agua superficial de la microcuenca Sicalpa, clasificada en tres zonas: alta, media y baja. Esta información incluye el número de muestras (N), la media aritmética, el error estándar, la desviación estándar (SD), la varianza, el coeficiente de variación, y los valores mínimo y máximo observados en cada zona.

La zona alta de la microcuenca presenta una baja concentración promedio de microplásticos, con 0,67 MPs/L, lo cual es coherente con la menor influencia de actividades humanas en esta área, dominada por ecosistemas naturales como el páramo. La variabilidad en los datos es ligera, con un error estándar de 0,33, una desviación estándar de 0,82 y una varianza de

0,67, lo que indica una dispersión relativamente baja y consistencia en las concentraciones. A pesar de la baja media, el coeficiente de variación es elevado (122,47%), reflejando fluctuaciones considerables en los valores relativos. Las concentraciones de microplásticos varían entre 0 y 2 MPs/L, reafirmando la baja contaminación en esta zona.

En la zona media de la microcuenca, la concentración promedio de microplásticos aumenta considerablemente a 10,83 MPs/L, debido a la mayor exposición a actividades humanas como la agricultura y la ganadería. La dispersión de los datos es moderada, con un error estándar de 0,79, una desviación estándar de 1,94 y una varianza de 3,77 lo que refleja fluctuaciones moderadas en las concentraciones de microplásticos. El coeficiente de variación, de 17,91%, sugiere una distribución relativamente estable en comparación con la media, y las concentraciones varían entre 9 y 14 MPs/L, mostrando una mayor consistencia en la contaminación.

La zona baja de la microcuenca presenta la mayor concentración de microplásticos, con un promedio de 24,67 MPs/L, debido a la acumulación de desechos a lo largo del río y al impacto de las actividades humanas, como el vertido de aguas residuales. El error estándar de 1,82 refleja una mayor dispersión de los datos, aunque dentro de un margen razonable. Con una desviación estándar de 4,46 y una varianza de 19,87, se observa una mayor variabilidad en las concentraciones, vinculada a la diversidad de fuentes de contaminación. El coeficiente de variación es de 18,07%, indicando una variabilidad moderada, con concentraciones que oscilan entre 19 y 32 MPs/L, lo que denota una heterogeneidad significativa en los niveles de contaminación.

Tabla 3. Estadística descriptiva de la presencia de microplásticos en el agua superficial de la microcuenca Sicalpa

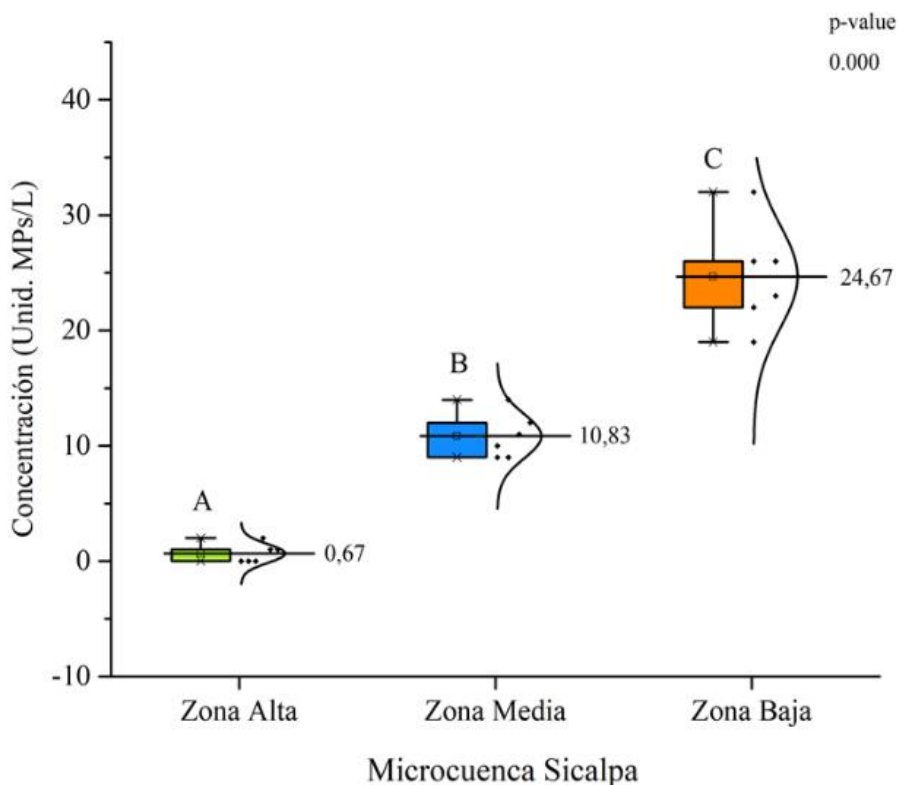
Partes de la microcuenca	N	Media	Error estándar \bar{X}	SD	Varianza	Coef Var	Mínimo	Máximo
Zona Alta	6	0,67	0,33	0,82	0,67	122,47	0,00	2,00
Zona Media	6	10,83	0,79	1,94	3,77	17,91	9,00	14,00
Zona Baja	6	24,67	1,82	4,46	19,87	18,07	19,00	32,00

La figura 11 presenta la concentración de microplásticos (MPs/L) en las tres zonas de la microcuenca Sicalpa (alta, media y baja), representadas mediante gráficos de caja (boxplots). Estos permiten visualizar la dispersión de los datos, la mediana, los cuartiles y posibles valores atípicos.

En esta figura se observa claramente un aumento significativo en la concentración de microplásticos conforme se desciende en la microcuenca, siendo la zona baja la que presenta los valores más elevados. El valor p de 0,000 indica una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de microplásticos en las tres zonas, lo que sugiere que las actividades humanas y las condiciones locales influyen de manera diferenciada en la contaminación por microplásticos.

Este patrón de distribución escalonado es coherente con el hecho de que las áreas más bajas suelen recibir los desechos acumulados de las zonas superiores, además de enfrentar fuentes directas de contaminación. Actividades como la ganadería, agricultura y el vertido de aguas residuales son las principales fuentes de microplásticos, lo que resalta la necesidad urgente de implementar medidas de gestión y control en las zonas media y baja para mitigar la contaminación.

Figura 11. Comparación de microplásticos en la microcuenca Sicalpa



4.3 Análisis de microplásticos presentes en el agua superficial del río Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo

La figura 12 presenta diversas imágenes de partículas de microplásticos clasificadas en fragmentos, filamentos y partículas esféricas, observadas mediante un estereomicroscopio. En la imagen (a), se distingue una combinación de fibras delgadas y fragmentos irregulares de color azul distribuidos por todo el campo visual. Las fibras presentan una forma alargada y sinuosa, mientras que los fragmentos exhiben bordes definidos, lo que resalta la diversidad morfológica de estos microplásticos.

Los fragmentos observados corresponden a piezas quebradas o desgastadas de plásticos más grandes, típicamente generados por la degradación de productos plásticos comunes. En esta imagen, se identifican fragmentos en tonos azul y marrón, que probablemente provienen de fuentes como empaques, botellas o envolturas plásticas, evidenciando su origen antropogénico y su posible impacto en los ecosistemas acuáticos.

La imagen (b) Predomina una fibra azul, alargada y flexible, que destaca por su longitud considerable en comparación con los fragmentos circundantes. En esta imagen, se mide la longitud de la fibra (963,37 μm), indicando su predominio como microplásticos de origen antropogénico.

Imagen (c): Se resalta un fragmento azul de bordes bien definidos, cuya longitud se determinó mediante mediciones precisas (309,57 μm). Este fragmento presenta una forma irregular, evidencia del desgaste típico de materiales plásticos fragmentados. Además, se observa una partícula microplástica esférica, usualmente vinculada a microperlas utilizadas en productos cosméticos o industriales. Este tipo de microplásticos genera preocupación debido a su diminuto tamaño y alta probabilidad de ser ingeridos por organismos acuáticos, lo que plantea riesgos significativos para los ecosistemas y las cadenas tróficas.

Imagen (d): Se observa una combinación de fibra y fragmento azul. La fibra es alargada y ligeramente curva, mientras que el fragmento muestra una forma más compacta. Ambas estructuras reflejan posibles procesos de degradación.

Imagen (e): Se observa un fragmento azul de tamaño mediano, cuya longitud es de 838,46 μm , acompañado por una fibra más larga de 1526,52 μm . Esta combinación refleja la diversidad de formas y tamaños de los microplásticos presentes en el medio ambiente. Además, se destaca un filamento azul, posiblemente asociado a materiales como cuerdas o textiles, con una estructura fina y alargada, lo que evidencia la procedencia variada de estos contaminantes en los ecosistemas acuáticos.

Imagen (f): Similar a las observaciones previas, combina fragmentos pequeños con fibras azules. En este caso, las fibras son notablemente más delgadas y se encuentran distribuidas de forma dispersa, lo que evidencia procesos de fragmentación y dispersión característicos de los microplásticos en matrices líquidas o sedimentarias. Asimismo, se destacan filamentos dispersos, con características finas y transparentes, típicas de residuos derivados de fibras textiles o plásticos desgastados, lo que refuerza su posible origen antropogénico y su impacto en los ecosistemas.

La figura destaca la amplia diversidad de formas y posibles orígenes de los microplásticos presentes en el medio acuático, subrayando la necesidad de monitorear y mitigar su impacto en los cuerpos de agua. En el caso de la microcuenca del río Sicalpa, las variaciones morfológicas de los microplásticos observados en el agua superficial están estrechamente vinculadas a las actividades humanas específicas de la región.

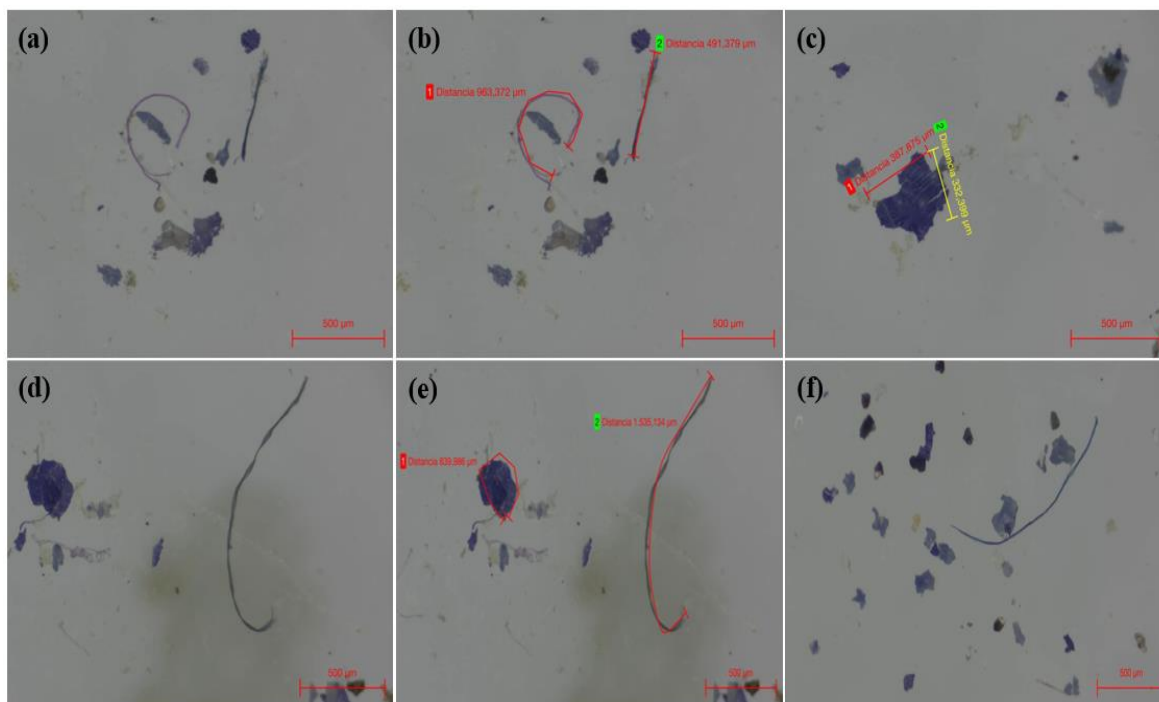
Estas actividades incluyen la descarga de efluentes domésticos que contienen residuos provenientes de lavanderías y sistemas de aguas residuales. Las fibras microplásticas, generalmente delgadas y alargadas, son un ejemplo común de estos residuos, típicamente asociados al uso de textiles sintéticos en ropa y productos industriales.

Adicionalmente, la presencia de fragmentos plásticos en diversos tamaños y colores refuerza la hipótesis de que otras fuentes, como el desgaste de productos plásticos mayores, también contribuyen significativamente a la contaminación. Estas partículas, producto de la fragmentación y degradación de plásticos por efecto mecánico o ambiental, pueden provenir de envolturas, empaques o incluso materiales industriales desechados.

La actividad antropogénica en la región parece ser elevada, posiblemente debido a un desarrollo industrial y manufacturero significativo. Esto podría estar asociado a una mayor generación y uso de plásticos, lo que incrementa la probabilidad de liberación de partículas plásticas al ambiente. Este contexto enfatiza la urgencia de implementar estrategias efectivas para reducir el uso excesivo de plásticos, mejorar el manejo de desechos y fortalecer las políticas de tratamiento de aguas residuales.

Finalmente, estos hallazgos refuerzan la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor la dinámica de los microplásticos y su relación con las actividades humanas en regiones específicas, con el objetivo de mitigar su impacto en los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad.

Figura 12. Morfotipos de microplásticos identificados en agua superficial de la microcuenca Sicalpa



(a) fibra y fragmento azul, (b) fibra azul, (c) fragmento azul, (d) fibra y fragmento azul, (e) fragmento y fibra azul, (f) fibra y fragmento azul.

4.3.1 Morfología superficial y caracterización física de microplásticos

La imagen obtenida mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) muestra una superficie con una alta concentración de fragmentos de microplásticos. Estas características sugieren que su origen puede estar asociado a textiles sintéticos, cuerdas o redes plásticas degradadas (Figura 13).

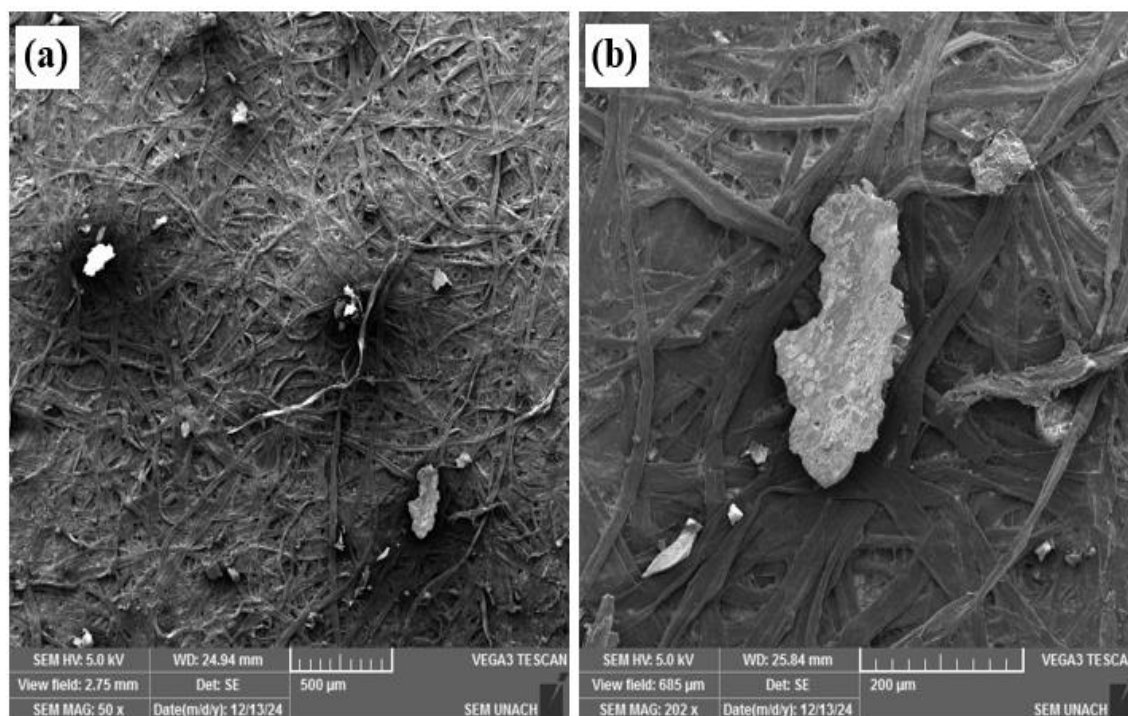
En la imagen (a) se observan fragmentos de microplásticos con morfología irregular y bordes angulares, típicos de partículas resultantes de la fragmentación de materiales plásticos más grandes debido a procesos de degradación física, química y mecánica. Algunas de estas partículas presentan superficies granuladas y rugosas, lo que indica una exposición prolongada a condiciones ambientales.

La escala (500 µm) y la magnificación de 50x permiten identificar detalles macroscópicos como la acumulación de microplásticos en el área de estudio y su interacción con partículas adheridas. El voltaje de aceleración de 5,0 kV proporciona un contraste adecuado, facilitando la observación de texturas superficiales y la distribución espacial de las partículas. La presencia simultánea de fibras y fragmentos evidencia la diversidad de formas y tamaños de los microplásticos en el medio acuático. Esta combinación resalta la influencia de fuentes antropogénicas como descargas domésticas, actividades industriales y agrícolas, lo que subraya la necesidad de implementar medidas para mitigar la contaminación plástica en los ecosistemas.

Por otro lado, la imagen (b) revela una partícula de microplásticos con una morfología central irregular, caracterizada por bordes rugosos y una superficie granulada, indicativa de microplásticos fragmentados por procesos de degradación. La escala (200 μm) y la magnificación de 202x permiten un análisis detallado de la morfología y distribución tanto de la partícula central como de las fibras circundantes. El uso de un voltaje de aceleración de 5,0 kV garantiza un alto nivel de contraste y resolución, facilitando la identificación de texturas superficiales y la interacción de elementos adheridos a los microplásticos.

El análisis revela la coexistencia de fragmentos y fibras, lo cual refleja la diversidad composicional de los microplásticos y su compleja dispersión en ambientes acuáticos. La acumulación de partículas adheridas, como escamas, grietas y surcos en las superficies plásticas, tiende a incrementarse con el tiempo de exposición en el medio ambiente, intensificando su impacto ecológico. Además, la observación sugiere que estos microplásticos han experimentado cambios suficientes para fragmentarse aún más y convertirse en nanoplásticos, lo cual representa un desafío adicional debido a su capacidad de infiltrarse con mayor facilidad en sistemas biológicos y ambientales.

Figura 13. Micrográficas SEM de microplásticos: a) partículas de fragmentos con un aumento de 50 X y b) partícula de fragmento con un aumento de 202 X.



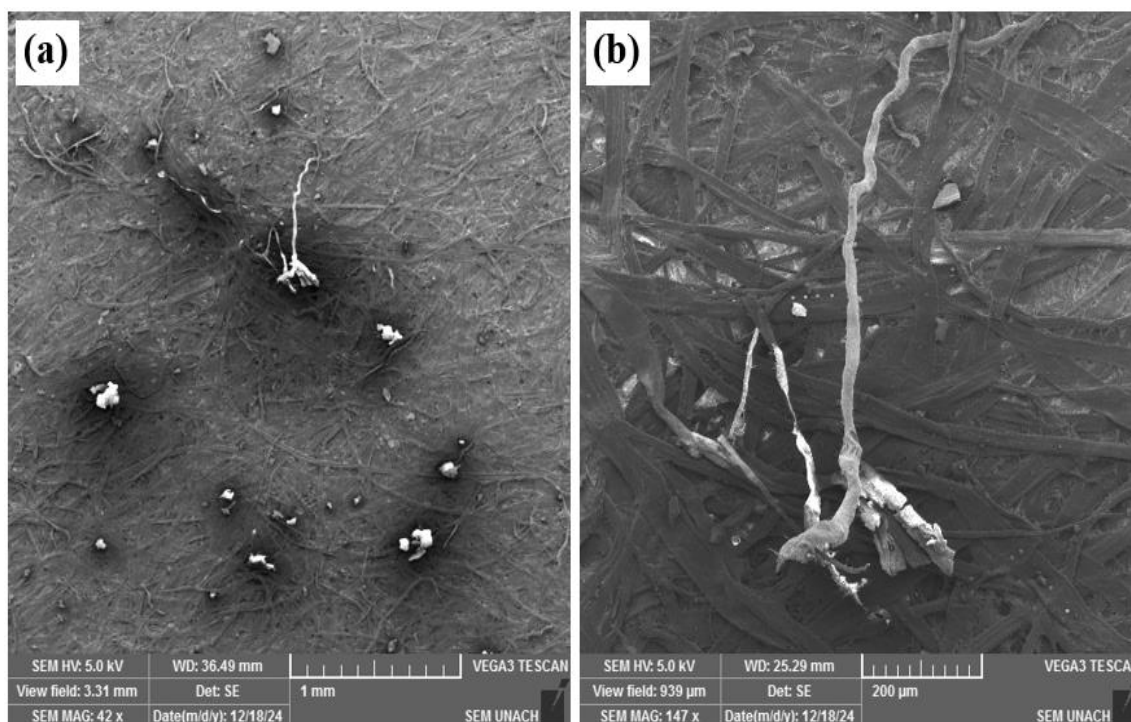
La figura 14 presenta dos imágenes complementarias que ilustran detalles sobre la morfología y distribución de microplásticos presentes en el agua superficial del río Sicalpa. En la imagen (a), con una magnificación de 42x y un campo de visión de 3,31 mm, se observa una superficie amplia donde predominan pequeñas partículas y fibras de microplásticos distribuidas de manera dispersa.

Las partículas presentan formas irregulares y bordes angulares, lo que sugiere su origen fragmentado, característico de la degradación física y química de plásticos mayores. También se identifican fibras delgadas, probablemente relacionadas con textiles sintéticos o redes plásticas. Esta dispersión uniforme resalta la capacidad de los microplásticos para acumularse y persistir en entornos acuáticos, indicando una contaminación difundida por fuentes antropogénicas.

Por otro lado, la imagen (b), con una magnificación de 147x y un campo de visión de 939 μm , permite observar con mayor detalle las fibras microplásticas. Una fibra prominente presenta una estructura alargada, retorcida y con bordes irregulares, características típicas de textiles sintéticos o cuerdas plásticas desgastadas. También se identifican partículas más pequeñas adheridas a estas fibras, evidenciando la interacción entre diferentes tipos de microplásticos y otros contaminantes.

Esta interacción puede incrementar la capacidad de los microplásticos para transportar contaminantes secundarios, aumentando el riesgo ambiental. Ambas imágenes subrayan la diversidad de formas, tamaños y fuentes de los microplásticos, destacando la importancia de un monitoreo constante para mitigar su impacto en los ecosistemas acuáticos.

Figura 14. Micrografías SEM de microplásticos: a) distribución dispersa de partículas a 42 X y b) estructura detallada de fibra a 147 X.

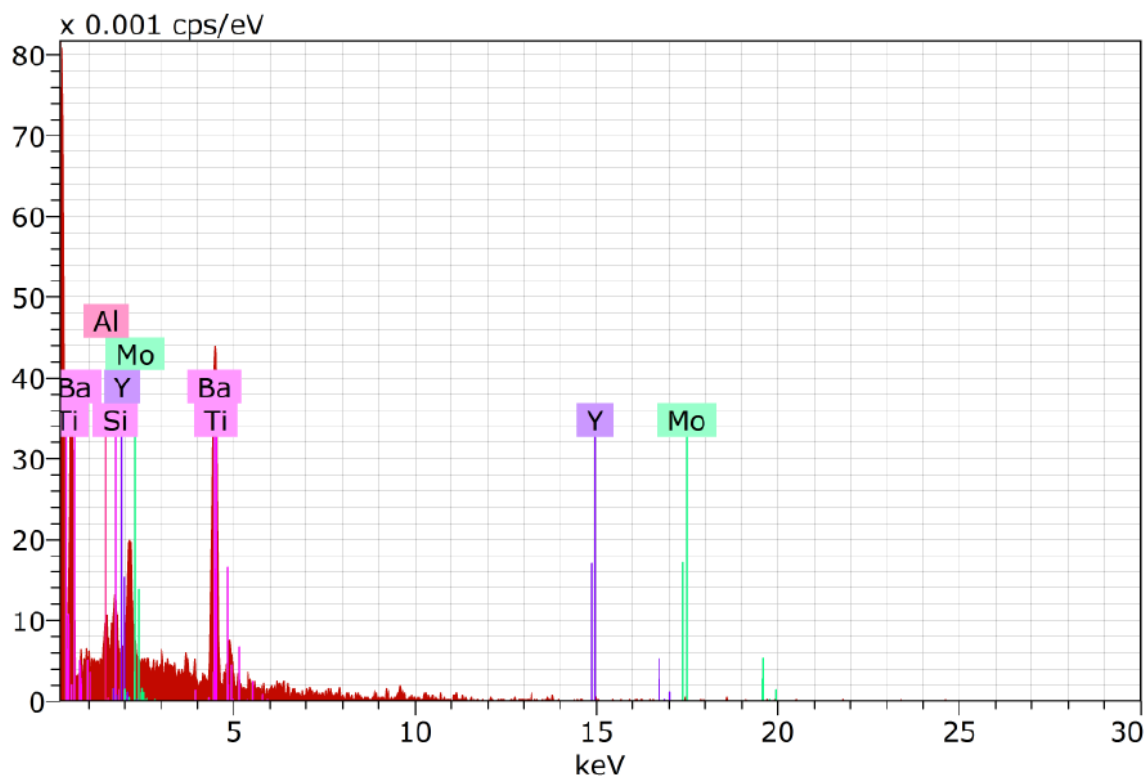


4.3.2 Caracterización química de microplásticos

La figura 15 presenta un espectro obtenido mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDS), una técnica utilizada para determinar la composición elemental de una muestra. En el gráfico, el eje x representa la energía de los rayos X en kiloelectrones voltios (keV), correspondiente a los niveles energéticos característicos de los elementos, mientras que el eje y muestra la intensidad en cuentas por segundo por electrón voltio (cps/eV), lo que refleja la cantidad de rayos X detectados.

Los picos identifican elementos como Aluminio (Al), Molibdeno (Mo), Bario (Ba), Titanio (Ti), Itrio (Y) y Silicio (Si), destacándose una mayor intensidad para Ba y Ti, lo que sugiere su predominancia en la muestra. Estos resultados evidencian una composición heterogénea, probablemente derivada de procesos industriales o fuentes contaminantes, como recubrimientos o pinturas. Además, el elevado porcentaje de metales indica que las partículas de microplásticos han permanecido en el ambiente durante muchos años, resaltando la importancia del análisis EDS para evaluar la naturaleza y el origen de los materiales contaminantes.

Figura 15. Análisis de composición molecular de microplásticos: Partícula de fragmento



La tabla 4 describe la composición elemental y atómica de una muestra analizada mediante espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Los datos incluyen los elementos identificados, con su respectivo número atómico, las concentraciones en porcentaje en peso normalizadas, las concentraciones atómicas y el error estándar.

El Bario (Ba): Es el elemento dominante en la muestra, con una concentración en peso normalizada más alta (58,67%) y un porcentaje atómico del 33,82%. Esto sugiere que el bario es el componente principal, posiblemente presente en forma de compuestos o minerales específicos.

Titanio (Ti): Representa el segundo componente más abundante, con un 27,80% en peso normalizado y 45,96% en porcentaje atómico. Esto indica que su contribución a la composición es significativa, probablemente en forma de óxidos de titanio u otros compuestos.

Se identificaron también elementos secundarios como el Itrio (Y), Molibdeno (Mo), Silicio (Si) y Aluminio (Al) tienen concentraciones más bajas, con el itrio y el molibdeno contribuyendo con porcentajes moderados en peso normalizado (6,28% y 3,00%, respectivamente). Estos elementos podrían estar asociados como trazas o compuestos accesorios en la muestra.

La suma de las concentraciones en peso normalizado es del 100%, lo que confirma que la normalización de los datos refleja adecuadamente la proporción relativa de los elementos en la muestra.

La distribución atómica también suma 100%, proporcionando un análisis complementario de la composición de la muestra en términos de proporción de átomos.

La muestra está dominada por bario y titanio, lo que sugiere la posible presencia de materiales como titanatos de bario o compuestos similares. La contribución de elementos

menores como itrio, molibdeno, silicio y aluminio puede ser indicativa de la matriz o de contaminantes secundarios. El análisis resalta la precisión del método EDS, aunque algunos elementos presentan mayor incertidumbre en su medición. Esto puede ser útil para identificar el origen de la muestra o determinar sus posibles aplicaciones industriales o ambientales.

La presencia de bario y titanio en microplásticos puede estar asociada con ciertos tipos de plásticos que incorporan estos elementos como aditivos o cargas durante su fabricación. El bario se utiliza comúnmente como relleno en la producción de plásticos como polipropileno (PP), poliestireno (PS), ABS y poliamidas (PA). Su incorporación mejora propiedades como la resistencia química, la opacidad y la densidad del material, siendo especialmente útil en aplicaciones que requieren amortiguación de vibraciones.

El titanio se emplea ampliamente como pigmento blanco en la industria del plástico, debido a su alta opacidad y capacidad para proporcionar blancura y brillo. Se encuentra en una variedad de plásticos, incluyendo polietileno (PE), polipropileno (PP), PVC y poliestireno (PS), utilizados en productos como envases, componentes de automóviles y materiales de construcción.

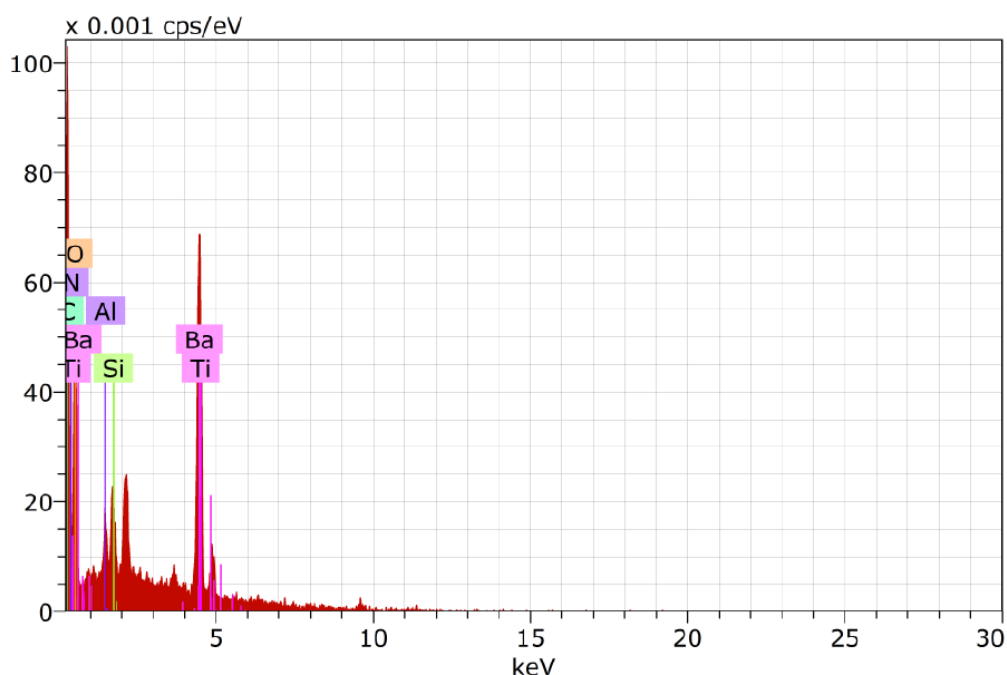
Por lo tanto, la detección de bario y titanio en microplásticos sugiere que estos fragmentos podrían derivar de materiales plásticos que contienen sulfato de bario y dióxido de titanio como aditivos, indicando su uso en aplicaciones específicas donde se requieren las propiedades mejoradas que estos compuestos proporcionan.

Tabla 4. Composición química elemental de las muestras de microplásticos: Partícula de fragmento

Elemento	Numero Atómico	Peso normalizado (%)	Concentración atómica (%)
Ba	56	58,67	33,82
Ti	22	27,80	45,96
Y	39	6,28	5,59
Mo	42	3,00	2,48
Si	14	2,50	7,05
Al	13	1,75	5,10
Total		100,00	100,00

La imagen 16 muestra el espectro generado mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDS), una técnica analítica acoplada a un microscopio electrónico de barrido (SEM) que permite identificar los elementos presentes en una muestra a partir de los picos característicos de cada elemento detectado. Los elementos detectados incluyen Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Carbono (C), Aluminio (Al), Silicio (Si), Bario (Ba) y Titanio (Ti), donde los picos más altos corresponden a Ba y Ti, lo que sugiere su mayor proporción relativa en la composición de la muestra, mientras que los elementos como Al y Si presentan intensidades menores, indicando concentraciones más bajas. La detección de O, N y C podría asociarse con compuestos orgánicos o residuos biológicos, mientras que los altos niveles de Ba y Ti apuntan hacia una posible influencia de fuentes industriales, como pinturas o recubrimientos tecnológicos. Este análisis destaca la utilidad del EDS para evaluar la composición elemental de materiales complejos y comprender sus posibles fuentes y aplicaciones en contextos ambientales e industriales.

Figura 16. Análisis de composición molecular de microplásticos: Partícula de fibra



La tabla 5 proporciona información detallada sobre los elementos detectados en una muestra, indicando su número atómico, porcentaje en peso normalizado y concentración atómica relativa. El análisis muestra que los elementos Carbono (C), Oxígeno (O) y Nitrógeno (N) son los más abundantes en la composición, representando el 35,43 %, 33,49 % y 21,41 % en peso, respectivamente, y el 43,92 %, 31,17 % y 22,76 % en concentración atómica. Esta alta presencia de elementos no metálicos sugiere una composición predominantemente orgánica o la influencia de materiales con contenido biológico o polimérico.

Los elementos inorgánicos como Bario (Ba), Titanio (Ti), Aluminio (Al) y Silicio (Si) están presentes en menores proporciones. El Bario destaca con un 6,15 % en peso, aunque su concentración atómica es baja (0,67 %), indicando que está en forma de compuestos densos o que contiene átomos de mayor peso atómico. Titanio, Aluminio y Silicio presentan porcentajes en peso y concentración atómica aún más bajos, reflejando su menor contribución a la composición global. En conjunto, los datos sugieren una muestra con una base orgánica significativa, posiblemente combinada con trazas de compuestos industriales o minerales, como partículas metálicas o recubrimientos. Esta interpretación es consistente con materiales complejos que podrían tener origen en entornos naturales o procesos industriales.

Tabla 5. Composición química elemental de las muestras de microplásticos: Partícula de fibra

Elemento	Numero Atómico	Peso normalizado (%)	Concentración atómica (%)
C	6	35,43	43,92
O	8	33,49	31,17
N	7	21,41	22,76
Ba	56	6,15	0,67
Ti	22	1,86	0,58
Al	13	0,85	0,47
Si	14	0,81	0,43
Total		100,00	100,00

4.4 Discusión de los Resultados

La tabla 2 muestra las concentraciones de microplásticos en diferentes puntos de muestreo a lo largo de la microcuenca Sicalpa, revelando una clara tendencia de aumento en las concentraciones a medida que se desciende por la cuenca. Este patrón es consistente con estudios previos que documentan la correlación entre la actividad humana y la acumulación de microplásticos en cuerpos de agua (Silva, 2023). Por ejemplo, un estudio realizado por Andrady, (2011) señala que las áreas más densamente pobladas y urbanizadas tienden a presentar concentraciones más altas de microplásticos debido a la mayor generación de desechos y su disposición inadecuada

En la zona alta, la ausencia de microplásticos en P1 y las bajas concentraciones en P2 sugieren que esta área, caracterizada por ecosistemas naturales y menor intervención humana, está relativamente libre de contaminación plástica. Este hallazgo es corroborado por Apetogbor et al., (2023), quienes afirman que los ecosistemas más prístinos actúan como barreras naturales contra la contaminación por microplásticos, debido a la limitada presencia de fuentes de desechos.

En la zona media, el aumento de microplásticos en P4 y P5 refleja la influencia de actividades humanas, como la agricultura y la ganadería. Estos resultados son similares a los obtenidos por Apetogbor et al., (2023) que encontraron correlaciones significativas entre el uso agrícola y la presencia de microplásticos en cuerpos de agua, sugiriendo que la escorrentía de estas actividades contribuye significativamente a la contaminación. El incremento en las concentraciones de microplásticos en esta zona indica que las prácticas agrícolas podrían estar introduciendo desechos plásticos en el medio acuático, lo que subraya la necesidad de una gestión más cuidadosa de los residuos en estas áreas.

La zona baja presenta las concentraciones más elevadas de microplásticos, lo que es congruente con la literatura que reporta un aumento en los niveles de contaminación en los tramos finales de los ríos debido a la acumulación de desechos procedentes de zonas superiores. Según Mendoza et al., (2022), los ríos actúan como conductos para el transporte de microplásticos, acumulando residuos en su recorrido, lo que se traduce en un mayor riesgo de contaminación en los ecosistemas acuáticos receptores.

La estadística descriptiva presentada en la tabla 3 refuerza la idea de que la actividad humana está directamente relacionada con las concentraciones de microplásticos. La zona baja, con un promedio de 24,67 MPs/L, es especialmente preocupante, ya que sugiere un alto nivel de contaminación que podría afectar no solo a los organismos acuáticos, sino también a las comunidades locales que dependen de estos recursos hídricos. Bollaín et al., (2019) enfatizan la importancia de monitorear estos contaminantes, ya que su presencia en el medio acuático puede tener efectos adversos en la salud de los ecosistemas y de los seres humanos.

Los datos también muestran una notable variabilidad en las concentraciones de microplásticos a lo largo de la microcuenca, lo que puede atribuirse a diferentes fuentes de contaminación en cada zona. Esta variabilidad resalta la necesidad de implementar estrategias de gestión de residuos más efectivas y de realizar un seguimiento continuo de la contaminación por microplásticos en áreas críticas.

En general el presente estudio da a conocer un análisis comparativo de los resultados obtenidos en la microcuenca Sicalpa con otros estudios resalta la necesidad urgente de abordar la contaminación por microplásticos, especialmente en las zonas media y baja, donde las actividades humanas son más intensas. Con este tipo de información resulta esencial desarrollar políticas y medidas de control que mitiguen esta problemática, protegiendo así tanto los ecosistemas acuáticos como la salud de las comunidades locales.

Capítulo 5

Conclusiones

- Las actividades antropogénicas, especialmente la agricultura y ganadería en cercanía al río, están contribuyendo significativamente al incremento de microplásticos en las aguas superficiales. La erosión del suelo y el vertido directo de aguas residuales no tratadas desde las viviendas están generando un efecto combinado que deteriora la calidad del agua y representa una seria amenaza para la salud del ecosistema acuático. Esto sugiere que se requieren medidas urgentes para controlar las fuentes de contaminación y mitigar su impacto.
- La acumulación de microplásticos afecta no solo la calidad del agua, sino también la salud de las especies acuáticas y de los organismos que dependen de este recurso. Los microplásticos, al ser ingeridos por estos organismos, pueden inducir efectos adversos en la cadena trófica, lo que pone en riesgo la biodiversidad local y la integridad del ecosistema fluvial. Esto resalta la necesidad de estrategias de manejo y sensibilización comunitaria para promover prácticas sostenibles y un manejo adecuado de los residuos en la microcuenca.
- Las concentraciones de microplásticos en la microcuenca Sicalpa presentan una notable variación geográfica, con niveles significativamente más bajos en la zona alta (0,67 MPs/L) y un incremento considerable en las zonas media y baja, donde se alcanzan hasta 32 MPs/L. Esto indica que las áreas menos impactadas por actividades humanas, como el páramo, tienen menor contaminación por microplásticos, mientras que las zonas con mayor intervención antropogénica experimentan niveles de contaminación más altos.
- La relación entre las altas concentraciones de microplásticos en las zonas media y baja y las actividades humanas, como la agricultura y el vertido de aguas residuales, resalta la urgencia de implementar estrategias de gestión de residuos y mejoras en el saneamiento. Es crucial adoptar prácticas más sostenibles para reducir la carga de microplásticos, proteger los ecosistemas acuáticos y garantizar la calidad del agua para las comunidades locales.

Recomendaciones

- Llevar a cabo valoraciones sistemáticas de la calidad del agua mediante la identificación y cuantificación de microplásticos. Este monitoreo permitirá registrar el estado actual de los ecosistemas acuáticos y evaluar cómo las actividades antropogénicas afectan su calidad. Con esta información, se podrán implementar medidas estratégicas para la conservación y el manejo sostenible de los recursos hídricos.
- Establecer un registro continuo de la presencia de microplásticos en la microcuenca, lo que facilitará el seguimiento de su acumulación y permitirá analizar su impacto en las especies acuáticas. Esta información es crucial para entender las dinámicas de la contaminación y sus efectos en la biodiversidad local.
- Fortalecer el uso de métodos biológicos para evaluar la calidad del agua, complementando estos enfoques con la evaluación de parámetros físico-químicos. Esta integración de métodos permitirá corroborar los resultados obtenidos y ofrecer una visión más completa del estado de la calidad del agua en la microcuenca, asegurando un análisis más robusto y efectivo.

Referencias Bibliográficas

- Abarca, A., & Mejia, K. (2023). Evaluación de microplásticos en sedimento del río Milagro - Zona Centro. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26109>
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Apetogbor, K., Pereo, O., Sparks, C., & Opeolu, B. (2023). Spatio-temporal distribution of microplastics in water and sediment samples of the Plankenburg river, Western Cape, South Africa. *Environmental Pollution*, 323(September 2022), 121303. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121303>
- Araújo, J. L., Morais, C., & Paiva, J. C. (2023). Citizen Science in Promoting Chemical-Environmental Awareness of Students in the Context of Marine Pollution by (Micro)Plastics. *Revista Electronica Educare*, 27(1), 1–21. <https://doi.org/10.15359/ree.27-1.15845>
- Arevalo, P., Quinteros, K., Vivar, A., & Orellana, G. (2023). Detention of Plastic Microparticles in the Drinking Water Treatment System Tomebamba in Cuenca and Mahuarca in the City of Azogues, Ecuador. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(3S), 1–26. <https://sifisheressciences.com/journal/index.php/journal/article/view/652>
- Barros, W. (2021). Separación de microplásticos mediante procesos físico- químicos en aguas residuales en la ciudad de Riobamba. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo.
- Bernal, S., & Caruzo, P. (2023). Determinación de la presencia de microplásticos en el agua superficial de la quebrada Yumantay, Ucayali 2022. *[Tesis Pregrado]*, Universidad Politécnica Salesiana, 1–97.
- Bollaín, C., & Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Rev Esp Salud Pública*, 93, 1–10. www.msc.es/resp
- Calvo, G., & Araya, A. (2018). Evaluación de dos índices de calidad del agua en varios sitios de la quebrada La Central, Pacayas de Alvarado, Costa Rica. *Tecnología En Marcha*, 31(4), 73–83. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3966>

- Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (2020). Microplásticos: Un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Químicoquímica*, 37(3), 160–175.
- Castro, C., & Guayllas, M. (2023). Comparación de la presencia de microplásticos en el tracto digestivo de peces para consumo humano en una zona urbana y rural de la provincia de Pastaza. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Estatal Amazónica.
- Chávez, B. (2019). Presencia de microplástico derivado de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo.
- Cifuentes, C. (2018). Análisis de la exposición de microplástico en Lumbricus terrestris. *[Tesis Pregrado]*, Universidad de Concepción, 1–62. [http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/3405/Tesis Análisis de la exposición de microplástico en Lumbricus terrestris.Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.udec.cl/bitstream/handle/11594/3405/Tesis%20Análisis%20de%20la%20exposición%20de%20microplástico%20en%20Lumbricus%20terrestris.Image.Marked.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- COA. (2017). Asamblea Nacional del Ecuador - Código Orgánico Del Ambiente. *Registro Oficial Suplemento 983*, 1–92.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008. *Asamblea. Revista Parlamentaria de La Asamblea de Madrid*, 6, 497–502. <https://doi.org/10.59991/rvam/2008/m.6/484>
- Córdova, Á. (2024). Retención de microplásticos en tuberías de agua potable que contienen incrustaciones calcáreas en Riobamba. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo.
- Cumbal, F., & Ordoñez, B. (2023). Determinación de la calidad de agua mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la microcuenca Sicalpa, Cantón Colta. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo.
- Escobar Gutiérrez, A. F., & Montoya Moreno, Y. (2019). Los Macroinvertebrados Acuáticos y la Calidad Biológica del Agua en una Quebrada Andina, Antioquía-Colombia. *Revista Politécnica*, 15(29), 65–81.
- Flores, J., & Orozco, K. (2022). Evaluación de la presencia de microplásticos en agua embotellada en la Regional 6. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Politécnica Salesiana

Sede Cuenca.

- Fuentes, D. (2018). Microplásticos en el agua potable de la ciudad de Riobamba”. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional de Chimborazo.
- González, S., Ramírez, Y., Meza, A., & Dias, L. (2012). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras del municipio de Manizales. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16(2), 135–148.
- Guadarrama Tejas, R., Kido Miranda, J., Roldan Antunez, G., & Salas Salgado, M. (2016). Contaminación de agua. *ECORFAN ® Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1–10.
- Higuera, C. (2022). Microplásticos en aguas residuales y posibles medidas de control en el Gran Santiago. *[Tesis Pregrado]*, Universidad de Chile, 1–131. [https://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Higuera Camila.pdf](https://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Higuera%20Camila.pdf)
- INEN. (2020). NTE INEN 1108. Guías para la calidad del agua potable. 2018, 1–10.
- Khan, W., Hassan, H. U., Gabol, K., Khan, S., Gul, Y., Ahmed, A. E., Swelum, A. A., Khooharo, A. R., Ahmad, J., Shafeeq, P., & Ullah, R. Q. (2024). Biodiversity, distributions and isolation of microplastics pollution in finfish species in the Panjkora River at Lower and Upper Dir districts of Khyber Pakhtunkhwa province of Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1–7. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.256817>
- Lacerot, G., Lozoya, J., & De Mello, F. (2020). Plásticos en ecosistemas acuáticos: presencia, transporte y efectos. *Ecosistemas*, 29(3), 2122–2122.
- Lacerot, G., Lozoya, J. P., & Teixeira de Mello, F. (2020). Plásticos en ecosistemas acuáticos: Presencia, transporte y efectos. *Ecosistemas*, 29(3), 2019–2021. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2122>
- Leon, D., Peñalver, P., Franco, E., Benfatti, E., Comes, L., Ciudad, C., Muñoz, M., Güemes, S., Fernando, A., Serrano, L., & Parrilla, R. (2020). *Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos.*
- Ley de Gestión Ambiental. (2004). Ley de Gestión Ambiental. *Bulgarian Medicine*, 6(7–8), 53–55.
- Lino, L. (2022). Microplástico en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional

- Agraria de la Selva*. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1507>
- MAATE. (2016). Estrategia Nacional de la Biodiversidad 2015-2030. In *Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica: Vol. primera ed* (pp. 1–225).
- MAATE. (2019). Plan nacional de gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. *Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica*.
- Márquez, C., García, V., & Ríos, A. (2023). Water Quality Indicator for Adaptability to Global Climate Change in Andean Highland Ecosystems. *Water (Switzerland)*, 15(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/w15050857>
- Mendoza, I., Leal, R., Cejudo, E., Cervantes, J., Rodríguez, N., & Acosta, G. (2022). Contaminación por microplásticos en el acuífero kárstico de la península de Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3), 1–12. <https://doi.org/10.19136/era.a9n3.3360>
- Mora, C. (2022). Revisión sistemática: Evaluación de métodos para la identificación y cuantificación de los impactos ambientales generado por los micro plásticos en el suelo. In *[Tesis Pregrado]*, *Universidad Cesar Vallejo*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morocho, J., & Pozo, D. (2022). Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Cuenca, Paute y Sigsig. In *[Tesis Pregrado]*, *Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27029/1/UPS-CT011212.pdf>
- Napper, I. E., Baroth, A., Barrett, A. C., Bhola, S., Chowdhury, G. W., Davies, B. F. R., Duncan, E. M., Kumar, S., Nelms, S. E., Niloy, M. N. H., Nishat, B., Maddalene, T., Smith, N., Thompson, R. C., & Koldewey, H. (2023). The distribution and characterisation of microplastics in air, surface water and sediment within a major river system. *Science of the Total Environment*, 901(May), 166640. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166640>
- Nogueira, E. J., Fernandes, E., Nogueira, M. G., Cetra, M., & Mattox, G. M. T. (2024). Microplastics contamination in fish, water, and sediment surrounding Ubatuba beaches, Southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 22(2), 1–18. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2023-0092>

- ONU. (2014). Informe sobre el primer período de sesiones de la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente. *Programa de La Naciones Unidas Para El Medio Ambiente*, 1–69.
- Orellana, G., & Vivar, A. (2024). Detección de micropartículas de plástico en el sistema de potabilización de agua Tomebamba, Cuenca - Ecuador. In *[Tesis Pregrado], Universidad Politécnica Salesiana*.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27029/1/UPS-CT011212.pdf>
- Peláez, L. A. P., Montes, C. P., Castellanos, L. H., de Jesús Huerta Quero, O., Hernández-Álvarez, C., Estrella, I. A. M., & Rangel, B. S. (2023). Microplastics in beaches within the influence area of the Veracruz Reef System National Park(PNSAV), Mexico. *Hidrobiologica*, 33(2), 231–242. <https://doi.org/10.24275/khdd6042>
- Pinchi, K. (2022). Evaluación de la contaminación por plásticos en playas del río Nanay, región Loreto - 2021. In *[Tesis Pregrado], Universidad Científica del Perú*.
[http://www.ifpri.org/themes/gssp/gssp.htm%0Ahttp://files/171/Cardon - 2008 - Coaching d'équipe.pdf%0Ahttp://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203%0Ahttp://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/%0Ahttps://doi.org/10.1080/23322039.2017](http://www.ifpri.org/themes/gssp/gssp.htm%0Ahttp://files/171/Cardon%20-%202008%20-%20Coaching%20d%27equipe.pdf%0Ahttp://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203%0Ahttp://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/%0Ahttps://doi.org/10.1080/23322039.2017)
- Quishpi, Á., Pérez, P., Rodríguez, M., & Santillán, G. (2018). Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del Agua de un Sistema Fluvial Alto Andino Ecuatoriano. *Hallazgos*21, 3, 1–13. [file:///C:/Users/Personal/Downloads/234-Texto del artículo-459-1-10-20180611.pdf](file:///C:/Users/Personal/Downloads/234-Texto%20del%20art%C3%ADculo-459-1-10-20180611.pdf)
- Sáenz, C. (2020). Microplásticos en la Biota de los ríos Andinos. In *[Tesis Pregrado], Universidad de las Américas*.
- Salau, M., & Soliz, B. (2023). Evaluación de la calidad de agua en la microcuenca del río Sicalpa cantón Colta, mediante macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores. In *[Tesis Pregrado], Universidad Nacional de Chimborazo*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558907/>
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172–181.
- Silva, E. (2023). Microplásticos en el suelo del tramo La Muyana-Luyana, Tingo Maria

2022. In *[Tesis Pregrado]*, Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.14292/2490>
- Sofia, L. I., Sergio, G., & Marlon, P. (2020). *Aplicación de índices bióticos para la evaluación de la calidad del agua de un río Andino Amazónico*. May.
- Solange Aynara Sánchez Aroca, & Guangasig Toapanta, V. H. (2023). Calidad Microbiológica del Agua de Consumo Humano: La realidad en el Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 1388–1402. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.690>
- Souza, G. R. ;, Silva, N. M. ;, & Oliveira, D. P. (2023). Distribuição longitudinal, vertical e temporal de microplásticos no Igarapé do Mindu em Manaus, Amazonas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 28, 1–8.

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de microplásticos en la Microcuenca del río Sicalpa



1. Microcuenca Sicalpa



2. Equipos y materiales



3. Obtención de microplásticos



4. Obtención de microplásticos



5. Obtención de microplásticos



6. Presencia de plásticos en el agua

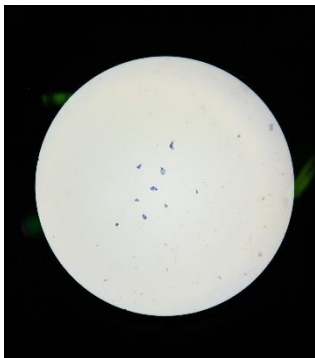
Anexo 2. Análisis de microplásticos en laboratorio



1. Tamizaje físico de microplásticos



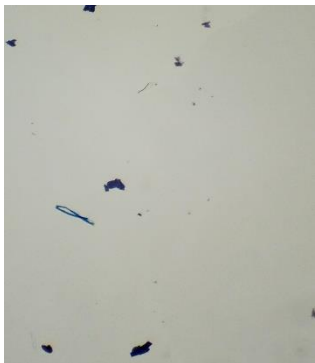
2. Estereomicroscopio



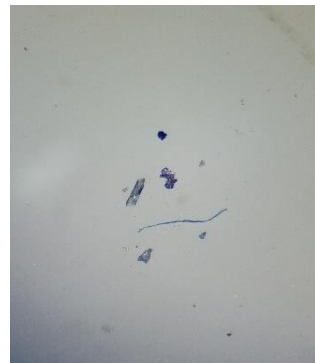
3. Microplásticos en agua superficial



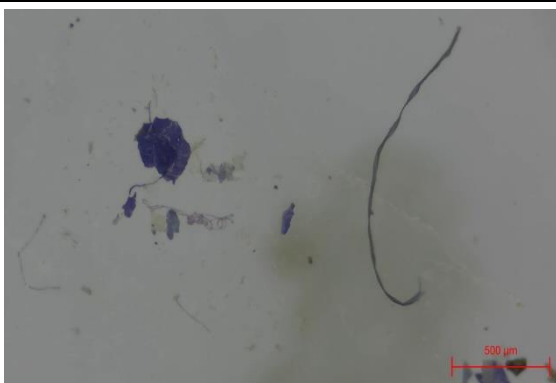
4. Microplásticos en agua superficial



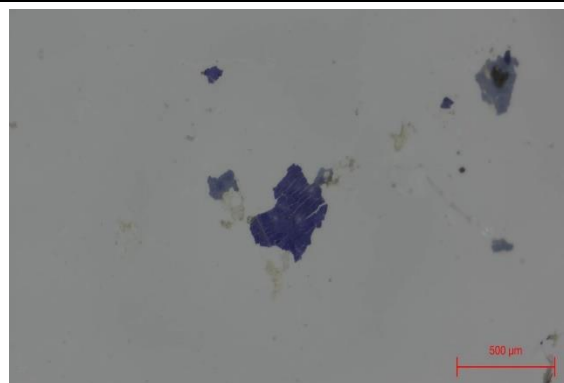
5. Microplásticos en agua superficial



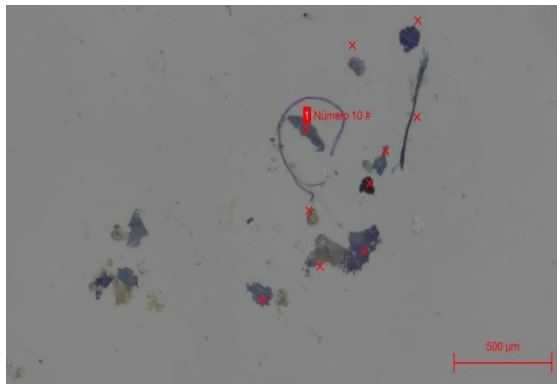
6. Microplásticos en agua superficial



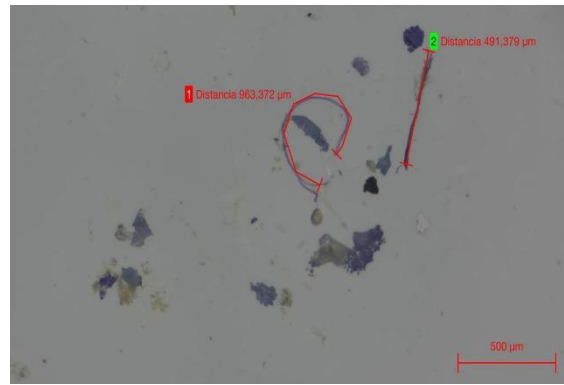
7. Microplásticos observados a través del estereomicroscopio



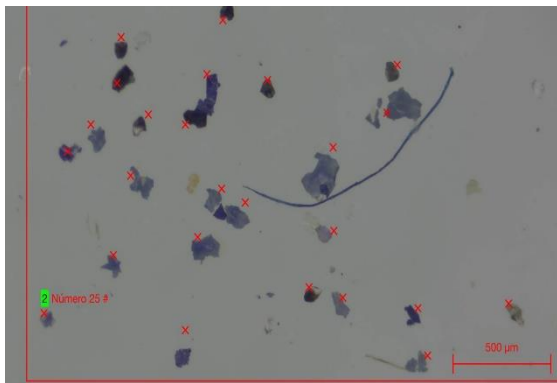
8. Microplásticos observados a través del estereomicroscopio



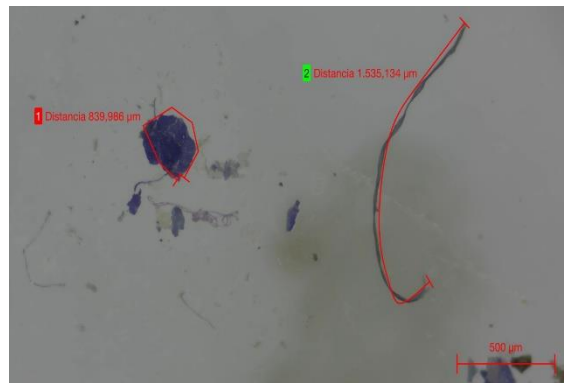
9. Cuantificación de microplásticos



10. Cuantificación de microplásticos



11. Cuantificación de microplásticos



12. Cuantificación de microplásticos

Anexo 3. Micrografías SEM de microplásticos

