



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:

**“ESTUDIO DE LA CONCENTRACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO PUYO, CANTÓN PASTAZA, PROVINCIA DE
PASTAZA”**

AUTOR:

Ing. Yadira Alexandra Tapuy Chongo

TUTOR:

Ing. Marco Marcel Paredes Herrera, Mgs

Riobamba – Ecuador

2025

Certificación del Tutor

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: **“Estudio de la concentración de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza”** ha sido elaborado por la Ingeniera Yadira Alexandra Tapuy Chongo, la mismo que ha sido orientado y revisado con el asesoramiento permanente de mi persona en calidad de Tutor. Así mismo, refrendo que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta antiplagio 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, 28 de marzo de 2025

Mgs. Marco Marcel Paredes Herrera

TUTOR

Declaración de Autoría y Cesión de Derechos

Yo, **Yadira Alexandra Tapuy Chongo**, con número único de identificación **1600651374**, declaro y acepto ser responsable de las ideas, doctrinas, resultados y lineamientos alternativos realizados en el presente trabajo de titulación denominado: “Estudio de la concentración de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza.” 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, 28 de marzo de 2025



Ing. Yadira Alexandra Tapuy Chongo

N.U.I. 1600651374

Agradecimiento

Agradezco primero a Dios, a mis padres Luisa y Julián, a mi abuelita María, a mis hermanos David, Sara e Isabel, que han sido una familia maravillosa y han estado siempre dándome su apoyo y alentándome para que nunca me rinda en los momentos difíciles de la vida universitaria, enseñándome a ser humilde pero siempre con el deseo de superación y triunfo en la vida.

A mi tutor de Tesis, Mgs. Marcel Paredes quien me permitió pertenecer a su grupo de estudio, brindando su apoyo en cada una de las etapas de este proyecto con el fin de lograr nuestros objetivos. Al Ing. Marco Rodríguez y al Ing. Jonathan Orozco por brindarme todos los recursos y herramientas necesarias para el desarrollo del proyecto con sus extensos conocimientos, también agradecer el haberme brindado su amistad y confianza, haciendo que el desarrollo del proyecto fuera una de las experiencias más gratificantes que he realizado.

Yadira Alexandra Tapuy Chongo

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico primeramente a mi madre quien ha luchado para que pueda cumplir mis sueños profesionales, demostrándome el amor infinito de una madre, la fortaleza que la define, puesto que cada paso que he dado ha sido gracias a ella, cuyas enseñanzas vivirán siempre en mi corazón, siendo un claro ejemplo de inteligencia, amor y perseverancia.

A mi padre y hermanos, que me han demostrado que la familia siempre estará presente en los momentos más difíciles de la vida, que quizás no somos la familia perfecta, pero gracias a ellos puedo decir que mi familia se basa en el amor a Dios y su palabra.

Por último pero no menos importante, a mis mejores amigas Gaby, Lupe y Naty con las cuales compartí mis mejores y peores momentos en la vida universitaria, que nunca me dejaron sola cuando más las necesitaba, siempre brindándome su apoyo y confianza, sobre todo regalándome una segunda familia, demostrándome que la distancia no rompe amistades verdaderas y que siempre tendré su cariño, porque con ellas entendí la frase "Las buenas amigas son como las estrellas, no siempre las ves, pero sabes que siempre están ahí"

Yadira Alexandra Tapuy Chongo

SIGLAS Y ABREVIATURAS

°C:	Grado Celsius
µm:	Micras
COA:	Código Orgánico Administrativo
COVID-19:	Enfermedad respiratoria muy contagiosa causada por el virus SARS-CoV-2
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
g:	Gramos
G20:	Grupo de los Veinte
GAD:	Gobierno Autónomo Descentralizado
H ₂ O ₂ :	peróxido de hidrógeno
ha:	Hectárea
INEN:	Servicio Ecuatoriano de Normalización
Kg:	Kilogramo
Km:	Kilometro
kV:	Kilovoltio
MAATE:	Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica
ml:	Mililitro
mm:	Milímetro
MP/Kg:	Microplástico/kilogramo
Mp/m ₃ :	Microplástico/metro cubico

MPs/L:	Microplásticos/litro
msnm:	Metros sobre el nivel del mar
NaCl:	Cloruro de sodio
OPS:	Organización Panamericana de la Salud
PA:	Poliamida
PE:	Polietileno
PES:	Polietersulfona
PP:	Polipropileno
PS:	Poliestireno
PVC:	Policloruro de vinilo
TULAS:	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente
UNEA:	Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
Unid:	Unidad
UP:	Resina de poliéster
WPO:	Oxidación con Peróxido en Medio Húmedo
x:	Aumento que produce la lente sobre el tamaño del objeto
XIX:	Siglo diecinueve

Índice General

Certificación del Tutor	ii
Declaración de Autoría y Cesión de Derechos	iii
Agradecimiento.....	iv
Dedicatoria	v
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	vi
Índice General.....	viii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras	xi
Resumen	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Capítulo 1 Generalidades.....	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación de la Investigación.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.....	7
1.3.2 Objetivos Específicos	7
Capítulo 2 Estado del Arte y la Práctica	8
2.1 Antecedentes Investigativos	8
2.1.1 Nacionales	8
2.1.2 Internacionales.....	9
2.2 Fundamentación Legal	10
2.2.1 Normativa Internacional	10
2.2.2 Normativa Nacional.....	11
2.3 Fundamentación Teórica:	13
2.3.1 Plásticos y su Producción	13

2.3.2	Microplásticos	16
2.3.3	Actividades Productivas del Cantón Pastaza.....	24
2.3.4	Contaminación en el río Puyo	24
Capítulo 3 Diseño Metodológico.....		26
3.1	Enfoque de la Investigación	26
3.2	Diseño de la Investigación.....	26
3.3	Área de estudio	26
3.4	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	27
3.5	Muestra	28
3.6	Identificación de microplásticos en laboratorio.....	29
3.7	Análisis estadístico	32
Capítulo 4 Análisis y Discusión de los Resultados.....		34
4.1	Puntos de muestreo.....	34
4.1.1	Punto de muestreo 1: Zona alta de la cuenca alta del río Puyo	35
4.1.2	Punto de muestreo 2: Zona media de la cuenca alta del río Puyo	36
4.1.3	Punto de muestreo 3: Zona baja de la cuenca alta del río Puyo	37
4.2	Cantidad de microplásticos presentes en un volumen determinado de agua superficial de la cuenca alta del río Puyo.....	38
4.2.1	Comparación de microplásticos relacionados al agua superficial en la cuenca alta del río Puyo	40
4.3	Análisis de microplásticos presentes en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo	44
4.4	Discusión de los Resultados	46
Capítulo 5		49
Conclusiones.....		49
Recomendaciones.....		51
Referencias Bibliográficas		52
ANEXOS		61

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Tipos de plásticos según sus propiedades</i>	15
Tabla 2 <i>Puntos de muestreo</i>	34
Tabla 3 <i>Concentración de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo</i>	39
Tabla 4 <i>Estadística descriptiva de la presencia de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo</i>	42

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Línea de tiempo de los principales plásticos desde su descubrimiento</i>	14
Figura 2 <i>Rango de tamaños de los plásticos</i>	18
Figura 3 <i>Potenciales rutas de exposición por microplásticos en los seres humanos</i>	22
Figura 4 <i>Mapa de ubicación de la microcuenca del río Puyo</i>	27
Figura 5 <i>Toma de muestras</i>	28
Figura 6 <i>Muestreo de microplásticos</i>	29
Figura 7 <i>Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio</i>	30
Figura 8 <i>Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio</i>	31
Figura 9 <i>Caracterización de tipo, color y tamaño de microplásticos</i>	32
Figura 10 <i>Puntos de muestreo en la cuenca alta del río Puyo</i>	35
Figura 11 <i>Punto de muestreo 1</i>	36
Figura 12 <i>Punto de muestreo 2</i>	37
Figura 13 <i>Punto de muestreo 3</i>	38
Figura 14 <i>Comparación de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo</i>	44
Figura 15 <i>Morfotipos de microplásticos determinados en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo</i>	46

Resumen

El propósito de este estudio fue determinar la concentración de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo, ubicada en el cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Se analizaron nueve muestras de agua recolectadas en distintos lugares del área de estudio, las muestras fueron recogidas y etiquetadas en envases plásticos, Posteriormente fueron transportados hacia el laboratorio de Edafología y Ensayos No Destructivos de la Universidad Nacional de Chimborazo (Unach) para su respectivo análisis. Los resultados obtenidos revelaron que la concentración de microplásticos varía según la zona del río. En la zona alta se encontraron concentraciones de 17,67 MPs/L, en la zona media 30,67 MPs/L, y en la zona baja 44,67 MPs/L. Estos datos evidencian que las zonas más cercanas a áreas urbanas y turísticas presentan mayores concentraciones de microplásticos, lo que se asocia con la presencia de actividades comerciales, manejo inadecuado de residuos y la descarga de aguas residuales sin tratamiento.

La presencia de fibras y fragmentos de microplásticos en el río evidencia la repercusión de la interacción de factores naturales y antropogénicos, representando una amenaza significativa tanto para la salud de los ecosistemas acuáticos y terrestres como para la salud humana en la zona de influencia del río Puyo y sus alrededores. Este tipo de contaminación se ha convertido en un reto para la calidad de agua, lo que resalta la necesidad urgente de implementar estrategias de conservación y gestión sostenible de los recursos hídricos.

Palabras claves: Microplásticos, río Puyo, contaminación, fragmentos, fibras.

Abstract

The purpose of this study was to determine the concentration of microplastics in the surface water of the upper basin of the Puyo River, located in the Pastaza canton, Pastaza province. Nine water samples collected from different locations in the study area were analyzed. The samples were collected and labeled in plastic containers and transported to the Soil Testing and Non-Destructive Testing laboratory of the National University of Chimborazo (Unach) for analysis. The results revealed that the concentration of microplastics varies according to the area of the river. Concentrations of 17.67 MPs/L were found in the high zone, 30.67 MPs/L in the middle zone, and 44.67 MPs/L in the low zone. These data show that the zones closest to urban and tourist areas have higher concentrations of microplastics, which are associated with commercial activities, inadequate waste management, and the discharge of untreated wastewater. The presence of microplastic fibers and fragments in the river is evidence of the repercussions of the interaction of natural and anthropogenic factors. It represents a significant threat to the health of aquatic and terrestrial ecosystems and to human health in the area of influence of the Puyo River and its surroundings. This type of contamination has become a challenge for water quality, highlighting the urgent need to implement strategies for conserving and conserving water resources.

Keywords: Microplastics, Puyo River, pollution, fragments, fibers.



Reviewed by:

Mgs. Lorena Solís Viteri

ENGLISH PROFESSOR

c.c. 0603356783

Introducción

La contaminación por microplásticos ha emergido como una preocupación global debido a sus efectos devastadores sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Estos pequeños fragmentos de plástico, de menos de 5 mm, provienen tanto de plásticos que se descomponen con el tiempo como de productos manufacturados intencionalmente, como microesferas en cosméticos (UNEP, 2018). En los últimos años, se ha demostrado que los microplásticos están presentes en diversas fuentes de agua, incluidas las de agua dulce como los ríos. La cuenca alta del río Puyo, ubicada en la provincia de Pastaza, es una región rica en biodiversidad y recursos naturales, pero también vulnerable a contaminación. El estudio de la concentración de microplásticos en esta zona es crucial para comprender como estos contaminantes afectan el ecosistema local y para identificar las fuentes que los generan.

La relevancia de este estudio es multifacética. A nivel académico, contribuye al conocimiento sobre la contaminación por microplásticos en ríos de la región amazónica, un tema aun poco explorado en Ecuador. Empresarialmente, el manejo adecuado de los recursos hídricos es clave para las industrias que dependen del agua del río Puyo, como la agricultura, el turismo y pesca. Socialmente, la contaminación del río Puyo afecta directamente a las comunidades locales, quienes dependen de él para sus actividades diarias y económicas. Por lo tanto, esta investigación es fundamental para generar conciencia sobre la problemática y promover prácticas sostenibles.

La metodología empleada en este estudio es mixta, combina enfoques cualitativos y cuantitativos. En el componente cuantitativo se mide la concentración y distribución de microplásticos en las muestras de agua recolectadas en los puntos específicos de la cuenca alta del río Puyo. En el enfoque cualitativo, se examina los métodos de identificación de los microplásticos, a través de una revisión bibliográfica para entender mejor sus características.

Los resultados esperados de esta investigación incluyen una descripción detallada de las concentraciones de microplásticos en diferentes áreas del río, así como un análisis de las causas que favorecen su acumulación. A través de este estudio, se busca proporcionar datos relevantes para la gestión ambiental del río Puyo y contribuir a la formación de políticas enfocadas en la conservación del recurso hídrico.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Debido a su carácter ligero, transparente, adaptable y potencialmente duradero, los plásticos se consideran apropiados para una amplia gama de usos. Sin embargo, cada año se genera una enorme cantidad de plástico, aproximadamente 300 millones de toneladas, de las cuales alrededor de 13 millones terminan en ríos y océanos (Giraldez et al., 2020).

En los últimos años se ha evidenciado un incremento de la presencia de contaminantes en ríos importantes (Castañeta et al., 2020), donde la influencia humana ha sido un factor importante.

A lo largo de su curso, el río Puyo recibe una variedad de residuos y aguas residuales de distintas fuentes, concentrándose principalmente en la zona más turística y poblada. Es relevante destacar que no se han llevado a cabo estudios sobre contaminación por microplásticos en este río por parte de las instituciones especializadas en medio ambiente y gestión del agua, a pesar de tener constancia de la contaminación causada por la presencia de residuos inorgánicos. Esto es preocupante considerando el papel crucial que desempeña el río como hábitat de vida silvestre, así como su importancia recreativa y turística.

Los resultados obtenidos posibilitarán la toma de decisiones orientadas hacia una gestión adecuada de los servicios ambientales del río, además de colaborar en el desarrollo de herramientas y tácticas de gestión medioambiental que aseguren la sostenibilidad de la zona a largo plazo.

1.2 Justificación de la Investigación

La creciente presencia de microplásticos en los cuerpos de agua dulce, como son los ríos, representan una constante amenaza para el medio ambiente como la salud pública. La cuenca alta del río Puyo, ubicada en una zona clave para la provincia de Pastaza, adquiere una relevancia particular debido a la rica biodiversidad del área y su conexión directa con las comunidades locales y su economía.

El estudio de la concentración de microplásticos en esta cuenca no solo permite entender el grado de contaminación, sino que también proporciona datos fundamentales y actualizados para la futura toma de decisiones informadas en políticas de gestión. En Ecuador, la investigación sobre la contaminación por microplásticos en cuerpos de agua dulce sigue siendo limitada. En el caso del río Puyo, solo se han realizado al menos dos estudios previos sobre la presencia de microplásticos, lo que evidencia la falta de información detallada sobre la dinámica de estos contaminantes en la cuenca alta.

El análisis se centra en la cuenca alta del río Puyo debido a su menor influencia antropogénica, permitiendo establecer una línea base de contaminación por microplásticos. Además, contribuye al conocimiento local al evaluar fuentes menos evidentes de contaminación y complementando estudios previos que se enfocan en zonas medias y bajas. Su elección también responde a la factibilidad del muestreo y la necesidad de entender cómo los microplásticos llegan a los ecosistemas fluviales desde sus áreas de origen.

Permitiendo entender la distribución de microplásticos en esta zona y su relación con las actividades humanas en una provincia que aprovecha sus recursos hídricos para fines fundamentales como los recreativos, turísticos, domésticos, entre otros; Esto resalta claramente la relevancia de desarrollar conocimiento científico adaptado a las realidades locales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la concentración de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo, cantón Pastaza, provincia de Pastaza.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la presencia de microplásticos en el agua superficial procedente del área de estudio.
- Analizar las propiedades morfológicas de los microplásticos en el agua superficial procedente del área de estudio.

Capítulo 2

Estado del Arte y la Práctica

2.1 Antecedentes Investigativos

2.1.1 Nacionales

En Ecuador, se han realizado investigaciones sobre contaminación por microplásticos en agua dulce, uno de ellos es el estudio realizado por Cuenca & Mayancela (2023) realizaron la investigación titulada “Determinación de microplásticos y metales pesados presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, provincia de Morona Santiago” con el objetivo de determinar la presencia microplásticos presentes el río Gualaceño a través de métodos analíticos, determinando sus concentraciones, por medio del análisis de 12 muestras compuestas, recogidas en seis puntos particulares de la zona, proporcionando como resultados la presencia de microplásticos en un promedio general de 25 partículas/ 250 ml, con presencia de fibras y fragmentos con tamaños de 3,23 a 4,25 μm . Siendo evidente la existencia de microplásticos en los ríos donde hay presencia de actividades antrópicas de manera indiscriminada.

En años posteriores se realizaron estudios sobre la presencia de microplásticos en agua potable como el caso de estudio realizado por Chávez & Paredes (2019) titulado “Presencia de Microplástico derivado de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba” con el objetivo de evaluar la presencia de partículas o fragmentos procedentes de la degradación del polietileno de alta densidad (HDPE), material utilizado para la creación de tanques reservorios de agua potable, mediante un método exploratorio se lograron analizar 76 tanques, de 9 redes de distribución de agua potable, dando como resultado que los tanques con un tiempo de uso mayor a 5 años tienen presencia de microplásticos, el mismo tiempo de útil que tiene el tanque, este tipo de factores añadidos

a las condiciones y medios expuestos, genera una mayor degradación o lixiviación, además de su contacto permanente con el agua, hay mayor fragmentación del plástico.

2.1.2 Internacionales

En el río Títicaca, Chambi & Yanes (2023) desarrollaron el estudio titulado “Presencia de microplásticos en playas del Lago Títicaca, Puno”, se utilizó la técnica de muestreo de arena de playa, las muestras fueron recolectadas en entornos naturales, como arena, sedimentos y aguas superficiales, sumando un total de 18 muestras. La metodología utilizada incluyó el tamizado con mallas de 1 a 5 mm (milímetros) para las muestras de arena, la recolección por arrastre con un promedio de 11 kg por muestra en sedimentos, y la filtración de 20 litros de agua superficial a través de una malla de 200 μm (micras). Los resultados fueron, 158 partículas de microplásticos, el tamaño de 1-5 mm, identificando los colores negros 25%, blanco 18%, amarillo 13%, azul 12%, transparente 9%, verde 8%, rojo 8% y otros 7%, con un peso general de 0.1494 g (gramos), y con formas de fragmento, fibra, hojuela, esfera y película. Por lo tanto, se registra presencia de microplásticos que afectan a los ecosistemas de la zona.

Huanaco & Gamboa (2023) realizaron su tema de investigación titulado “Microplásticos en sedimentos fluviales en la cuenca baja del río Rímac, Perú”, que corrobora la existencia de microplásticos en los sedimentos laterales del río Rímac. El diseño y la selección de las áreas de muestreo se realizaron tras un análisis exhaustivo de la información disponible, un reconocimiento del entorno de la zona de estudio, y la verificación de accesos seguros a las áreas seleccionadas. Los resultados revelan la presencia de 97 partículas de microplásticos en noviembre de 2017, y 2982 en agosto de 2018. Las formas predominantes de microplásticos incluyen fragmentos, películas, filamentos y esférulas. La presencia de estos materiales en los sedimentos se asocia con los residuos sólidos que se acumulan en el cauce del río.

Según el estudio de Lacava et al. (2022) “Evaluación de la presencia de microplásticos en playas del río de la Plata: ciudad de Buenos Aires y alrededores”, se clasificó y caracterizó la presencia de microplásticos según su morfología, Los microplásticos se separaron utilizando técnicas de flotación y fueron identificados visualmente a través de observación microscópica. Se registró un total de 464 microplásticos, siendo las fibras y microesferas las formas más comunes. Los microplásticos encontrados están en consonancia con las actividades económicas del área de estudio y con la dinámica hidrogeológica de la cuenca del Río de la Plata.

2.2 Fundamentación Legal

Por la creciente visibilidad de los problemas ambientales que conlleva los microplásticos, fue considerada palabra del año en el 2018 (FUNDEU BBVA, 2018), en Ecuador no existe una legislación específica en contra de la contaminación por microplásticos, no obstante existe el marco legal ambiental del país donde se plantea la contaminación en general, incluyendo indirectamente la problemática por microplásticos a través de diversas leyes y normativas que regulan la calidad del agua, la gestión de residuos sólidos y la protección del ambiente.

2.2.1 Normativa Internacional

- **Leyes y Regulación Regionales**

Convenio de Basilea: Regula el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, incluyendo plásticos contaminados y residuos plásticos mezclados, con el objetivo de asegurar su manejo ambientalmente adecuado (Secretaría del Convenio de Basilea, 2019).

Convenio de Estocolmo: Busca eliminar o restringir contaminantes orgánicos persistentes que pueden transportarse a través de microplásticos en el medio ambiente (Secretaría del Convenio de Estocolmo, 2020).

- **Resoluciones Internacionales**

Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA): Varias resoluciones instan a los Estados miembros a tomar medidas para reducir el uso de plásticos, mejorar la gestión de residuos y promover la investigación sobre el impacto de los microplásticos (Departamento de Medio Ambiente, 2022).

- **Acuerdos Internacionales Multilaterales**

Acuerdo de Osaka del G20: Marco de implementación del G20 sobre la basura plástica marina, que promueve la cooperación internacional y la implementación de mejores prácticas para reducir la contaminación por plásticos y microplásticos (CIDCE, 2023).

2.2.2 *Normativa Nacional*

- **Leyes**

Constitución de la Republica del Ecuador (2008):

✓ En el artículo 14 de la constitución, reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

✓ En el artículo 15, 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 Republica del Ecuador, 2008).

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).

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).

- **Normas Técnicas**

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).

- **Planes y Políticas Nacionales**

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).

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).

- **Ordenanzas y Prohibiciones Locales**

Prohibiciones en el uso de plásticos de un solo uso: Prohibiciones implementadas en provincias y ciudades como Galápagos, que restringen el uso de bolsas plásticas, botellas, y pajillas. Estas medidas ayudan a reducir la generación de microplásticos (Ley Orgánica, 2020).

2.3 Fundamentación Teórica:

2.3.1 *Plásticos y su Producción*

De acuerdo con Castillo & Alvarado (2022) el plástico es un material sumamente atractivo debido a sus características como su bajo costo y durabilidad, convirtiéndose en un producto base hoy en día, dado que su utilización es ilimitada en varios sectores, derivado de materiales orgánicos como la celulosa, el carbón, el gas natural y la sal. Su origen radica en la polimerización de monómeros orgánicos obtenidos del petróleo, lo que lo convierte en un material versátil.

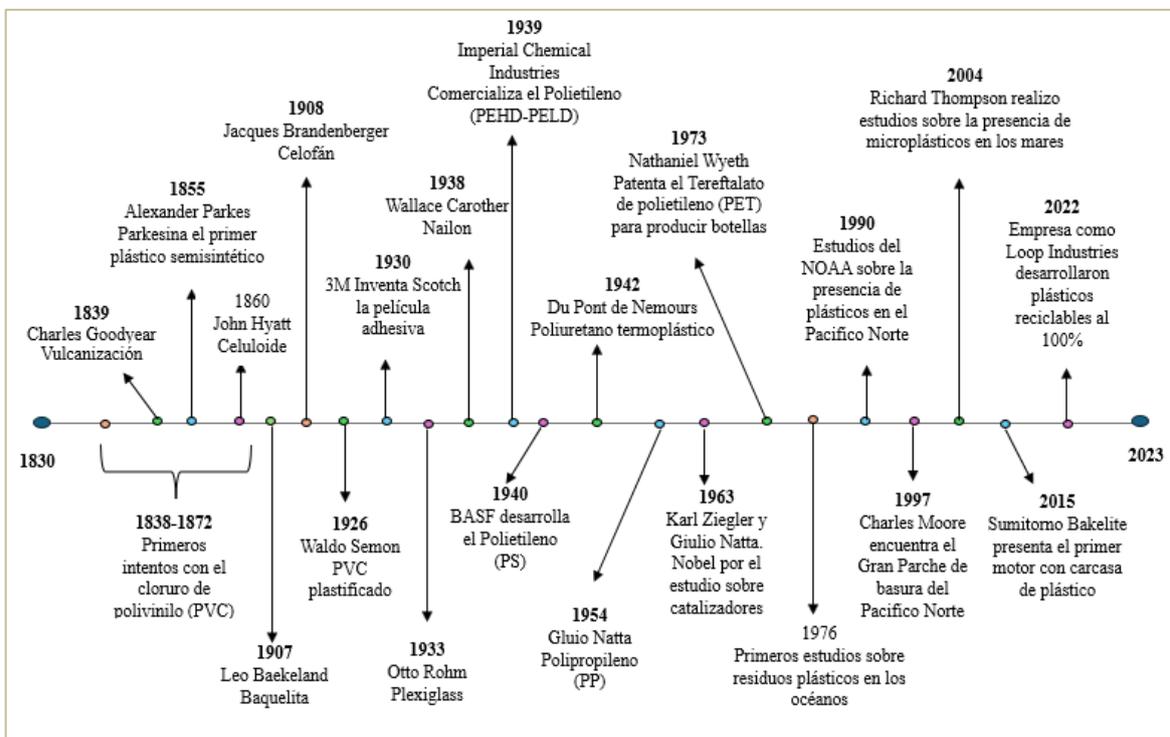
Uno de los desafíos ambientales más significativos, es la creciente producción de plásticos en la actualidad, su uso se ha convertido en un problema mundial, causando daños principalmente en los sistemas acuáticos ya que comúnmente es su destino final (Espino & Koot, 2020).

En la Figura 1 se describe como el plástico se ha ido transformando a lo largo del tiempo, desde la invención del plástico en el siglo XIX hasta la actualidad su producción ha superado los 390,7 millones de toneladas al año, siendo evidente su crecimiento a pesar de

que haya existido un estancamiento por el COVID-19 en 2020, no obstante de esto China sigue siendo el mayor productor mundial de plástico, con aproximadamente el 32% del total, conjuntamente con Japón y el resto de Asia atribuyen un 20% más a la producción mundial, América del Norte contribuye con el 18% del total, seguida por Europa, específicamente en Alemania que destaca con el 15% y por ultimo Latinoamérica con el 4% del total (Plastics Europe, 2022).

Figura 1

Línea de tiempo de los principales plásticos desde su descubrimiento



Nota: Adaptado de Caruzo & Bernal (2022).

En Latinoamérica los principales productores y consumidores de plásticos son: Brasil, México, Argentina, Colombia y Venezuela (Bianco et al., 2021). Estos países se enfocan principalmente en la producción de plásticos como: envases, productos de consumo, componentes automotrices, plásticos para la agricultura y el embalaje, en 1980 el consumo per cápita era de 7 kg/habitante/año, en la actualidad este dato ha aumentado por encima de

los 30kg/ habitante/año, tan solo México y Brasil consumen el 40% de plásticos, utilizados para alimentos y bebidas (Bianco et al., 2021).

2.3.1.1 Clasificación de Plásticos.

2.3.1.1.1 Según su Origen.

Plásticos sintéticos: Fabricados a partir de compuestos químicos derivados principalmente del petróleo, gas natural o del carbón (Morocho & Pozo, 2022).

Plásticos naturales: Polímeros compuestos de productos o materias primas renovables como plantas, animales u otros organismos (Scientists Coalition, 2023).

2.3.1.1.2 Según sus Propiedades.

En la tabla 1 se presentan los tipos de plásticos según sus propiedades catalogados en 3 tipos.

Tabla 1

Tipos de plásticos según sus propiedades

Tipo	Definición	Ejemplos
Termoestables	Aquellos que una vez moldeados mediante calor, no pueden volver a fundirse ni deformarse ya que se vuelven rígidos y quebradizos.	Baquelita Resinas de poliéster insaturado (UP) Resinas epoxi Éster de vinilo
Termoplásticos	Se caracterizan por poder moldearse cuando se calientan y luego se endurecen cuando se enfrían, adaptándose a la forma que se le da.	Polipropileno (PP) Polietileno (PE) Poliamidas (PA) Policloruro de vinilo (PVC)
Elastómeros	Destaca su alta capacidad de elasticidad y flexibilidad.	Caucho Gomas Siliconas

Nota. Adaptado de Morocho & Pozo (2022).

2.3.1.2 Plásticos en el agua

Los plásticos llegan a los sistemas acuáticos principalmente por residuos mal gestionados, actividades industriales como agrícolas y demás. Una vez el plástico entra en contacto con el agua, inicia un proceso de degradación o mineralización de los polímeros (Donoso, 2018). La baja capacidad de degradación es uno de los puntos importantes para su amenaza contra el ambiente, los plásticos no desaparecen ya que conlleva cientos de años que la degradación de un plástico ocurra dependiendo de su tipo, en el transcurso del tiempo el plástico llega a fragmentarse por su exposición al agua y su movimiento, donde se liberan pequeñas partículas llamadas microplásticos, es decir solo se transforman en concentraciones químicas y tóxicas más pequeñas (Center for International Environmental, 2018). La problemática ira en aumento a medida que haya mayor acumulación de plásticos en los cuerpos de agua.

2.3.2 *Microplásticos*

En el 2008 se realizó la jornada “First International Workshop on the Occurrence Effects and Fate of Microplastic Marine Debris” en la cual se definió puntualmente a los microplásticos como partículas con un tamaño no superior a 5mm, siendo fragmentos con formas regulares o irregulares (Bollaín & Agulló, 2019; Thompson et al., 2009).

Con la aceptación del término mencionado anteriormente por parte de la comunidad científica, hoy en día existe un crecimiento exponencial sobre estudios relacionados acerca de las consecuencias de los microplásticos, pese a esto aún no se le da la relevancia necesaria a este problema en países o ciudades latinoamericanas que ya presentan daños ambientales causados por los microplásticos.

2.3.2.1 Composición de los Microplásticos.

Según la FAO (2017) en su investigación menciona que existen 6 tipos de polímeros importantes en su composición los cuales son: polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poliéster (PES), nylon (PA) y cloruro de polivinilo (PVC). Al contener aditivos químicos los cuales son liberados en el medio ambiente al ocurrir el proceso de fragmentación.

2.3.2.2 Clasificación de los Microplásticos Según su Origen.

Existen dos tipos de microplásticos según su origen:

Primarios: Son aquellos fabricados intencionalmente en tamaños menores a 5 mm, como son los pellets (materia prima para la fabricación de productos plásticos) utilizados para crear envases de bebidas y las microesferas utilizadas en el ámbito del cuidado personal y productos cosméticos (Y. Li et al., 2022).

Secundarios: Su formación se da a causa de la degradación de materiales plásticos de mayor tamaño (bolsas plásticas, botellas, ropa fabricada con polímeros, etc.) mediante su exposición a eventos como la radiación solar, acción de las olas y la abrasión con lo cual se da la fragmentación en partículas más pequeñas (Academia Mexicana de Ciencias, 2022).

2.3.2.3 Clasificación de los Microplásticos Según sus Características.

Forma: Según Zhang et al. (2020) mencionan que existen microplásticos presentes en el medio ambiente en diferentes formas como:

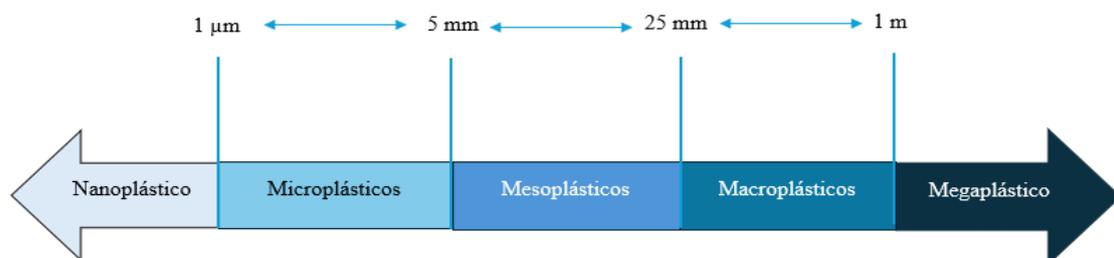
- **Microfibras:** Fibras pequeñas y delgadas provenientes de textiles sintéticos que suelen ser liberados durante el lavado de la ropa debido a sus características se facilita su dispersión en el medio acuático.

- Pellets: Conocidos también como “granza” o “nurdles”, tiene un aspecto generalmente cilíndrico o esférico, empleados en fabricación de plásticas de mayor tamaño.
- Films: Láminas finas procedentes de bolsas o envoltorios plásticos, producidas por efecto de la degradación, pueden ser transportadas por factores como el aire o el agua, permitiéndoles cruzar grandes distancias desde su punto de origen.
- Fragmentos: Piezas plásticas con forma irregular resultado de rupturas o desgaste de plásticos de mayor tamaño (botellas, envases o juguetes), generalmente suelen variar en forma y tamaño, es una de las formas más habituales de microplásticos en el ambiente.
- Espuma: Partículas flotantes generados a partir de la descomposición de plásticos espumados como el poliestireno, se los determina por su baja densidad y su textura suave (Segarra, 2023).

Tamaño: Según Thompson et al. (2004) catalogan el tamaño de los microplásticos a los menores de 5 mm, otros estudios reportan a los microplásticos como partículas de tamaño entre 1mm a 5 mm y los menores a 1 mm son considerados nanoplásticos dentro de los microplásticos secundarios, en la actualidad el rango aceptado es sugerido por Hartmann et al. (2019) quienes categorizan a los plásticos desde nanoplásticos a los megaplásticos como se muestra en la figura 2, la cual muestra todos los tamaños que puede tener el plástico.

Figura 2

Rango de tamaños de los plásticos



2.3.2.4 Toxicología de los Microplásticos.

Los aditivos químicos que presentan los microplásticos conjuntamente con los factores a los que son expuestos actuando como vectores los convierten en productos tóxicos para los seres vivos como al medio ambiente, la capacidad que tienen de absorber contaminantes externos como pesticidas, Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), bacterias patógenas y metales pesados, esto incrementa su toxicidad al entrar en contacto o ingresar por ingesta en los seres vivos (ERIA, 2023).

2.3.2.5 Técnicas de Separación de los Microplásticos.

2.3.2.5.1 Tamizado.

Contempla el empleo de tamices que capturan físicamente a los microplásticos presentes en las muestras de agua permitiendo su separación de acuerdo a los tamaños de las partículas, siendo las de menor tamaño las que pasan por los poros del tamiz y los grandes son retenidas por el mismo de acuerdo a los diferentes tamaños de abertura, este proceso requiere cierto movimiento para que la separación pueda ocurrir, generalmente los tamices utilizados se ordenan de mayor a menor tamaño, colocando la muestra desde la parte superior del conjunto de tamices, quedando al final las partículas clasificadas en diferentes fracciones correspondiente a un rango de tamaño específico (Barros, 2021; Castillo, 2022).

2.3.2.5.2 Método WPO (Wet Peroxide Oxidation)

Aprovechado en casos donde se requiere la cuantificación precisa de microplásticos en matrices contaminadas, constituye un método químico utilizando como reactivo al peróxido de hidrógeno (H_2O_2) para la eliminación de materia o contaminantes orgánicos en muestras ambientales como el agua, sedimentos u otros materiales, este método resulta útil porque no logra destruir a los microplásticos al ser polímeros resistentes a la oxidación, no se ven afectados por el proceso (Bretas et al., 2022; García, 2023).

2.3.2.5.3 Separación por Densidad.

Técnica de separación directa que utiliza diferencias de densidad para apartar los microplásticos de otras partículas presentes en la muestra, el reactivo más comúnmente utilizado es el cloruro de sodio (NaCl), aunque se puede emplear otros reactivos dependiendo de la densidad que se desee alcanzar. Un punto importante es evitar el contacto innecesario con la atmosfera ya que este se contaminará por partículas ajenas a la muestra. Los microplásticos flotan en soluciones de alta densidad, permitiendo su recolección y análisis posterior (Crawford & Quinn, 2017).

2.3.2.6 Contaminación Ambiental por Microplásticos y sus Riesgos.

Como se ha mencionado anteriormente, los microplásticos se han convertido en un problema mundial, consecuentemente hoy en día su presencia es en todos los ecosistemas incluyéndose las cadenas tróficas, un punto importante, es entender que muchos de los estudios realizados sobre microplásticos han sido en aguas marinas, por lo tanto hay mayor desinformación sobre contaminación por microplásticos en los ríos (Castañeta et al., 2020).

2.3.2.6.1 Microplásticos en los ecosistemas acuáticos.

Varios estudios señalan a la capacidad de adsorción de los microplásticos de retener contaminantes químicos generan cambios en la calidad del agua del ecosistema puesto que las partículas plásticas son persistentes en el tiempo. Las mismas partículas pueden ser ingeridas por especies acuáticas debido a su tamaño, provocando daños en su salud, presentando síntomas como: obstrucciones en el tracto digestivo, pérdida de apetito, malnutrición además de esto hay aumento de estrés, heridas, inflamaciones, perdida de movilidad y la acumulación de microplásticos genera alteración del hábitat natural, afectando su biodiversidad y modificando las relaciones ecológicas entre especies (Mogrovejo & Sarago, 2022).

Actividades antrópicas y factores naturales han facilitado la presencia de microplásticos en el agua, por ejemplo: residuos plásticos en áreas urbanas que han sido arrastrados ya sea por el viento o la lluvia, aguas residuales expulsadas a sistemas acuáticos, actividades agrícolas e industriales que hacen uso de plásticos que al mismo tiempo combinada con la mala gestión de los residuos sólidos cercanos a los ríos agravan el problema (Sáenz, 2020).

2.3.2.6.2 Microplásticos en los Sedimentos.

De acuerdo con Drummond et al. (2022) en los resultados de su investigación menciona que los microplásticos pueden persistir durante años en ríos con un caudal lento, durante su trayendo por las diferentes zonas recoge fragmentos que son atrapados en sedimentos en un intercambio hiporreico, eventos como el cambio climático genera tormentas e inundaciones más arduas y concurrentes e incluso actividades como el dragado que alteran los caudales de los ríos que terminarían por liberar los microplásticos acumulados en los sedimentos (Carbery *et al.*, 2018).

Los sedimentos pueden actuar como sumideros y fuentes de microplásticos (Yao et al., 2019) afectando la estructura y diversidad de las comunidades microbianas, además de crear nuevos hábitats para los microorganismos, lo que puede modificar las funciones ecológicas de los ecosistemas (Kaur et al., 2022).

2.3.2.6.3 Microplásticos en la cadena trófica.

Se genera un problema por microplásticos ante su consumo en productos alimentarios provenientes del agua de ríos, mares y lagos, entre otros productos de consumo humano como bebidas embotelladas, miel, comidas enlatadas, que se mueven a través de la cadena trófica afectado a organismos en todos los niveles, desde los más pequeños hasta los más grandes depredadores, incluidos los seres humanos (Castañeta et al., 2020).

Según la FAO (2019), en su investigación titulada “Los microplásticos en los sectores de pesca y acuicultura” se realizó un estudio en donde 25 especies de peces comercialmente conocidos, 11 de ellos contenían microplásticos, los organismos pueden consumir de manera directa o indirecta microplásticos, ya sea por sedimentos o por partículas en suspensión y de manera indirecta por el consumo de otro animal u especie.

La transferencia trófica de los microplásticos entre especies se da debido a que no existen rutas enzimáticas para digerir polímeros sintéticos, siendo así como aumenta la concentración en los organismos (Academia Mexicana de Ciencias, 2022; Sousa et al., 2021), su presencia conlleva la existencia de contaminantes químicos y bacterias patógenas asociados a enfermedades que llegan afectar al sistema intestinal, incluso siendo capaces de traspasar el epitelio intestinal, transportándose por el torrente sanguíneo y afectar a otros órganos de acuerdo a la concentración y el tamaño de los microplásticos (Alprol et al., 2021; Shi et al., 2024).

2.3.2.6.4 Microplásticos en la Salud Pública.

La exposición a microplásticos es continua en la vida del ser humano, llegando a afectar de diversas maneras según las rutas de exposición ya sea por inhalación, ingestión o contacto con la piel (Figura 3), cada una de ellas contribuye a la carga total de microplásticos en los seres humanos expuestos a implicaciones que aún no están completamente entendidas para la salud.

Figura 3

Potenciales rutas de exposición por microplásticos en los seres humanos



Los microplásticos llegan al sistema respiratorio cuando se inhalan partículas suspendidas en la atmósfera siendo una vía principal de entrada al cuerpo humano, especialmente en ambientes urbanos y cerrados que son desplazadas por la dispersión del viento, actor crucial para su movimiento, las partículas finas son liberadas por factores como la quema de basura, abrasión de neumáticos, desgaste de textiles sintéticos, productos de limpieza, entre otros (OPS, 2023). De manera que se presentan enfermedades derivadas como el asma, bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), irritación pulmonar y cáncer (National Geographic, 2022).

La ingesta de microplásticos mediante alimentos y bebidas contaminados genera daños en el sistema digestivo interfiriendo en la absorción de nutrientes vitales, causando irritación e inflamación, daños en la barrera intestinal y modificación de la microbiota intestinal (Sanchez & Daza, 2023). Tomando en cuenta que las investigaciones en humanos son limitadas, la evidencia actual demuestra que la exposición continua genera efectos negativos, aumentando el riesgo de trastornos crónicos y enfermedades asociadas.

El contacto con la piel es considerado la ruta de exposición menos relevante en comparación con las antes mencionadas, productos de uso diario como los cosméticos presentan microesferas y fibras sintéticas además del polvo en el ambiente o de manera indirecta por contacto con objetos contaminados, por su tamaño logran penetrar la piel causando daños en la salud de la persona (Wang et al., 2020). Este tipo de exposición puede causar irritaciones o dermatitis en personas con piel sensible, si las partículas tienen un tamaño lo adecuadamente pequeño llegan a atravesar la pared cutánea a través de los poros, siendo el cuero cabelludo vulnerable a la penetración de partículas tan diminutas como los microplásticos (Abbasi, 2021; Wang et al., 2020).

2.3.3 *Actividades Productivas del Cantón Pastaza.*

El cantón Pastaza, cuyo centro urbano es la ciudad de Puyo, donde se registra la mayor parte de la población total del cantón (GAD Pastaza, 2022).

El cantón Pastaza destaca por sus actividades productivas, por ejemplo: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, industria maderera, procesamiento de alimentos, turismo y actividades comerciales y domésticas.

La agricultura, ganadería, silvicultura y pesca son actividades predominantes con un 40% y 50% de la actividad económica; la industria maderera genera un 15%, esta cifra incluye la tala como el procesamiento de la madera, siendo una actividad común en la región amazónica por su enorme potencial forestal; el procesamiento de alimentos de igual forma genera entre un 10% y 15% de la economía local manejando productos agrícolas y ganaderos, existiendo un camal, dos plantas de lácteos y un centro de acopio de leche en la ciudad; el turismo representa entre un 5% y 10% de la actividad económica a pesar del gran potencial megadiverso, plurinacional e intercultural de la zona; y por último las actividades comerciales y domésticas constituyen entre el 20% y 30% de la economía (GAD Pastaza, 2015, 2022).

2.3.4 *Contaminación en el río Puyo*

El río Puyo recibe fuentes directas de contaminación, al no presentar plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, además de carecer de sistemas de gestión ambiental y manejo adecuado del río siendo un potencial peligro para la fauna, flora, la salud humana y economía turística de la población, resultado de actividades antrópicas por el crecimiento poblacional. Varios estudios realizados a lo largo de los 44 km del río Puyo han demostrado que el nivel de contaminación está en un nivel medio en zonas donde existe mayor presencia de población y bajo en zonas alejadas al área urbana (Jaramillo et al., 2020).

Según Abril et al. (2021) en los resultados de su investigación determino que existen concentraciones por encima de los límites establecidos de DBO₅, coliformes totales y fecales cercanas al área urbana según la Norma Ambiental Ecuatoriana especificado en el Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria (TULAS).

Unos de los problemas que conlleva la contaminación a los son expuestos los moradores de comunidades indígenas cercanas a las riberas del río Puyo ya que son afectados directamente en la salud, la seguridad alimentaria y las prácticas culturales de las mismas, creando desafíos significativos para su bienestar y su forma de vida tradicional.

Capítulo 3

Diseño Metodológico

3.1 Enfoque de la Investigación

La investigación sobre la concentración de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo adopta un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos y cualitativos. En el enfoque cuantitativo, se midió la concentración y distribución de microplásticos en las muestras de agua recolectadas en los puntos específicos de la cuenca alta del río Puyo. En el enfoque cualitativo, se examinarán los métodos de identificación de los microplásticos, a través de una revisión bibliográfica para entender mejor sus características.

3.2 Diseño de la Investigación

La investigación se basó en un diseño experimental, que se enfoca en los métodos relacionados con microplásticos, con el propósito de analizar su impacto y comportamiento dentro de los ecosistemas acuáticos. Asimismo, se empleó un diseño correlacional para explorar las conexiones entre los datos obtenidos sobre microplásticos y otros factores estudiados, identificando posibles concordancias con la calidad del agua. Este enfoque permitió un indicador fundamental para analizar la calidad del agua en la cuenca alta del río Puyo.

3.3 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca alta del río Puyo, la cual forma parte de la microcuenca del río Puyo, ubicada en el cantón Pastaza, provincia de Pastaza (Figura 4). Los tipos de suelos son procedentes de cenizas volcánicas, con texturas limosas y niveles altos de materia orgánica. Esta microcuenca posee una extensión 35200 ha y presenta una temperatura promedio de 22 y 23 °C. El cauce principal tiene una longitud de 44 km hasta su desembocadura en el sector de Puyopungo.

muestras mediante recipientes plásticos, capturando cada muestra de agua en dirección contraria al flujo corriente, una vez recolectados se vertieron en recipientes de vidrio anteriormente etiquetados (Figura 5). Posteriormente, las mismas muestras fueron transportadas hasta el laboratorio de Edafología y Ensayos No Destructivos de la Universidad Nacional de Chimborazo (Unach), con el objetivo de analizar y cuantificar los microplásticos. Adicionalmente se completó un formulario para documentar las características específicas de cada punto, facilitando el registro y organización detallada de información relevante.

Figura 5

Toma de muestras



3.5 Muestra

Se tomaron porciones de cada uno de los puntos de la cuenca alta, subdivida en alta, media y baja. Utilizando el volumen de muestra según la metodología descrita por León et al. (2020) se pudieron obtener un total de 18 litros de agua de la cuenca siguiendo lo recomendación de recolectar 2 litros por punto de muestreo, la muestra se toma directamente del flujo superficial del río, sumergiendo el recipiente en el agua con la apertura en sentido contrario a la corriente para evitar la recolección de residuos superficiales no

representativos. El volumen establecido es la cantidad adecuada para la identificación de microplásticos en ríos.

Esta metodología ha sido utilizada en estudios similares, ya que permite obtener una muestra representativa sin afectar la precisión del análisis. Además, este volumen facilita el procesamiento en laboratorio, asegurando la eficiencia en la separación y cuantificación de partículas sin requerir un uso excesivo de reactivos ni incrementar el riesgo de contaminación cruzada. Con esto se lograron tomar 3 muestras por punto, cada una tomada mensualmente en un periodo de 3 meses (Figura 6).

Figura 6

Muestreo de microplásticos



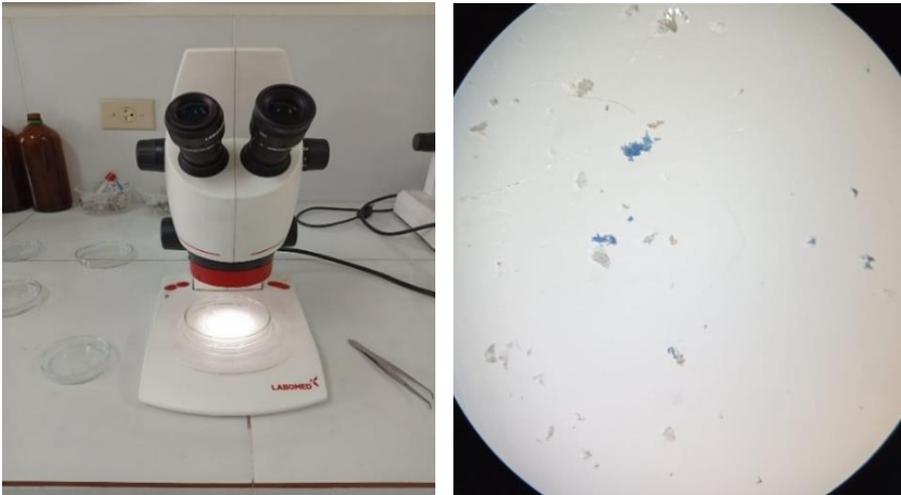
3.6 Identificación de microplásticos en laboratorio

Con el propósito de identificar los microplásticos presentes se utilizó un estereomicroscopio LED con cámara digital integrada (Figura 7), que conjuntamente con el protocolo establecido por León et al. (2020) para la planificación, recolección, análisis e identificación de microplásticos en ríos, explica la elección del estereomicroscopio como una herramienta clave en el análisis de microplásticos debido a su capacidad para proporcionar una visualización detallada de los materiales en diferentes tamaños y formas.

El estereomicroscopio permite observar las características físicas de los microplásticos de manera precisa, facilitando la identificación de partículas de diversos colores, texturas y formas que, a simple vista, podrían ser difíciles de distinguir. Además, el uso del estereomicroscopio aumenta la precisión en la estimación de la cantidad y el tipo de microplásticos, lo que mejora la fiabilidad de los resultados obtenidos en la investigación.

Figura 7

Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio

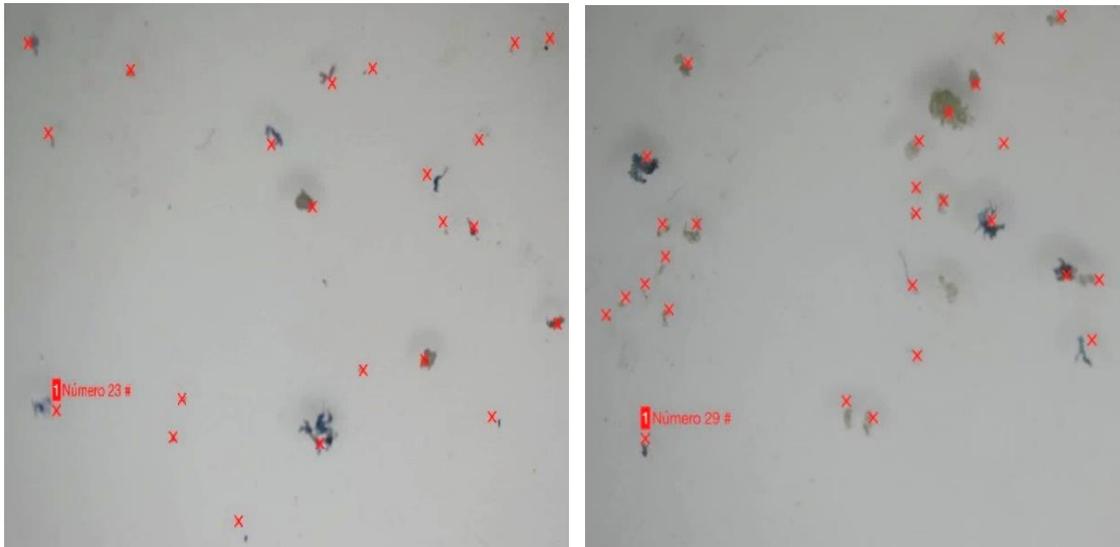


I. Determinación de la concentración de microplásticos mediante conteo

Para determinar la concentración de microplásticos mediante el conteo, se aplicó la metodología antes mencionada descrita por León et al. (2020) en el Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos (Figura 8). De acuerdo con los procedimientos establecidos, se filtró un volumen específico de agua utilizando un filtro de plata adecuado para la filtración y secado eficiente, el cual se dejó secar a temperatura ambiente. Posteriormente, el filtro fue etiquetado para su identificación, marcando además dos puntos de referencia para facilitar la observación. El conteo de microplásticos se realizó siguiendo un patrón ordenado de zigzag, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, conforme a las instrucciones descritas en el protocolo anteriormente mencionado.

Figura 8

Identificación de microplásticos a través del estereomicroscopio

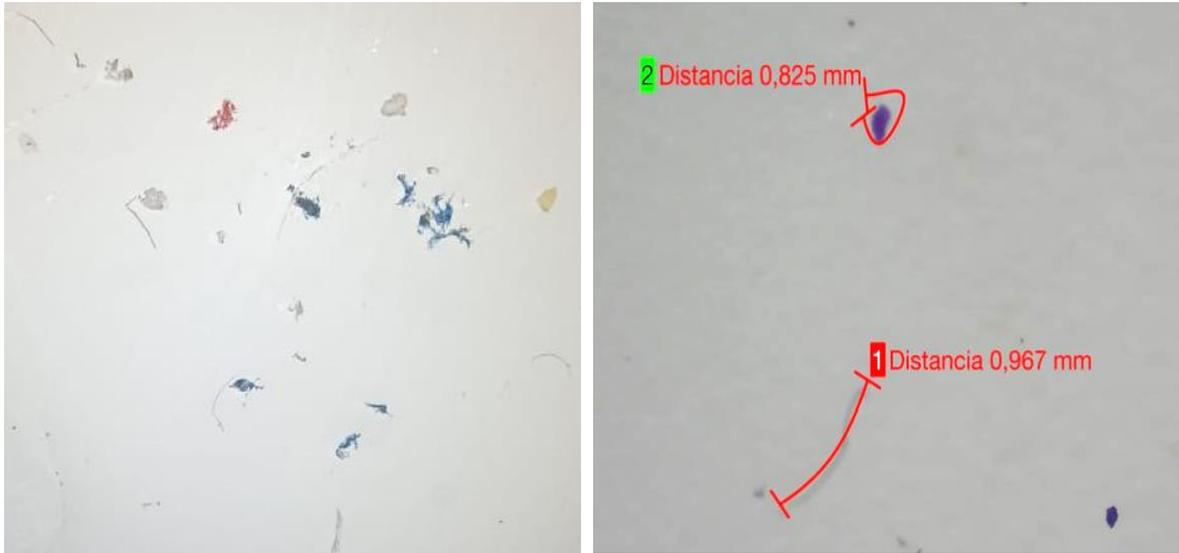


II. Determinación del tipo de forma, color y tamaño.

De la misma forma se utilizó la técnica propuesta por León et al. (2020) descrita en el anexo 4 (guía para descarte y apoyo en la identificación) del Protocolo para la planificación, recolección, evaluación e identificación de microplásticos en ríos (Figura 9). Durante el proceso de determinación de concentración, se registraron observaciones de los microplásticos contabilizados, considerando sus formas (esferas, películas, esponjas, fragmentos y filamentos); colores, clasificados según tonalidades principales tales como amarillo, rojo, azul, negro, verde, blanco, naranja, cian, rosado y magenta. Además del tamaño de los microplásticos menores a 5 mm.

Figura 9

Caracterización de tipo, color y tamaño de microplásticos



3.7 Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias en la concentración de los microplásticos entre los puntos de muestreo, se utilizó un diseño de bloque simple, que consiste en dividir las unidades experimentales en grupos o bloques, de tal manera que las unidades dentro de cada bloque sean lo más similares posible en cuanto a ciertas características o factores que podrían influir en los resultados (Montgomery, 2013), el cual permitió identificar fuentes de variabilidad asociadas al factor de tratamientos y al factor de bloque. En este esquema, las concentraciones medidas se asignaron como tratamientos y los puntos de muestreo como bloques, lo que facilitó la evaluación de su efecto sobre los resultados (Quinteros, 2022).

Posteriormente, los datos recopilados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) utilizado para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre los puntos de muestreo, se aplicó con el fin de evaluar si las diferencias observadas en los datos son mayores que la variabilidad aleatoria. Este análisis fue realizado utilizando el software

OriginPro, que proporcione las herramientas necesarias para llevar a cabo de manera eficiente el procesamiento estadístico.

Capítulo 4

Análisis y Discusión de los Resultados

4.1 Puntos de muestreo

Para definir los puntos de muestreo dentro de la cuenca alta del río Puyo, se tomaron en cuenta diversos factores, entre ellos la accesibilidad, la altitud y la influencia de actividades humanas. La selección de estos puntos se llevó a cabo a través de visitas de reconocimiento y localización en el sitio, lo que permitió identificar un total de 3 puntos de muestreo (Tabla 2).

Tabla 2

Puntos de muestreo

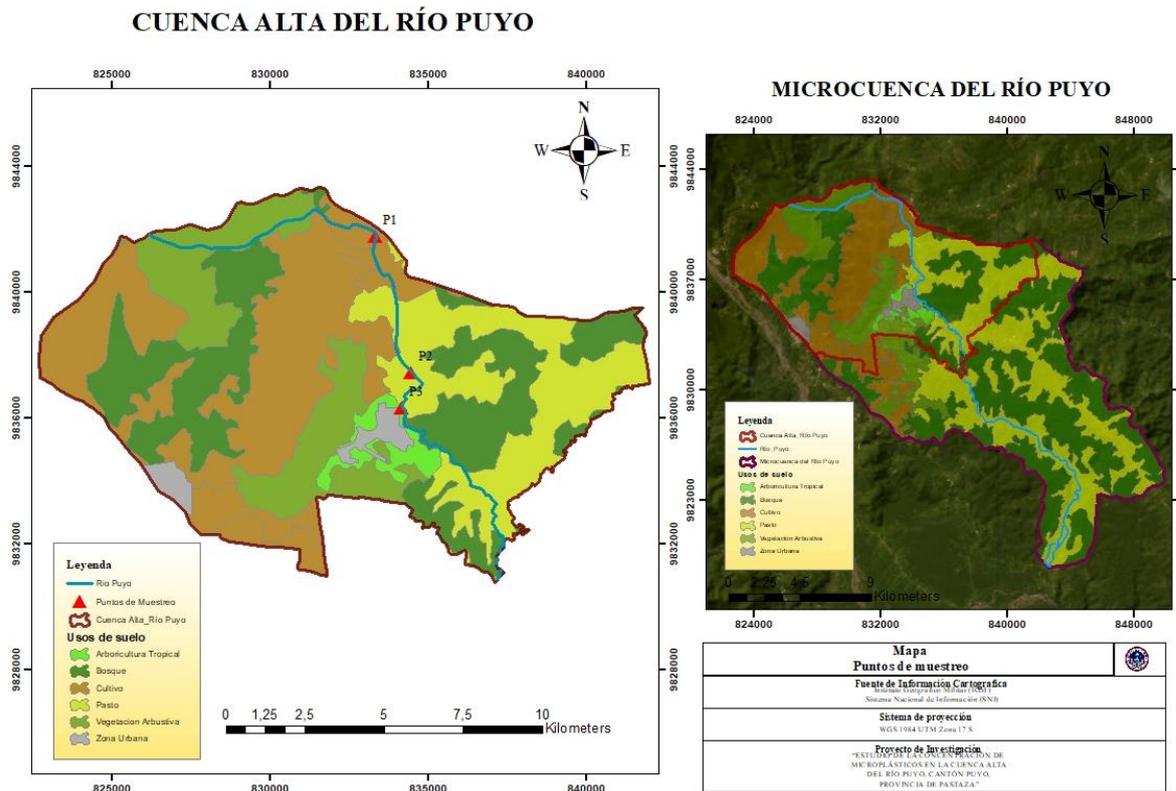
Partes de la cuenca alta	Punto de muestreo	Descripción	UTM_X	UTM_Y	UTM_Z
Zona alta	P1	Dique de Fátima	833306	9841814	985
Zona media	P2	Universidad Estatal Amazónica	166610	9837478	942
Zona baja	P3	Malecón “Boayaku”	166296	9836437	930

En la cuenca alta del río Puyo, se identificaron tres tipos de uso del suelo: bosque, cultivo y pasto, los cuales dominan el paisaje. A lo largo de la cuenca alta, también se observa la presencia de viviendas e infraestructura turística, que estrechamente relacionadas con la contaminación por microplásticos.

Los puntos de muestreo seleccionados dentro de la cuenca alta del río Puyo se muestran en la Figura 10. Estas coordenadas en el sistema WGS UTM 84, fueron obtenidos a través de la herramienta GPS Test, la cual proporciona los valores de X e Y con precisión.

Figura 10

Puntos de muestreo en la cuenca alta del río Puyo



4.1.1 Punto de muestreo 1: Zona alta de la cuenca alta del río Puyo

El punto de muestreo 1 se encuentra localizado en la zona alta de la cuenca alta del río Puyo, a una altitud de 985 m.s.n.m., (Figura 11). Esta zona se define por una cobertura vegetal dominada por bosques húmedos tropicales, con presencia de vegetación secundaria y áreas intervenidas por actividades humanas. La biodiversidad de esta zona cumple funciones clave en la regulación del ciclo hidrológico y la conservación del suelo. Sin embargo, la expansión de la agricultura, la ganadería y el turismo ha generado

modificaciones en la cobertura vegetal, afectando la capacidad natural de filtración y retención de contaminantes.

Uno de los factores de riesgo ambiental en la zona es la presencia del Dique de Fátima, un sitio turístico de alta afluencia donde las actividades recreativas, como el baño en el río y el consumo de alimentos en sus alrededores, pueden contribuir a la acumulación de desechos plásticos. Estos residuos, a través de procesos de fragmentación, pueden generar microplásticos que ingresan al sistema acuático.

Este punto de estudio es estratégico para determinar la carga inicial de contaminación y evaluar el desplazamiento de microplásticos aguas abajo, comprometiendo la calidad del agua y el equilibrio ecológico en sectores más bajos del río.

Figura 11

Punto de muestreo 1



Nota. Dique de Fátima

4.1.2 Punto de muestreo 2: Zona media de la cuenca alta del río Puyo

El punto de muestreo 2 se sitúa en la zona media de la cuenca alta del río Puyo, a una altitud de 942 m.s.n.m., (Figura 12). Este punto está rodeado por bosques y pastizales, siendo áreas destinadas a la ganadería particularmente, a la crianza de ganado y cerdos, junto con actividades agrícolas. Aunque la densidad de viviendas es baja, las prácticas agropecuarias

y la presencia de residuos plásticos como bolsas, lonas y envases han generado un impacto significativo en el medio ambiente. Estos plásticos, a través de la escorrentía y el viento, llegan al río, deteriorando su calidad.

La presencia de estos contaminantes no solo afecta al ecosistema acuático, sino que también representa un riesgo para la cadena alimentaria local. La progresiva acumulación de microplásticos en esta zona contribuye a su desplazamiento aguas abajo, aumentando la contaminación por microplásticos en el río.

Figura 12

Punto de muestreo 2



Nota. Sector de la Universidad Estatal Amazónica

4.1.3 Punto de muestreo 3: Zona baja de la cuenca alta del río Puyo

El punto de muestreo 3 se ubica en la parte baja de la cuenca alta del río Puyo, a una altitud de 930 m.s.n.m., (Figura 13), específicamente en el sector del Malecón Boayaku. Es una zona de mayor densidad poblacional y relevancia económica y turística para la ciudad. La presencia de restaurantes, hosterías y puestos de comida genera una considerable cantidad de desechos sólidos, principalmente plásticos, que, junto con los vertidos de aguas residuales sin tratamiento adecuado, agravan la contaminación del río.

Las aguas residuales contienen una mezcla de contaminantes, incluidos microplásticos que se acumulan y transportan a lo largo del río, la ausencia de sistemas de tratamiento agrava el problema, representando una amenaza para la salud pública y el equilibrio ambiental. El monitoreo en esta zona es esencial para evaluar la magnitud del problema y contribuir a estrategias de gestión de residuos y tratamiento de aguas residuales.

Figura 13

Punto de muestreo 3



Nota. Malecón Boayaku

4.2 Cantidad de microplásticos presentes en un volumen determinado de agua superficial de la cuenca alta del río Puyo

La tabla 3 presenta la distribución de la concentración de microplásticos en distintos puntos de muestreo a lo largo de la cuenca alta del río Puyo durante tres meses consecutivos. Se identificó una tendencia de aumento en las concentraciones desde la zona alta hasta la baja, lo que indica que los microplásticos se acumulan a medida que el río desciende y recibe más contaminantes de diversas fuentes.

Tabla 3

Concentración de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo

Partes de la cuenca alta	Puntos de muestreo	Concentración (Unid. MPs/L)		
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3
Zona alta	P1	11	23	19
Zona media	P2	26	29	37
Zona baja	P3	55	37	42

En la zona alta, el punto de muestreo P1 presenta una concentración entre baja y moderada de microplásticos. En el primer muestreo, la concentración fue relativamente baja con 11 MPs/L, aumentando en el segundo muestreo a 23 MPs/L y luego disminuyendo en el tercer muestreo a 19 MPs/L. El aumento en la segunda medición se asoció con factores estacionales como las lluvias intensas y el incremento de turistas por la temporada, lo que provocó mayor arrastre de microplásticos. En cambio, la ligera disminución observada en el tercer muestreo se asocia a la estabilización en las condiciones del río, conllevando un menor transporte de microplásticos durante este periodo, lo que permitió que los niveles se normalizaran parcialmente, aunque aún permanecen relativamente moderados.

En la zona media, el punto de muestreo P2, evidenció un aumento moderado en las concentraciones de microplásticos, en el primer muestreo se comenzó con 26 MPs/L, subiendo a 29 MPs/L en el segundo muestreo y alcanzando 37 MPs/L en el tercer muestreo. Este aumento progresivo se atribuye principalmente a la mayor intervención humana, intervenciones que requieren plásticos en cada uno de sus procesos, tomando en cuenta que existen períodos donde el uso de plásticos es mayor, por ejemplo, el tiempo de siembra y cosecha, donde hay necesidad de proteger los cultivos del clima y controlar las malezas con la utilización de pesticidas, la generación de plásticos de empaques de alimentos del ganado,

además de la cercanía del río a la Universidad local, en los meses de mayor carga estudiantil, significa mayor producción de residuos plásticos que terminan en el río Puyo,

En la zona baja, representada por el punto de muestreo P3, las concentraciones fluctuaron de 55 MPs/L en el primer muestreo a 37 MPs/L en el segundo muestreo y luego aumentaron a 42 MPs/L en el tercer muestreo. El descenso entre el primer y segundo muestreo podría estar relacionado con un período menor de actividad turística, es decir menor generación de residuos plásticos, pero en cuanto a los vertidos de aguas residuales por parte de la zona comercial, suelen ser constante. Sin un adecuado manejo de las aguas residuales y la disposición de residuos plásticos, estos terminan llegando al río, especialmente durante las lluvias o cuando las infraestructuras no son suficientes para manejar la cantidad de desechos generados.

Las variaciones en las concentraciones de microplásticos a lo largo de la cuenca, desde la zona alta hasta la baja, refleja una tendencia relacionada con la proximidad a áreas más urbanizadas. Los microplásticos tienden a acumularse a medida que el agua fluye hacia zonas más bajas y pobladas, demostrando que hay factores fundamentales para estas variaciones, tomando en cuenta que el país tuvo una época de sequía y aun así existió la generación de residuos plásticos, aunque la falta de lluvias redujo el arrastre directo de estos residuos hacia el río. Es decir que el manejo inadecuado de los residuos y el continuo consumo de productos plásticos contribuyen de igual forma a la presencia de microplásticos en el sistema acuático.

4.2.1 Comparación de microplásticos relacionados al agua superficial en la cuenca alta del río Puyo

La tabla 4 muestra la estadística descriptiva de la concentración de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo, catalogada en tres zonas: alta, media y

baja. Este registro contiene el número de muestras (N), la media aritmética, error estándar, la desviación estándar (SD), la varianza, el coeficiente de variación, valor mínimo y máximo estudiados de cada zona.

La zona alta de la cuenca alta presenta una concentración promedio de microplásticos de 17,67 MPs/L. Este valor sugiere una contaminación moderada en el área por la presencia de bosques, áreas intervenidas por actividades humanas, además de la influencia del dique de Fátima. La variabilidad en los datos es moderada, con un error de 3,53 y desviación estándar de 6,11; lo que indica fluctuaciones en las concentraciones registradas. La varianza de 37,33 refuerza esta dispersión. El coeficiente de variación del 34,59% señala que, si bien hay cierta variabilidad en los valores, la distribución de los datos es relativamente estable. Las concentraciones de microplásticos en esta zona varían entre un mínimo de 11 MPs/L y un máximo de 23 MPs/L. Esto sugiere que, aunque la contaminación no es extrema, existen diferencias entre los puntos de muestreo, posiblemente relacionadas con la proximidad a fuentes de contaminación.

La zona media de la cuenca alta presenta una concentración promedio de microplásticos de 30,67 MPs/L, lo que indica un aumento significativo en comparación con la zona alta. Este incremento puede estar relacionado con la mayor intervención humana en el área, donde, aunque hay pocas viviendas, se encuentran actividades como la ganadería, la crianza de cerdos y la presencia de pastizales. Además, la cercanía a la universidad podría influir en la dinámica de los residuos plásticos en la zona. Los datos muestran una variabilidad moderada, con un error estándar de 3,28 y una desviación estándar de 5,69; lo que sugiere fluctuaciones en las concentraciones de microplásticos, aunque dentro de un rango relativamente estable. La varianza de 32,33 confirma esta tendencia. El coeficiente de variación del 18,54% indica una dispersión baja en los datos, lo que sugiere que la contaminación es más uniforme en los puntos muestreados. Las concentraciones de

microplásticos en esta zona oscilan entre un mínimo de 26 MPs/L y un máximo de 37 MPs/L, evidenciando una contaminación más elevada y constante.

La zona baja de la cuenca alta presenta una concentración promedio de microplásticos más alta, con 44,67 MPs/L, lo que refleja una mayor contaminación en esta área. Este aumento puede atribuirse a la mayor densidad poblacional y a las actividades humanas intensivas, como el turismo y la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que favorece la acumulación de plásticos en el río. La variabilidad de los datos es considerable, con un error estándar de 5,36 y una desviación estándar de 9,29, lo que indica una dispersión más amplia en las concentraciones detectadas. La varianza de 86,33 confirma esta heterogeneidad en los valores. Sin embargo, el coeficiente de variación de 20,84% sugiere que, aunque hay fluctuaciones, la contaminación sigue una tendencia relativamente estable dentro de la zona. Las concentraciones de microplásticos en esta zona varían entre un mínimo de 37 MPs/L y un máximo de 55 MPs/L, lo que evidencia niveles elevados de contaminación en todos los puntos de muestreo.

Tabla 4

Estadística descriptiva de la presencia de microplásticos en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo

Partes de la cuenca alta	N	Media	Error estándar X	SD	Varianza	Coef.Var	Mínimo	Máximo
Zona Alta	3	17,67	3,53	6,11	37,33	34,59	11	23
Zona Media	3	30,67	3,28	5,69	32,33	18,54	26	37
Zona Baja	3	44,67	5,36	9,29	86,33	20,84	37	55

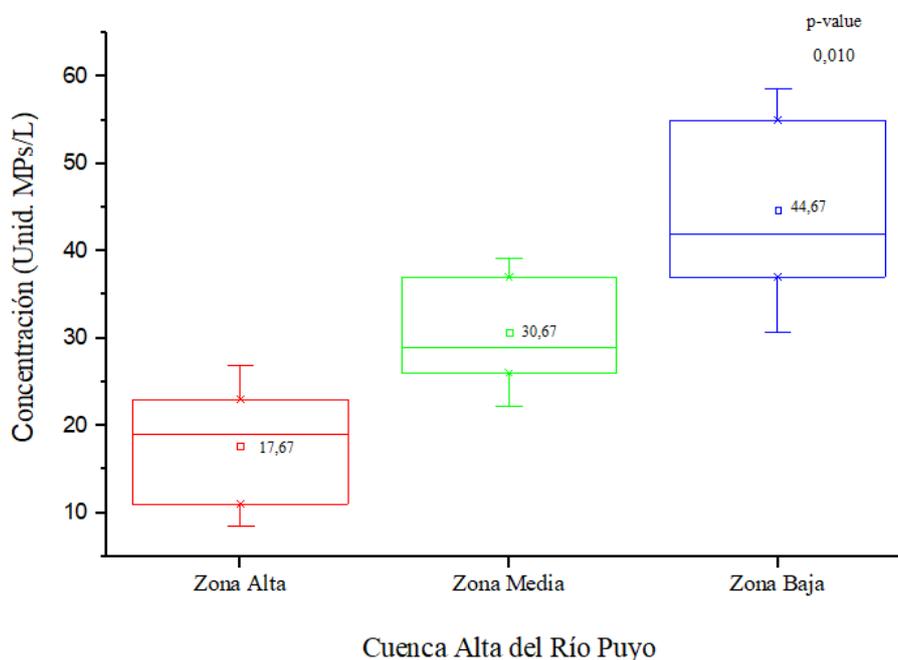
La Figura 14 muestra los gráficos de cajas (boxplots) que representa la concentración de microplásticos (MPs/L) en las tres zonas de la cuenca alta del río Puyo (alta, media y baja). Este gráfico permite observar la dispersión de los datos, los cuartiles, la mediana y los probables valores atípicos.

En la Figura 14 se visualiza un incremento claro en la concentración de microplásticos a medida que se desciende por la cuenca alta del río Puyo, siendo la zona baja la que presenta las concentraciones más altas. El valor p de 0,010 refleja una diferencia estadísticamente significativa entre las concentraciones de las tres zonas, sugiriendo que las actividades humanas y las características ambientales de cada área influyen de manera distinta en los niveles de contaminación. Aunque en la zona alta también se genera turismo, la menor concentración de microplásticos en esta área podría deberse a la mayor presencia de fuentes directas de contaminación, en comparación con las zonas media y baja.

A medida que se desciende en la cuenca alta del río Puyo, la concentración de microplásticos aumenta debido a la mayor intensidad de actividades humanas en las zonas bajas, donde se concentran el turismo, el comercio y el vertido de aguas residuales. Aunque en las zonas altas la actividad es más rural, la ganadería y la agricultura también generan residuos plásticos, aunque en menor cantidad. En las áreas urbanas y turísticas de la cuenca baja, el uso de plásticos de un solo uso es más frecuente, y la falta de sistemas de tratamiento adecuados contribuye a una mayor contaminación. La sequía de 2024 también pudo haber intensificado la concentración de microplásticos al reducir la capacidad del río para diluir y arrastrar los residuos, haciendo más evidente la acumulación de contaminantes en estas zonas.

Figura 14

Comparación de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo



4.3 Análisis de microplásticos presentes en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo

En la Figura 15 muestra distintas imágenes de microplásticos catalogados en fragmentos y filamentos, analizadas a través de un estereomicroscopio.

Imagen (1), se observa una combinación de fibras delgadas y fragmentos irregulares en colores rojo, blanco y amarillo. Los fragmentos presentan bordes bien definidos, lo que indica su posible origen en la degradación de plásticos más grandes. Las mediciones revelan la diversidad de tamaños y formas presentes en la muestra.

Imagen (2), prevalece un fragmento azul de estructura compacta y bordes irregulares, con una longitud de 3,762 mm. Este tipo de fragmentos puede provenir de la fragmentación de plásticos como bolsas o envases. Su tamaño y forma sugieren una etapa avanzada de degradación.

Imagen (3), se identificaron varios fragmentos y fibras de diferentes dimensiones, con mediciones detalladas que resaltan su variabilidad morfológica. Los fragmentos muestran signos de desgaste y posible fracturación, señala su persistencia en el medio acuático.

Imagen (4), se identificaron un grupo de microplásticos de diferentes tamaños y formas, con predominancia de fibras verdes y fragmentos azulados. La distribución dispersa sugiere un proceso de transporte y acumulación en la muestra analizada.

Imagen (5), se destaca una fibra traslucida y alargada con una estructura flexible. También se pueden ver partículas de distintos colores en el fondo, lo que indica una posible mezcla de fuentes de contaminación, como textiles y plásticos degradados.

Imagen (6), se identificaron fragmentos pequeños acompañados de fibras delgadas y alargadas de 0,347 mm y 0,961 mm. Las mediciones resaltan su tamaño reducido, lo que podría facilitar su ingesta por organismos acuáticos, generando un impacto ambiental significativo.

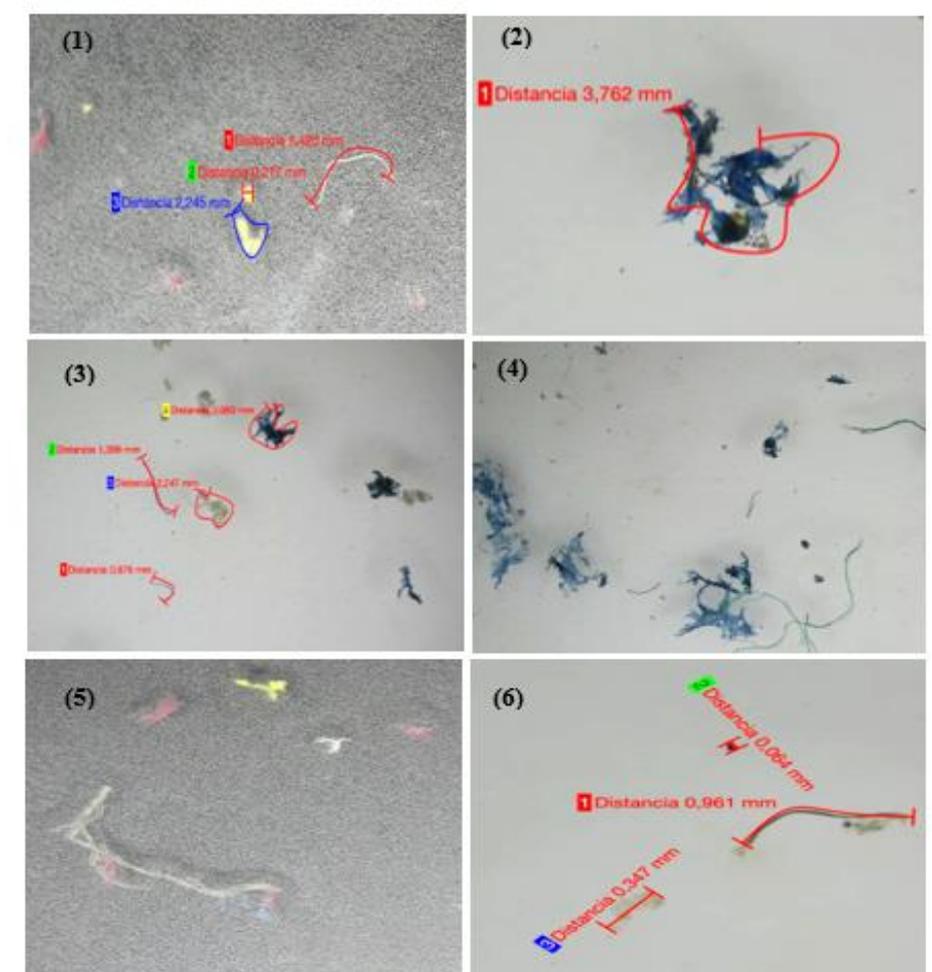
El análisis resalta la presencia de una gran diversidad de formas y tamaños de microplásticos en el agua, evidenciada en la combinación de fibras, fragmentos con diferentes morfologías y dimensiones. Esta variabilidad sugiere que los microplásticos pueden provenir de múltiples fuentes y estar sujetos a distintos procesos de degradación en el medio acuático. Las fibras alargadas, por ejemplo, suelen ser asociadas con textiles sintéticos, mientras que los fragmentos irregulares pueden originarse en la fragmentación de objetos plásticos más grandes. La identificación de estas partículas permite inferir los patrones de contaminación y su persistencia en el ecosistema.

Los microplásticos en el agua pueden tener diversas fuentes de origen, incluyendo el desgaste de productos de uso diario, el vertido de aguas residuales sin tratamiento, la degradación de redes de pesca y fragmentación de envases y bolsas plásticas. Las fibras

sintéticas liberadas durante el lavado de ropa y los residuos de neumáticos transportados por escorrentías. La identificación de estos materiales en el agua fortifica la necesidad de implementar estrategias de reducción y manejo adecuado de residuos plásticos para minimizar su impacto.

Figura 15

Morfotipos de microplásticos determinados en el agua superficial de la cuenca alta del río Puyo



4.4 Discusión de los Resultados

En los resultados presentados en la tabla 3, las concentraciones de microplásticos aumentan a medida que se desciende en los puntos de muestreo de la cuenca alta del río Puyo, esto se atribuye a diversos factores naturales y actividades humanas que facilitan su acumulación y transporte. A medida que los ríos descienden, incrementan su caudal y

capacidad de arrastre, transportando materiales desde las partes altas hacia las bajas, lo que provoca que se acumulen en las zonas bajas y áreas cercanas al río. Además, diversas actividades antropogénicas contribuyen significativamente a la presencia de microplásticos en los ríos. Por ejemplo, un estudio realizado por Garzón (2023), en sectores influenciados a la presencia de microplásticos en los ríos Magdalena y Sinú en Colombia registro concentraciones promedio de microplásticos de 155,11 MP/Kg en sedimentos y 3,27 Mp/m³ en aguas superficiales, atribuidas al aporte de ciudades principales como Santa Marta y Barranquilla.

La concentración de microplásticos en la zona alta va desde baja a moderada, aunque zonas más alejadas de las áreas urbanas suelen ser consideradas como zonas limpias, al existir actividades de cultivo y ganadería juntamente con la presencia de un dique turístico hacen que esta zona contribuya con la presencia de microplásticos en el agua. Por ejemplo, un estudio realizado por Donoso (2018), en la cuenca alta del río Guayllabamba, encontró que las actividades agrícolas y ganaderas, junto con infraestructura hidráulicas, pueden ser fuentes significativas de microplásticos en cuerpo de agua dulce.

En la zona media, la poca presencia de viviendas contrasta con las actividades ganaderas y la cría de cerdos, además de la presencia de la universidad que han contribuido al aumento de las concentraciones de microplásticos, esto según el estudio realizado por J. Li et al. (2018) han identificado que instituciones educativas pueden ser fuentes indirectas de microplásticos debido a actividades como el lavado de ropa sintética, el uso de envases plásticos y la escorrentía superficial. Tomando en cuenta también la actividad ganadera que influye en la presencia de microplásticos a través de la degradación de materiales plásticos utilizados en el manejo del ganado y la alimentación animal.

La zona baja presenta las mayores concentraciones de microplásticos, esta tendencia puede explicarse por varios factores relacionados con la dinámica fluvial, las actividades humanas en aumento y los procesos naturales del río, estos factores combinados en la zona baja exponen la concentración de microplásticos. Este comportamiento es explicado por Lofty et al. (2023) en su estudio analizaron el comportamiento de los microplásticos, a medida que el flujo de agua disminuye en las zonas bajas del río, la velocidad de la corriente se reduce, lo que favorece su acumulación, la misma que se forzada por la interacción de los microplásticos con sedimentos naturales.

Estos resultados se consolidan con la información de la tabla 4 que demuestra que las actividades antrópicas están estrechamente vinculadas con las concentraciones de microplásticos en el río, un aspecto importante radica en que, desde la zona alta ya hay presencia de microplásticos con una concentración promedio de 17,67 MPs/L que incrementa en la zona baja con un promedio de 44, 67 MPs/L, estos datos revelan el nivel de contaminación que presenta tanto solo la cuenca alta del río Puyo.

La variabilidad de las concentraciones de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo es dependiente de las zonas y los contaminantes a los que se encuentra expuesto, en otras palabras, la variabilidad es un reflejo de la interacción entre factores naturales y antropogénicos, lo que refleja un patrón de mayor acumulación en temporadas de alta actividad y menos dispersión en tiempo de menor afluencia,

Capítulo 5

Conclusiones

- Los resultados muestran que la presencia de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo esta influenciada por las actividades humanas y las características del flujo de agua. Con concentraciones de microplásticos que van desde la zona alta con 17,67 MPs/L hasta la zona baja con 44,67 MPs/L reflejando una mayor intervención humana, es decir, mientras haya mayor intervención humana, mayor presencia de microplásticos, evidenciando la relación directa entre la actividad humana y la contaminación por microplásticos.
- El análisis morfológico de los microplásticos hallados en las muestras de agua superficial permitió identificar diferentes formas, tamaños y colores, lo que indica una diversidad en su origen. En las diferentes zonas de la cuenca se logró observar mayor presencia de fibras y fragmentos, resultado de la degradación que genera la rotura de plásticos debido a la constante exposición y desgaste, lo que incrementa la presencia de microplásticos en el entorno acuático.
- La acumulación de microplásticos en ciertas zonas del río Puyo se debe, en parte, a la velocidad del flujo y la topografía del cauce. En la zona alta, con mayor pendiente y flujo más rápido, los microplásticos tienden a dispersarse, lo que explica la menor concentración registrada, en la zona media la pendiente disminuye, los microplásticos comienzan a depositarse en mayor cantidad y finalmente en la zona baja con menor velocidad de corriente y una mayor influencia de la actividad humana, los microplásticos tienden a acumularse en mayor medida, lo que indica que el río actúa como un transportador y sumidero de estos contaminantes.
- La identificación de concentraciones significativas de microplásticos en la cuenca alta del río Puyo resalta la necesidad de implementar programas de monitoreo

continuo. Dado que las concentraciones aumentan progresivamente en cada zona, la presencia de estos contaminantes tiene implicaciones en la calidad del agua y en los usos que la comunidad da al río. La ausencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales y la acumulación de desechos plásticos en áreas de mayor actividad económica pueden contribuir a un aumento progresivo de microplásticos en el ecosistema fluvial.

Recomendaciones

- Promover la creación de normativas y regulaciones específicas sobre contaminación por microplásticos en cuerpos de agua, ya que actualmente en Ecuador no existen leyes que establezcan límites permisibles de microplásticos en ríos u otros ecosistemas acuáticos.
- Implementar un sistema de monitoreo de largo plazo sobre la presencia de microplásticos en el agua superficial del río Puyo, esto permitirá identificar patrones de acumulación, evaluando su variabilidad estacional y analizar la relación entre las actividades humanas y la contaminación en diferentes zonas del río.
- Fomentar la implementación de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales en las zonas urbanas y turísticas. Es crucial que las autoridades locales y los actores clave trabajen en la construcción y modernización de plantas de tratamiento de aguas residuales, que puedan filtrar microplásticos y otros contaminantes, esto contribuiría significativamente a reducir la carga de microplásticos en el río Puyo.

Referencias Bibliográficas

- Abbasi, S. (2021). Routes of human exposure to micro(nano)plastics. *Current Opinion in Toxicology*, 27, 41–46. <https://doi.org/10.1016/J.COTOX.2021.08.004>
- Abril, R. V., Armas, P. A., Chamorro, W. P., Toscano, V. E., Sucoshañay, D. J., & Ríos, A. F. (2021). Water quality of Puyo river and tributaries. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(3), 379–417. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-03-10>
- Academia Mexicana de Ciencias. (2022). Contaminación por microplásticos. In *Ciencia* (Vol. 73, Issue abril-junio 2022). https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_2/PDF/Ciencia_73-2.pdf
- Alprol, A. E., Gaballah, M. S., & Hassaan, M. A. (2021). Micro and Nanoplastics analysis: Focus on their classification, sources, and impacts in marine environment. *Regional Studies in Marine Science*, 42, 101625. <https://doi.org/10.1016/J.RSMA.2021.101625>
- Barros, W. (2021). *Separación De Microplásticos Mediante Procesos Físico- Químicos En Aguas Residuales En La Ciudad De Riobamba*. 37.
- Bianco, C., Isso, F., & Moskat, M. (2021). Plásticos-en-América-Latina-2022. 2021, 18.
- Bollaín, C., & Agulló, D. (2019). PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN AGUAS Y SU POTENCIAL IMPACTO EN LA SALUD PÚBLICA. *Rev Esp Salud Pública*, 93, 28–29. www.msc.es/resp
- Bretas, C., Bes, A., & Mendoza, J. (2022). *Caracterización de microplásticos en aguas naturales y residuales, y su influencia y separación en procesos biológicos de depuración*.
- Carbery, M., O'Connor, W., & Palanisami, T. (2018). Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health.

Environment International, 115, 400–409.

<https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.03.007>

Caruzo, P., & Bernal, S. (2022). DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN EL AGUA SUPERFICIAL DE LA QUEBRADA YUMANTAY, UCAYALI 2022. *Unu*, 1–103.

Castañeta, G., Gutiérrez, A. F., Nacaratte, F., & Manzano, , Carlos A. (2020). Microplastics: a Contaminant That Grows in All Environmental Areas, Its Characteristics and Possible Risks To Public Health From Exposure. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160–175. <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>

Castillo, M. (2022). Compuestos Químicos y su Relevancia en el Desarrollo Sostenible. *Vida Científica Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 4*, 10(20), 50–51. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/9550>

Castillo, M., & Alvarado, L. (2022). *Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Girón, Santa Isabel, Camilo Ponce Enríquez, Nabón, Oña, Pucará y San Fernando.*

Center for International Environmental. (2018). *El plástico y la salud.* 1–4. <https://www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/03/Plastic-Health-Spanish.pdf>

Chambi, J., & Yanes, C. (2023). Presencia de microplásticos en playas del Lago Titicaca, Puno. In *Universidad Andina del Cusco*. http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Chávez, B., & Paredes, M. (2019). Presencia de microplástico derivado de la degradación de tanques de reserva plásticos en el agua potable de Riobamba. *Unach*, 1–69. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/3697/1/UNACH-FCEHT-TG->

E.BÁSICA-2017-000019.pdf

CIDCE. (2023). *Propuestas Del CIDCE*. 33(0), 1–20.

COA. (2017). Asamblea Nacional del Ecuador - Código Orgánico Del Ambiente. *Registro Oficial Suplemento* 983, 1–92.
https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

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>

Crawford, C. B., & Quinn, B. (2017). Microplastic separation techniques. *Microplastic Pollutants*, 203–218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809406-8.00009-8>

Cuenca, M., & Mayancela, M. (2023). *Determinación de microplásticos y metales pesados presentes en la microcuenca del río Gualaceño del cantón Limón, provincia de Morona Santiago*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25497>

Departamento de Medio Ambiente. (2022). *Anuario en Relaciones Internacionales*.

Donoso, M. (2018). Cuantificación de la presencia de microplásticos en la Cuenca alta del Río Guayllabamba. In *Repositorio Udla* (Vol. 7).

Drummond, J. D., Schneidewind, U., Li, A., Hoellein, T. J., Krause, S., & Packman, A. I. (2022). Microplastic accumulation in riverbed sediment via hyporheic exchange from headwaters to mainstems. *Science Advances*, 8(2), 1–8.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.abi9305>

ERIA. (2023). *Perfil de Riesgo: Identificación y Caracterización Toxicológica de*

Microplásticos como Peligro por Vía Alimentaria. 0–52.

Espino, M., & Koot, Y. (2020). Nuestro mundo cubierto de plástico: de la movilidad global del plástico a las consecuencias y respuestas locales. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 12(4), 146–160. <https://doi.org/10.22305/ict-unpa.v12.n4.759>

FAO. (2017). *Microplastics in fisheries and aquaculture* (Issue April).

FAO. (2019). LOS MICROPLÁSTICOS EN LOS SECTORES DE PESCA Y ACUICULTURA. *Food and Agriculture Organization*, 12. <https://www.fao.org/3/ca3540es/ca3540es.pdf>

FUNDEU BBVA. (2018). *MEMORIA FUNDEU*. <https://www.fundeu.es/wp-content/uploads/2019/09/MemoriaFundeu2018.pdf>

GAD Pastaza. (2015). *Diagnostico – Componente Productivo - Actualización Plan de Desarrollo Provincia Pastaza*. 1–36.

GAD Pastaza. (2022). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pastaza 2019-2030. *Dirección de Planificación*, 447. https://www.machala.gob.ec/SIL/2022/ter/plate/PDOT_Machala.pdf

García, J. (2023). Eliminación de nanoplásticos mediante el proceso de Foto-Fenton. In *Director*. https://oa.upm.es/74788/1/TFM_JORGE_GARCIA_MARTIN.pdf

Garzón, L. (2023). *CONCENTRACIÓN DE MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN SEDIMENTOS Y AGUAS DE DOS SECTORES INFLUENCIADOS POR LOS RÍOS MAGDALENA Y SINÚ DURANTE LA ÉPOCA SECA DEL 2022*.

Giraldez, L. D., Braz de Jesus, F., Lacerda Costa, A. P., Ferraz Bastos, L. E., Moura De Souza, D. A., & Gonçalves da Silva, D. (2020). Efectos de los microplásticos en el medio ambiente: Un macroproblema emergente. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33,

- 100–107. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2020.33.013>
- Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. *Environmental Science and Technology*, 53(3), 1039–1047. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297>
- Huanaco, R., & Gamboa, N. (2023). Microplásticos en sedimentos fluviales en la cuenca baja del río Rímac, Perú. *Espacio y Desarrollo*, 57(40), 36–57. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.2023.002>
- INEN. (2020). NTE INEN 1108. Guías para la calidad del agua potable. 2018, 1–10.
- Jaramillo, K., Laguna, J., Quishpe, J., & Velázquez, M. (2020). Consecuencias de la contaminación del río Puyo en los moradores. *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(2), 809–820.
- Kaur, P., Singh, K., & Singh, B. (2022). Microplastics in soil: Impacts and microbial diversity and degradation. *Pedosphere*, 32(1), 49–60. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60060-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60060-7)
- Lacava, J., Schmaedke, A., Denaro, M., Bernabeu, P., & Gargarello, R. (2022). *EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DEL RÍO DEL LA PLATA: CIUDAD DE BUENOS AIRES Y ALREDEDORES*. 15(3), 1163–1173. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/222233/CONICET_Digital_Nro.cd148edf-6f90-4a93-9943-992b369911f3_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- León, 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. *ProyectoLibera*, June, 1–66. https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2020/06/Protocolo_muestreo_analisis_microplasticos_rios_Proyecto_Libera_HyT-web.pdf
- Ley de Gestión Ambiental. (2004). Ley de Gestión Ambiental. *Bulgarian Medicine*, 6(7–8), 53–55.
- Ley Organica. (2020). *LEY ORGÁNICA PARA LA RACIONALIZACIÓN, REUTILIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO*. 1–28.
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.12.056>
- Li, Y., Lu, Z., Abrahamsson, D. P., Song, W., Yang, C., Huang, Q., & Wang, J. (2022). Non-targeted analysis for organic components of microplastic leachates. *Science of The Total Environment*, 816, 151598. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.151598>
- Lofty, J., Valero, D., Wilson, C. A. M. E., Franca, M. J., & Ouro, P. (2023). Microplastic and natural sediment in bed load saltation: Material does not dictate the fate. *Water Research*, 243(July), 120329. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120329>
- MAATE. (2016). Estrategia Nacional de la Biodiversidad 2015-2030. In *Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica: Vol. primera ed* (pp. 1–225). <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu169465.pdf>
- MAATE. (2019). Plan nacional de gestión integral de residuos y desechos sólidos no peligrosos. *Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/proyecto-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-economia-circular-inclusiva-greci/>

- Mogrovejo, V., & Sarago, M. (2022). “Evaluación de la contaminación de los microplásticos en las juntas de agua de los cantones: Gualaceo, Chordeleg y Guachapala.” *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Montgomery, D. (2013). Design and Analysis of Experiments. In *Physica Status Solidi (B)* (Vol. 173, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/pssb.2221730144>
- Morocho, J., & Pozo, D. (2022). *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DE LOS MICROPLASTICOS EN LAS JUNTAS DE AGUA DE LOS CANTONES: CUENCA, PAUTE Y SIGSIG*”. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27029/1/UPS-CT011212.pdf>
- National Geographic. (2022). *¿Qué daños producen los microplásticos para el ser humano?*
- OPS. (2023). *Expertos discuten el impacto de los microplásticos en la salud y alertan del aumento de su propagación*. [https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion#:~:text=“Estas sustancias también pueden afectar,de basuras y otros procesos.](https://www.paho.org/es/noticias/16-8-2023-expertos-discuten-impacto-microplasticos-salud-alertan-aumento-su-propagacion#:~:text=“Estas sustancias también pueden afectar,de basuras y otros procesos.”)
- Plastics Europe. (2022). *Plastics-Situación en 2022*. *Plastics Europe*, 84. <https://plasticseurope.org/>
- Quinteros, K. (2022). *Detección De Micropartículas De Plástico En El Sistema De Potabilización De Agua “Mahuarca” De La Ciudad De Azogues, Ecuador*. 1–105.
- Sáenz, C. (2020). Microplásticos en la Biota de los Ríos Andinos. In *Nature Microbiology* (Vol. 3, Issue 1). <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/12051/1/UDLA-EC-TIAM-2020-04.pdf>
- Sanchez, E., & Daza, V. (2023). *Análisis de los efectos que produce en los seres humanos la presencia de micro plásticos en la cadena alimentaria . una revisión*.

- Scientists Coalition. (2023). *Tratado Global de Plásticos : ¿Cuál es la función de los plásticos de origen biológico , biodegradables y bioplásticos.* 11–13.
- Secretaría del Convenio de Basilea. (2019). Protocolo De Basilea Sobre Responsabilidad E Indemnización Por Daños Resultantes De Los Movimientos Transfronterizos De Desechos Peligrosos Y Su Eliminación. *Diario Oficial de La Federación (DOF)*.
<https://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>
- Secretaria del Convenio de Estocolmo. (2020). *Convenio de Estocolmo PNA*.
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=252:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-18>
- Segarra, D. (2023). *Identificación y Análisis de Micro Plásticos en la Zona*.
- Shi, Z., Yao, F., Liu, Z., & Zhang, J. (2024). Microplastics predominantly affect gut microbiota by altering community structure rather than richness and diversity: A meta-analysis of aquatic animals. *Environmental Pollution*, 360, 124639.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2024.124639>
- Sousa, M. C., deCastro, M., Gago, J., Ribeiro, A. S., Des, M., Gómez-Gesteira, J. L., Dias, J. M., & Gomez-Gesteira, M. (2021). Modelling the distribution of microplastics released by wastewater treatment plants in Ria de Vigo (NW Iberian Peninsula). *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112227.
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.112227>
- Thompson, R. C., Moore, C. J., Saal, F. S. V., & Swan, S. H. (2009). Plastics, the environment and human health: Current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2153–2166.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>

- Thompson, R. C., Olson, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838. <https://doi.org/10.1126/science.1094559>
- UNEP. (2018). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*. https://www.unep.org/resources/report/single-use-plastics-roadmap-sustainability?utm_source=chatgpt.com
- Wang, Y. L., Lee, Y. H., Chiu, I. J., Lin, Y. F., & Chiu, H. W. (2020). Potent impact of plastic nanomaterials and micromaterials on the food chain and human health. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5). <https://doi.org/10.3390/ijms21051727>
- Yao, P., Zhou, B., Lu, Y. H., Yin, Y., Zong, Y. Q., Chen, M. Te, & O'Donnell, Z. (2019). A review of microplastics in sediments: Spatial and temporal occurrences, biological effects, and analytic methods. *Quaternary International*, 519, 274–281. <https://doi.org/10.1016/J.QUAINT.2019.03.028>
- Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, 203, 103118. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2020.103118>

ANEXOS

Anexo 1. Recopilación de muestras en la cuenca alta del río Puyo

1. Cuenca alta del río Puyo



2. Toma de muestras



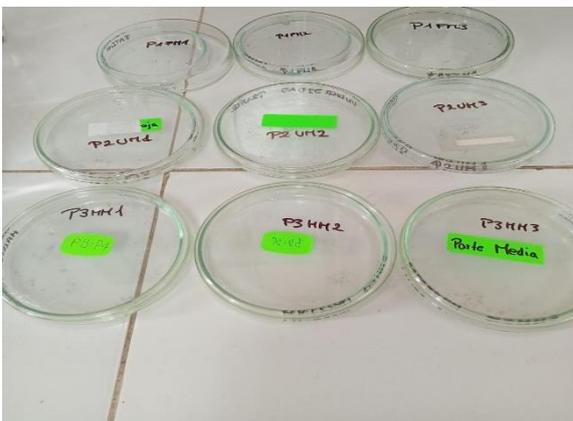
3. Tamices utilizados



4. Tamizado de las muestras



5. Obtención de microplásticos



Anexo 2. Análisis de microplásticos en el laboratorio

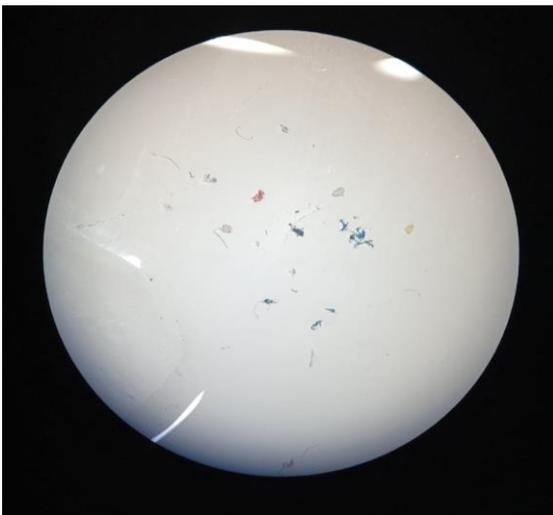
1. Estereomicroscopio



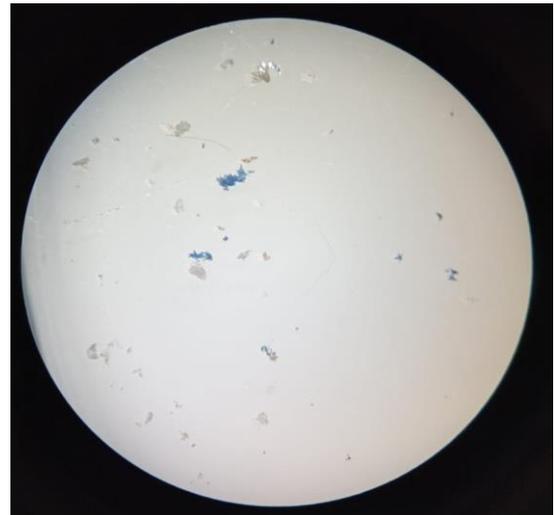
2. Identificación de microplásticos



3. Observación de los microplásticos



4. Observación de los microplásticos



Anexo 3. Análisis de microplásticos en el laboratorio 2

1. Estereomicroscopio



2. Observación de microplásticos



3. Tablet programada



4. Cuantificación de microplásticos



5. Tipos de microplásticos



6. Tamaños y colores de microplásticos

