



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Análisis de la contaminación por microplásticos en los ríos Malacatos y Zamora de la ciudad de Loja

Trabajo de Integración Curricular previa
a la obtención del título de Ingeniero
Ambiental

AUTOR:

Angel Israel Romero Lopez

DIRECTOR:

Ing. Iván Patricio Burneo Saavedra, PhD.

Loja – Ecuador

2025



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, **BURNEO SAAVEDRA IVAN PATRICIO**, director del Trabajo de Integración Curricular denominado **Análisis de la contaminación por microplásticos en los ríos Malacatos y Zamora de la ciudad de Loja**, perteneciente al estudiante **ANGEL ISRAEL ROMERO LOPEZ**, con cédula de identidad N° **1105638124**.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el **Trabajo de Integración Curricular**, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de **Integración Curricular**, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 5 de Agosto de 2024



IVAN PATRICIO
BURNEO SAAVEDRA

F) _____
**DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**



Certificado TIC/TT.: UNL-2024-002011

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Ángel Israel Romero López**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105638124

Fecha: 28/04/2025

Correo electrónico: angel.i.romero@unl.edu.ec

Teléfono: 0997066858

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Ángel Israel Romero López**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Análisis de la contaminación por microplásticos en los ríos Malacatos y Zamora de la ciudad de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, al día veintiocho del mes de abril del dos mil veinticinco.

Firma:



Autor: Ángel Israel Romero López

Cédula: 1105638124

Dirección: Portugal y Quebec

Correo electrónico: angel.i.romero@unl.edu.ec

Teléfono: 0997066858

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Iván Patricio Burneo Saavedra, *PhD*

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis queridos padres y hermanos.

Angel Romero

Agradecimiento

Quiero expresar mi más grande agradecimiento a Dios y a la Virgen del Cisne, quienes me ha brindado salud, fortaleza y guía en cada paso de este camino.

A mis padres y hermanos que me han apoyado incondicionalmente.

A mi director de tesis por su tiempo, guía y asesoramiento durante todo este proceso investigativo.

A la Universidad Nacional de Loja por acogerme y brindarme la oportunidad de estudiar la carrera de ingeniería ambiental.

A mis mejores amigos: Jhandry, Nathaly, María Belén y David por cada momento compartido, desde malos ratos hasta logros alcanzados, su apoyo ha sido fundamental en mi desarrollo tanto personal como profesional.

Finalmente, a mis compañeros de la universidad con los que compartí tiempo y experiencias inolvidables. Muchas gracias.

Angel Romero

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos	1
1. Título.....	2
2. Resumen	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico	7
4.1. Plásticos.....	7
4.1.1. Tipos de plásticos	8
4.1.2. Producción de plásticos a nivel global.....	10
4.1.3. Riesgos ambientales y salud por plásticos.....	11
4.2. Microplásticos	13
4.2.1. Microplásticos en el ecosistema de agua dulce.....	13
4.2.2. Fuentes de microplásticos.....	14
4.2.3. Impactos ambientales de los microplásticos.....	15
4.2.4. Microplásticos en la salud	15
5. Metodología.....	17

5.1.	Área de estudio	17
5.2.	Diseño de la investigación.....	18
5.3.	Metodología para el primer objetivo: Evaluar la acumulación de microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora.....	19
5.3.1.	Muestreo en el río	19
5.3.2.	Separación de los sedimentos	20
5.3.3.	Identificación de microplásticos	21
5.3.4.	Purificación de sedimentos	21
5.3.5.	Análisis estadístico	22
5.4.	Metodología para el segundo objetivo: Evaluar la calidad del agua de los ríos Malacatos y Zamora mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	22
5.5.	Metodología para el tercer objetivo: Evaluar el riesgo ecotoxicológico por microplásticos usando el bioensayo de toxicidad aguda con <i>Artemia salina</i>	24
5.5.1.	Ensayo de toxicidad.....	24
5.5.2.	Análisis de datos	26
6.	Resultados	27
6.1.	Resultados del primer objetivo: Evaluar la acumulación de microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora	27
6.1.1.	Identificación de microplásticos	27
6.1.2.	Concentración de sedimentos	28
6.1.3.	Análisis de varianza.....	28
6.2.	Resultados del segundo objetivo: Estimar la calidad del agua de los ríos Malacatos y Zamora mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos	30
6.3.	Resultados del tercer objetivo: Evaluar el riesgo ecotoxicológico por microplásticos usando el bioensayo de toxicidad aguda con <i>Artemia salina</i>	32
7.	Discusión.....	35
8.	Conclusiones.....	40
9.	Recomendaciones.....	40
10.	Bibliografía	41
11.	Anexos	46

Índice de tablas

Tabla 1. Lista selectiva de compuestos aditivos utilizados para hacer que los plásticos se ajusten a su propósito.....	8
Tabla 2. Tipos comunes de plásticos.	9
Tabla 3. Consumo y tasas de crecimiento de todos los plásticos.	11
Tabla 4. Promedio de sedimentos por cada punto de muestreo.....	28
Tabla 5. Resumen de la prueba de Kruskal Wallis para análisis de varianza.....	29
Tabla 6. Informe de resultados para el cálculo del ICA	31
Tabla 7. Porcentaje de mortalidad de <i>Artemia salina</i> contra las concentraciones de sedimentos	32

Índice de figuras

Figura 1. Producción de toneladas de plástico a lo largo de los años.....	10
Figura 2. Informes publicados sobre microplásticos en agua dulce en todo el mundo.	14
Figura 3. Resumen de los ODS de la ONU, donde el círculo verde indica que es el único con indicadores directamente relacionados con microplásticos, mientras que los círculos rojos indican que los otros ODS carecen de indicadores relacionados con los microplásticos.....	16
Figura 4. Ubicación geográfica del barco conjunción del Zamora y Malacatos.	17
Figura 5. Puntos de muestreo en el Barco conjunción del Zamora y Malacatos.....	18
Figura 6. Toma de muestras de agua en canecas.....	19
Figura 7. Proceso de filtración para la extracción de sedimentos	20
Figura 8. Raspado y purificación de sedimentos.....	22
Figura 9. Recolección de las segundas muestras.....	23
Figura 10. Criterios generales de calidad del agua.....	23
Figura 11. Organismo de prueba <i>Artemia salina</i>	24
Figura 12. Ensayo de toxicidad por triplicado.....	26

Figura 13. Identificación de microplásticos en los puntos de muestreo	27
Figura 14. Variabilidad de cantidad de sedimentos en los tres puntos de muestreo.....	29
Figura 15. Resultados del ICA en la conjunción de los ríos Malacatos y Zamora	31
Figura 16. Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 1	34
Figura 17. Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 2	34
Figura 18. Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 3	35

Índice de anexos

Anexo 1. Informe del análisis de muestra compuesta de agua.	46
Anexo 2. Certificado de traducción del abstract.....	47

1. Título

Análisis de la contaminación por microplásticos en los ríos Malacatos y Zamora de la ciudad de Loja

2. Resumen

Los microplásticos constituyen una grave amenaza para la biota marina y terrestre ya que afectan la calidad del suelo, agua y aire. En Ecuador se ha registrado que en diversos cuerpos de agua del país existe una considerable acumulación de residuos plásticos, así como presencia de microplásticos. Particularmente en la ciudad de Loja se deposita todo tipo de basura a lo largo de los ríos Malacatos y Zamora, lo que puede alterar las propiedades de estos hábitats. En respuesta a esta problemática, la presente investigación evaluó el nivel de contaminación hídrica por microplásticos en tres puntos de la confluencia de estos ríos. Para ello la metodología constó de tres etapas: evaluación de la concentración de microplásticos, cálculo de la calidad del agua de estos ríos y evaluación de su toxicidad mediante el ensayo de *Artemia salina*. Los resultados confirmaron la presencia de microplásticos en la zona de estudio debido a concordancia con las descripciones en cuanto a su morfología, aunque se presentaron limitaciones en torno a la separación completa de estos de los sedimentos para análisis posteriores. Del mismo modo, se registró que los sedimentos influían en un nivel de calidad medio del agua y un alto riesgo ecotoxicológico para las artemias (90 al 97%) donde se estimó que los microplásticos presentes en los sedimentos pueden tener una fuerte incidencia en estos efectos debido a su nivel de toxicidad independiente (70 al 75%). En términos generales los análisis realizados sugirieron que los microplásticos pueden tener un nivel de contaminación considerable en ambos ríos debido a que forman parte de la composición de los sedimentos los cuales repercutieron notablemente en la calidad del agua y riesgo ecotoxicológico registrados, indicando la necesidad de implementar medidas de control que disminuyan la acumulación de basura en estos ríos para preservar la sanidad de dichos ecosistemas.

Palabras clave: Sedimentos fluviales, Calidad del agua, Parámetros fisicoquímicos, *Artemia salina*, Bioensayo de toxicidad.

2.1. Abstract

Microplastics pose a serious threat to both marine and terrestrial biota, as they negatively impact the quality of soil, water and air. In Ecuador, various bodies of water have been reported to exhibit significant accumulation of plastic waste, including the presence of microplastics. Specially, in the city of Loja, various types of waste are discarded along the Malacatos and Zamora rivers. Potentially altering the ecological characteristics of these habitats. In response to this

environmental concern, the present study evaluated the level of water contamination by microplastics at three sampling points along the confluence of these rivers. The methodology consisted on three phases: assessment of microplastic concentration, determination of water quality, and evaluation of toxicity using the *Artemia salina* bioassay. The results confirmed the presence of microplastic in the study area based on their morphological characteristics. However, some limitations were encountered in completely separating the microplastics from the sediments for further analysis. Additionally, the sediments were found to contribute to moderate water quality levels and presented a high ecotoxicological risk to *Artemia salina* (90% to 97% mortality), with microplastics in the sediments estimated to be a major contributing factor due to their intrinsic toxicity (70% to 75%). Overall, the analyses suggested that microplastics constitute a considerable source of contamination in both rivers, as they are integrated into the sediments' composition, which in turn significantly impacted water quality and ecotoxicological risk. These findings underscore the urgent need to implement control measures to reduce waste accumulation in these rivers and preserve the health of these ecosystems.

Keywords: River sediments, Water quality, Physicochemical parameters, *Artemia salina*, Toxicity bioassay.

3. Introducción

La contaminación ambiental por residuos es un gran problema que enfrenta nuestro planeta (Naciones Unidas, 2023) puesto que perjudica a diferentes especies tanto terrestres como marinas al ingerir estos residuos que se depositan en su hábitat y también a la salud humana puede debido a la disposición incorrecta de residuos en lugares no adecuados como cuerpos de agua y suelo disminuyendo su calidad al tener la presencia de metales pesados o productos químicos que provocan enfermedades gastrointestinales por el consumo de esta agua contaminada y disminución de la calidad de productos alimenticios que se cultiva. Del mismo modo, una inadecuada incineración de los mismos puede liberar partículas que afecten el aire como el material particulado que induce el desarrollo de enfermedades respiratorias (CEPAL, 2023). En este contexto, los residuos plásticos son los que presentan un efecto negativo más amplio debido a sus propiedades

fisicoquímicas que les permiten permanecer en el ambiente por extensos periodos afectando a los ecosistemas de diferentes partes del mundo. Es por las razones mencionadas que se demanda una solución urgente para este problema a nivel mundial (Ahamad et al., 2022; Calle, 2022).

Desde su invención en 1909, la producción de plásticos ha aumentado notablemente con el paso del tiempo alcanzando un valor de 322 millones de toneladas actualmente debido a los beneficios sociales que proporcionan como ser un material versátil que hace que las cifras de consumo sigan aumentando (Galloway et al., 2011). Esto conlleva a preocupaciones ambientales porque solo algunos de estos desechos son reciclados mientras que en su mayoría se encuentran acumulados en miles de millones de toneladas sobre varios entornos como: playas, costas, ríos y áreas urbanas por causa de factores que incluyen actividades antropogénicas, corrientes oceánicas y movimientos del aire, siendo así los principales residuos que se generan (Bakira et al., 2012) por lo que en este contexto, el desarrollo de estrategias de reciclaje y tecnologías de degradación de desechos plásticos se ha convertido en una necesidad primordial del siglo XXI (Andrady, 2017).

En torno a sus daños sobre el ambiente, estos representan una seria amenaza para la fauna de mar donde ya sea por ingestión o enredo en estos cerca de 1 millón de especies marinas mueren cada año. Del mismo modo, en tierra son ingeridos por diferentes animales produciéndoles la muerte y tomando en cuenta que estos residuos no se degradan fácilmente siguen permaneciendo en el entorno incluso después de que los restos animales se pudran (Shahnawaz y Sangale, 2019).

Por otro lado, se ha evidenciado que estos residuos al desecharse inadecuadamente repercuten en la salud de las personas al bloquear las canaletas y desagües perjudicando las aguas pluviales formando hábitats que propician la reproducción de mosquitos transmisores de enfermedades como la malaria y otras enfermedades (Wagner y Lambert, 2017).

El daño provocado por los residuos plásticos en el ambiente radica en que se caracterizan por ser de lenta degradación y alta duración donde por efectos de los rayos UV se fragmentan en pedazos más pequeños llamados microplásticos, los cuales afectan de manera más significativa al

ambiente ya que su tamaño en milímetros hace posible que se encuentren en todas partes que junto con su capacidad para unirse sustancias toxicas como: metales pesados, anhídrido carbónico, óxido de azufre, entre otros, deterioran la calidad del agua, suelo, aire. Asimismo, perjudican a la cadena alimentaria al ingresar por bioacumulación deteriorando a tejidos vivos como: sistema respiratorio, sistema circulatorio, tejido nervioso e intestinos de los seres vivos expuestos a ellos, lo que lleva a graves afecciones en la salud de diversas especies incluyendo los humanos (Olatunji, 2022).

A nivel de América Latina estudios acerca de los efectos que tiene este contaminante, así como un manejo de esta contaminación sobre los cuerpos de agua y el ambiente en general son escasos o poco profundos (Lavanda y Thompson, 2014) por lo que nuevos estudios aportarían con datos en torno a esta problemática a nivel latinoamericano.

En Ecuador se ha constatado que el 64% de la basura encontrada en la playa de Manabí son plásticos que provienen de las zonas centro y sur del país arrastradas por las corrientes o por fuentes locales, del mismo modo, se comprobó la presencia de microplásticos en los ríos Guayllabamba y San Pedro, así como un aumento de la concentración de los mismos (Calero, 2020). Lima, (2023) también constató la presencia de microplásticos en sedimentos de ríos de la amazonia ecuatoriana encontrando concentraciones que oscilaron entre 50 y 300 partículas por kilogramo de sedimento; sin embargo, no se han planteado estrategias de mitigación para reducir la cantidad de microplásticos y proteger estos ecosistemas acuáticos.

En la ciudad de Loja existe una falta de control y cuidado por parte de las autoridades municipales considerando que de acuerdo a información levantada por la Dirección de Higiene, en la ciudad, se producen diariamente alrededor de 150 toneladas de desechos plásticos los cuales se depositan en áreas no adecuadas como calles, parques, zonas rurales y en sus ríos principales (Malacatos y Zamora) presentando estos últimos una preocupante acumulación de escombros en sus orillas (Diario El Telégrafo, 2016; Diario La Hora, 2022).

Por ello, la presente investigación tiene como propósito evaluar la contaminación por microplásticos que podría estar presente en la conjunción de los ríos Malacatos y Zamora, la cual se ha elegido porque podría existir una mayor concentración de contaminantes, debido a que en los tramos de ambos torrentes se reporta la presencia de botaderos de basura, escombros y una considerable cantidad de envases plásticos, tanto botellas como fundas, e incluso basura doméstica (Diario La Hora , 2020).

Por lo tanto, para estudiar este problema se ha formulado la siguiente pregunta:

¿Cuál es el nivel de contaminación por microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora?

Bajo este contexto, el objetivo general de este estudio es determinar el nivel de contaminación hídrica por microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: en primer lugar, evaluar la acumulación de microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora; en segundo lugar, estimar la calidad del agua de los ríos Malacatos y Zamora mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y finalmente evaluar el riesgo ecotoxicológico por microplásticos usando el bioensayo de toxicidad aguda con *Artemia salina*.

4. Marco teórico

4.1. Plásticos

Los plásticos son compuestos sintéticos conformados por cadenas moleculares complejas (ramificadas o reticuladas) que se obtienen mezclando diversos aditivos según se requiera para un tipo de plástico en específico con elementos no metálicos como: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro, flúor y azufre (Baur et al., 2019) que dan como resultado un conjunto de características determinadas como: vidriosidad, elasticidad, polaridad, impermeabilidad, ligereza, aislamiento termoelectrónico y plasticidad (Khan y Wang, 2023). Estas propiedades fisicoquímicas

los vuelve altamente útiles debido a su multifuncionalidad, pudiendo ser aplicados en diversas industrias como: embalaje, construcción, electrónica y agricultura (Wang y Babel, 2023). En la Tabla 1 se describe el propósito de los principales aditivos utilizados para la elaboración de plásticos.

Tabla 1.

Aditivos utilizados para hacer que los plásticos cumplan su propósito.

Compuestos aditivos	Función
Plastificantes	Hace que el material sea flexible
Retardantes de llama	Reduce la inflamabilidad
Aditivos reticulantes	Une cadenas poliméricas
Antioxidantes y otros estabilizadores	Aumenta la resistencia de los plásticos al disminuir el oxígeno, el calor y la luz que degradan el material
Sensibilizantes (por ejemplo, complejos de metales de transición prooxidantes)	Se utiliza para dar propiedades de degradación acelerada
Surfactantes	Modifica las propiedades de su superficie permitiendo la emulsión con sustancias normalmente incompatibles
Rellenos inorgánicos	Se utiliza para reforzar el material mejorando la resistencia al impacto
Pigmentos	Para el color

Fuente (Wagner y Lambert, 2017).

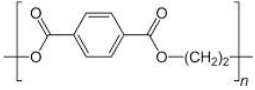
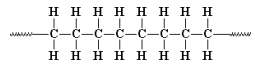
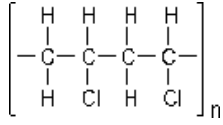
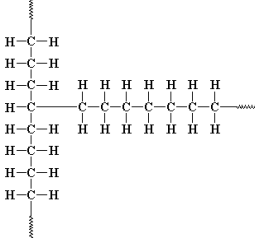
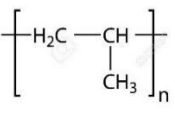
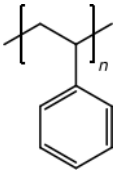
4.1.1. Tipos de plásticos

Actualmente existen alrededor de 5000 diferentes tipos de plásticos; sin embargo, los más utilizados y demandados en el mercado son: Polietileno (PE), Tereftalato de polietileno (PETE), Polietileno de alta densidad (HDPE), Cloruro de polivinilo (PVC), Polietileno de baja densidad (LDPE), Polipropileno (PP) y Poliestireno (PS). Estos materiales surgieron entre 1936 y 1960, iniciando con el PVC en 1936, seguido del PS en 1937, el PETE en 1944, el PE en 1955 y el PP en 1957 (Ololade, 2022), los cuales, se identifican mediante códigos numéricos del 1 al 6 que se

graban en la superficie de los productos para indicar el tipo de plástico del que está hecho un artículo con la finalidad de facilitar a los consumidores el conocimiento de sus características así como su separación y reciclaje, ya que cada tipo de plástico tiene propiedades y características específicas que afectan su reciclabilidad y procesamiento (Rudolph et al., 2017). A continuación, se presentan las características de los tipos de plástico, su código numérico y sus aplicaciones.

Tabla 2.

Tipos comunes de plásticos.

Código numérico	Formula estructural	Nombre químico	Abreviatura	Usos típicos
1		Tereftalato de polietileno	PETE	Botellas de refrescos
2		Polietileno de alta densidad	HDPE	Botellas de leche
3		Cloruro de polivinilo	PVC	Envasado de alimentos, aislamiento de cables y tuberías
4		Polietileno de baja densidad	LDPE	Película de plástico utilizada para envolver alimentos, bolsas de basura, bolsas de supermercado, pañales para bebés
5		Polipropileno	PP	Carcasas de baterías de automóviles y tapas de botellas
6		Poliestireno	PS	Envases de alimentos, vasos, platos de espuma y utensilios de comida

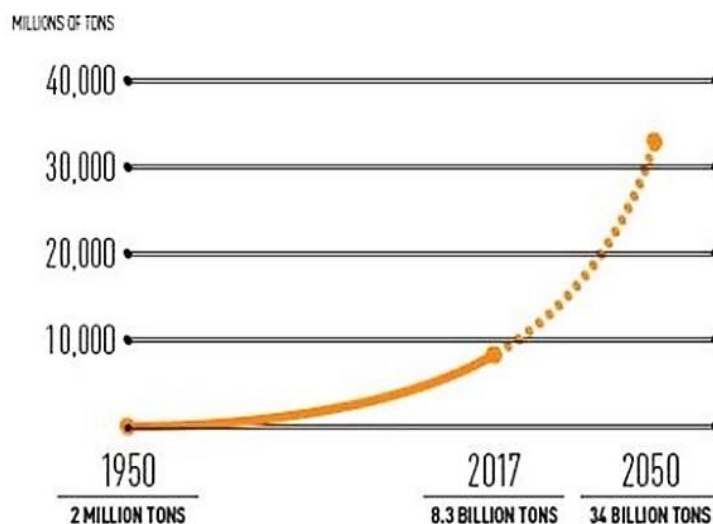
Fuente (Worrell y Vesilind, 2012).

4.1.2. Producción de plásticos a nivel global

La producción mundial de plásticos ha ido aumentando exponencialmente de 2 millones de toneladas en 1950 a 12 000 millones de toneladas en 2016 (He y Luo, 2019) y tomando en cuenta el impacto positivo en la sociedad por varios años, es casi seguro que las cifras de consumo y producción seguirán aumentando en el futuro. En este contexto en la Figura 1 podemos ver que, si la producción mundial de plástico sigue creciendo al ritmo actual, el mundo habrá producido aproximadamente 34 000 millones de toneladas para el 2050 (Abbing, 2019).

Figura 1.

Producción de toneladas de plástico a lo largo de los años.



Fuente (Op. Cit.).

En la Tabla 3 se presenta los datos de consumo de plástico en varias partes del mundo en los últimos años y las previsiones para el 2025 (Stock et al., 2019).

Tabla 3.*Consumo y tasas de crecimiento de todos los plásticos.*

	Plásticos totales (millones de toneladas) 2018	Pronóstico (millones de toneladas) 2025
China	80	110
Resto de Asia excluyendo Japón	54	83
NAFTA	63	69
Europa Oriental	64	70
Japón	14	14
Latinoamérica	15	16
África y medio oriente	23	28
Europa del este	9	10
Total	322	400

Fuente (Biron, 2022).

4.1.3. Riesgos ambientales y salud por plásticos

En décadas pasadas y en la actualidad, casi todo el mundo ve al plástico como un material inofensivo que no reacciona con su entorno por lo que es común pensar que no representaba riesgos para el ambiente considerándose como un material seguro; sin embargo, se ha comprobado que los residuos plásticos son unos de los contaminantes más persistentes en el medio ambiente que causan estrés ambiental y afectan la conservación de la diversidad biológica (Agostinho et al., 2012). En las últimas décadas el aumento constante de la producción de plástico y la mala gestión de estos residuos han llevado a un incremento del vertimiento de los mismos en los ecosistemas de todo el mundo contaminando indiscriminadamente el agua, suelo y aire. Asimismo, la contaminación por plásticos se ve forzada por factores antropogénicos como: presencia de centros urbanos, baja eficacia de los tratamientos de aguas residuales, viento, tormentas e inundaciones que contribuyen a la distribución de los plásticos (Cera et al., 2020).

Los residuos plásticos producen un enorme impacto ambiental debido a su abundancia y persistencia en el medio ambiente especialmente en el medio marino, ya que es donde más se acumulan a través de diferentes fuentes como: viento, ríos, efluentes y aguas residuales, aunque actividades como la pesca también son fuentes de plásticos en el medio marino (Herrera y Gómez, 2021). Todo ello perjudica el entorno marino donde los desechos plásticos son los principales responsables de contaminación no solo por su ingesta por parte de los organismos marinos sino también porque se depositan en los estuarios, los cuales son importantes ecosistemas costeros marinos utilizados por peces y otros organismos planctónicos como lugares de asentamiento, alimentación y crianza, ocasionando un desequilibrio ecológico (Lima et al., 2015). Del mismo modo, la vida silvestre donde muchas especies de aves, reptiles y mamíferos también se ve afectada debido a la ingesta de basura plástica por parte de estas especies, que les provoca afecciones graves como hemorragias internas y obstrucción del sistema digestivo, lo que los lleva a la desnutrición y eventualmente a la muerte (Hamer et al., 2014).

Estos desechos cuando entran al ambiente pueden fragmentarse por fotooxidación e hidrólisis en partículas más pequeñas conocidas como microplásticos que son los que generan una mayor contaminación ambiental ya que al ser ligeros e imperceptibles a simple vista pueden estar presentes en todo tipo de medios transportando contaminantes como metales, DDT, PBC, pesticidas y microorganismos patógenos a ubicaciones remotas (Morillo y Martínez, 2021), lo que resulta perjudicial incluso para la salud humana, ya que el consumo por medio de la cadena trófica o la exposición a ellos de manera inadvertida en actividades cotidianas debido a su amplia presencia en el ambiente causa varios problemas de salud como: cáncer, disrupción endocrina, afectación al sistema inmunitario, reproductivo, nervioso, endocrino, secreción ocular y edema facial (Ferreira, 2010).

4.2. Microplásticos

Este término fue planteado por primera vez en 2004 por el profesor de biología marina Richard Thompson de la universidad de Plymouth para describir piezas de plástico verdaderamente microscópicas en el ambiente producto de la fragmentación de las piezas más grandes de plástico las cuales tenían solo unos 20 nm de diámetro (Bakira et al., 2012). La palabra microplásticos no se hace mención a un tipo específico de plástico como el polietileno o poliestireno, sino que se refiere a partículas que tienen un tamaño entre 5 mm a 100 nm, presentándose usualmente, como fragmentos de plástico granulares y fibrosos (Newton, 2021), los cuales se clasifican en dos subcategorías que son:

- **Microplásticos primarios:** Son partículas de polvo plástico liberadas durante la producción industrial de los productos plásticos.
- **Microplásticos secundarios:** Son producto de la fragmentación de los residuos plásticos por la incidencia de la luz ultravioleta (UV) y factores ambientales.

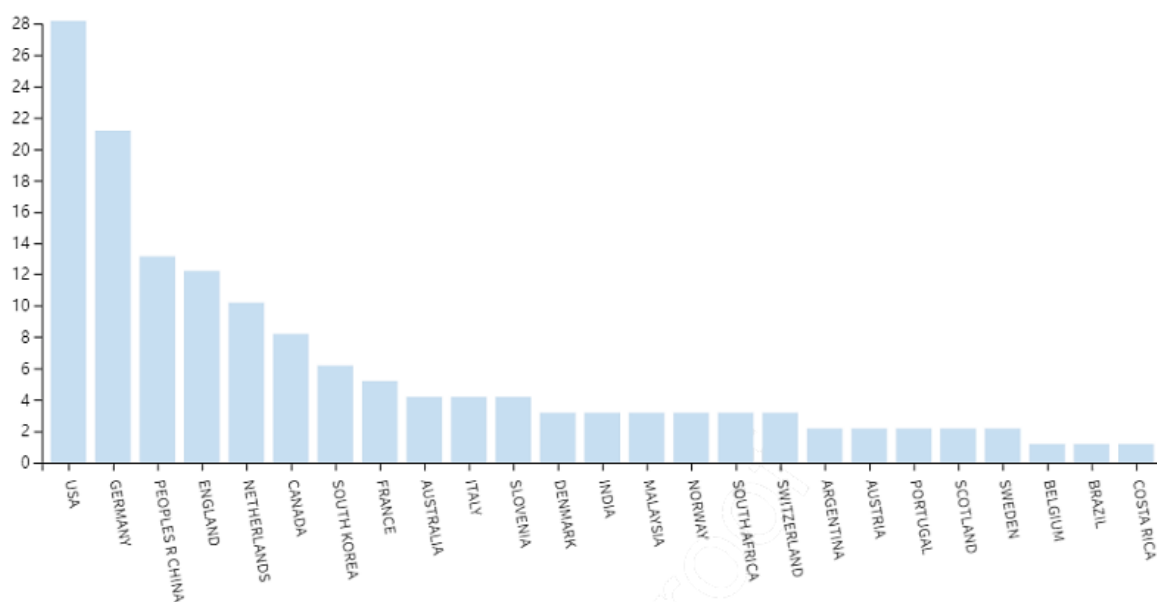
4.2.1. Microplásticos en el ecosistema de agua dulce

En los últimos años cada vez más estudios han explorado la presencia de microplásticos en lagos y ríos urbanos donde se ha visto que en estos ambientes también existen concentraciones altamente heterogéneas comparables a las reportadas en los ambientes marinos donde se cree que estas son rutas de transporte que trasladan los microplásticos hasta los océanos de forma similar a un sumidero (Wagner y Lambert, 2017). La distribución y acumulación de microplásticos en los sistemas de agua dulce están influenciados por los mismos parámetros físicos de las aguas marinas, es decir, las corrientes y el viento. Asimismo, se ha descubierto que las variaciones estacionales pueden afectar en la prevalencia de los mismos donde las lluvias provocan un aumento sustancial en la cantidad de microplásticos según las muestras recolectadas (Santos et al., 2022). Referente a

la presencia de microplásticos en agua dulce se puede ver mediante datos publicados que es general y globalizada (Figura 2) los cuales ingresan a estos cuerpos de agua a través de la desintegración de partículas de plástico en la columna de agua, lixiviación de partículas de plástico de la tierra a las cuencas hidrográficas y descarga directa de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (Anbumani y Kakkar, 2018).

Figura 2.

Numero de informes publicados sobre microplásticos en agua dulce alrededor del mundo.



Fuente: Campos (2019).

4.2.2. Fuentes de microplásticos

El origen de los microplásticos se correlaciona con urbanización y actividad humana debido a la dependencia global del plástico, los cuales provienen de diferentes fuentes como: procesos industriales encargados de la fabricación de plásticos, desgaste de neumáticos, desgaste de pinturas plásticas, fragmentación de envases plásticos, desgaste de céspedes artificiales, liberación de fibras de ropa textiles, descomposición de materiales plásticos agrícolas y lavadoras que pueden producir

fibras microplásticas secundarias que ingresan al medio ambiente (Lavanda y Thompson, 2014). Cuando los microplásticos son liberados al ambiente, la mayoría de ellos son transportados a los océanos por la escorrentía de los ríos, mareas, vientos y eventos catastróficos (huracanes, tsunamis), mientras que otra parte se establece en cuerpos de agua dulce (lagos, estanques, embalses, ríos, arroyos y humedales), suelos agrícolas y sitios urbanos como calles y parques (Karapanagioti y Kalavrouziotis, 2019).

4.2.3. Impactos ambientales de los microplásticos

El impacto ambiental por microplásticos es igual a los residuos plásticos comunes, pero a diferencia de estos los microplásticos no son detectables a simple vista por lo que el daño fisicoquímico que provocan al entorno se considera más intenso al acumularse de manera imperceptible en los ecosistemas terrestres y acuáticos afectando la calidad de los mismos debido a componentes tóxicos presentes en estructura dado el gran potencial de adsorción que tienen los plásticos. Asimismo, transmiten la toxicidad a la red alimentaria al bioacumularse en los diferentes organismos de la cadena trófica llegando hasta el ser humano (Shahnawaz y Sangale, 2019).

4.2.4. Microplásticos en la salud

El desafío para la salud humana es que los microplásticos proporcionan una vía de transferencia para que algunas sustancias químicas entren y se propaguen en la red alimentaria sin ser detectadas por lo que al llegar y acumularse considerablemente en el organismo de los humanos ocasionan enfermedades cardiovasculares, seguido de problemas gastrointestinales, endocrinos y enfermedades crónicas como cáncer en algunos casos (Walker, 2021). Anudado a lo anterior, es de mencionar que solo hay un indicador (14.1.1b) en el objetivo 14 de los ODS especialmente relacionado con la reducción de los impactos de los microplásticos (Figura 3) por lo que resulta complicado la implementación de estrategias más sostenibles por parte de los gobiernos y las organizaciones en provecho de cambiar hábitos de consumo y concientización pública sobre los riesgos de los microplásticos.

Figura 3.

Resumen de los ODS de la ONU, donde el círculo verde en el objetivo 14 alude a que es el único con indicadores directamente relacionados con microplásticos, a diferencia del resto de ODS que carecen de indicadores relacionados con estos residuos.



Fuente: (Op. Cit.).

5. Metodología

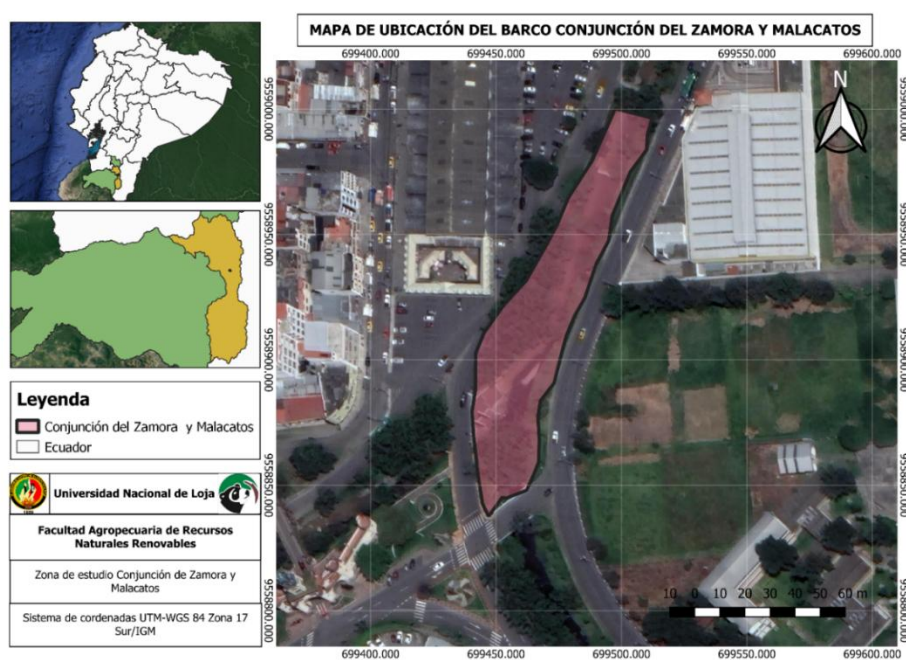
5.1. Área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la ciudad de Loja ubicada al sur de la Región interandina del Ecuador en las coordenadas geográficas 03° 39' 55" y 04° 30' 38" de latitud Sur 79° 05' 58" y 79° 05' 58" de longitud Oeste a una altitud de 2060 m. s. n. m. Esta ciudad ocupa un área de 5186,58 ha (52 Km²) y tiene una población de 170 280 habitantes (Instituto Geografico Militar, 2018). El clima es templado andino, con una temperatura media del aire de 16,6 °C en promedio y una precipitación anual de 900 mm de lluvia, lo que la mantiene húmeda la mayor parte del tiempo, con una humedad relativa que varía entre el 69 % y el 83 % (Municipio de Loja , 2022).

La recolección de las muestras se ejecutó en el sitio, El barco, conjunción del río Zamora y Malacatos, ubicado en las coordenadas 3°59'20" de latitud Sur y 79°12'12" de longitud Oeste. Este lugar se encuentra en la zona norte de la ciudad entre las avenidas Universitaria y Emiliano Ortega y pertenece al barrio Gran Colombia que forma parte de la parroquia Sucre (Alcaldía de Loja , 2018).

Figura 4.

Ubicación geográfica del barco conjunción del Zamora y Malacatos.



5.2. Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo experimental con un enfoque cuantitativo, ya que se enfocó en examinar la concentración y el grado de toxicidad de microplásticos en la conjunción de los ríos Malacatos y Zamora. Para ello, se recolectó por dos ocasiones una muestra de agua de las esquinas de la conjunción de ambos ríos en cada uno de los tres puntos (Figura 5). Esto, debido a que existe más posibilidad de encontrar microplásticos en agua con sedimentos que en agua superficial (Chen et al., 2021). Con las primeras muestras se trabajó en la cuantificación de la cantidad de microplásticos presentes y evaluación de su riesgo ecotoxicológico mediante el ensayo de *Artemia salina*. Por su parte, las segundas muestras se enviaron al laboratorio de ensayos de la Universidad Técnica Particular de Loja para evaluar la calidad del agua y contrastar esta calidad con la cantidad y toxicidad de los microplásticos.

Figura 5.

Puntos de muestreo en el Barco conjunción del Zamora y Malacatos.



5.3. Metodología para el primer objetivo: Evaluar la acumulación de microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora

5.3.1. Muestreo en el río

Los envases usados fueron canecas de 4 L de capacidad, para almacenar muestras significativas de agua. Previo a su uso, se limpiaron y esterilizaron con el fin de que no exista algún tipo de contaminación externa que afectara la calidad de las muestras. Una vez desinfectadas, se llenaron completamente evitando la presencia de aire debido a que la entrada de polvo, microorganismos y compuestos químicos podrían incidir en los resultados de los análisis posteriores.

Figura 6.

Toma de muestras de agua en canecas.



El traslado de las canecas se realizó mediante una nevera portátil con el objetivo de que se conserve las condiciones naturales presentes durante el muestreo y evitar que la luz ultravioleta incida sobre las muestras, ya que esta produce una serie de reacciones que estropean los

componentes orgánicos e inorgánicos de los sedimentos (Cluzard et al., 2015). Una vez en laboratorio, las muestras se refrigeraron para evitar que se malogren por agentes exógenos como temperatura, presión y luz solar.

5.3.2. Separación de los sedimentos

Previo a este procedimiento, se extrajo las canecas de la refrigeradora y se las dejó en reposo en temperatura ambiente aproximadamente una hora. Posteriormente se extrajo los sedimentos de las muestras a través de la filtración que separa los sólidos de los líquidos según su tamaño mediante un embudo o papel filtro (Santos et al., 2022). En este caso se extrajo el agua con sedimentos de las canecas mediante una pipeta graduada y se la colocó en el equipo de filtración para retener los sólidos en los filtros. En este caso se utilizaron filtros de pliegues que dada su superficie permite retener sólidos de minúsculo tamaño. Cabe mencionar que se filtró 1 L de las muestras de río utilizando tres de estos filtros cada 330 ml aproximadamente para mantener la calidad de filtrado durante este procedimiento y evitar daños o fallos en el sistema de filtración. Una vez finalizada la separación de sedimentos, se dejó secar los filtros en una incubadora a una temperatura de 25°C para facilitar la posterior identificación de microplásticos.

Figura 7.

Proceso de filtración para la extracción de sedimentos.



5.3.3. Identificación de microplásticos

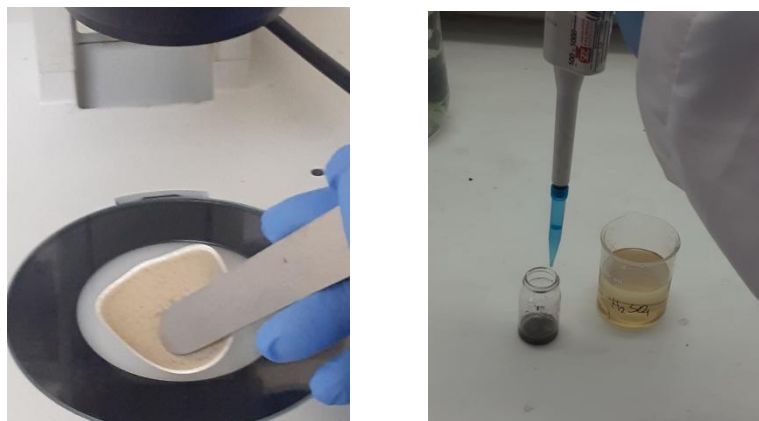
La identificación de microplásticos se llevó a cabo utilizando la técnica de microscopía que es un método que se emplea para examinar partículas pequeñas bajo grandes aumentos. Esta inspección se realizó en base a características como forma (larga, delgada, circular, ovoide, cilíndrica, esférica), color y textura descritas por Rocha y Duarte (2017) en su libro *Characterization and Analysis of Microplastics*. La misma se llevó a cabo con la ayuda de un estereoscopio ImageFocus_Plus_V2.4.9.0.

5.3.4. Purificación de sedimentos

La purificación de los sedimentos se efectuó mediante el método de digestión que consiste en desintegrar la matriz orgánica de una muestra para trabajar de manera precisa con los componentes inorgánicos en estudios de toxicología ambiental y gestión de riesgos (Worrell y Vesilind, 2012). En este sentido, posterior a la identificación de partículas sospechosas de ser microplásticos en los tres filtros por punto de muestreo, se raspo cuidadosamente los sectores donde se detectó estas partículas, luego, se colocaron estos escombros en viales (uno por cada filtro) con ácido sulfúrico durante dos horas (Figura 8) para deshacer los componentes orgánicos dejando únicamente la parte mineral de los sedimentos. A continuación, se extrajo el ácido sulfúrico de los viales con ayuda de una micropipeta y se los enjuagó con agua destilada para purificar los sedimentos. Posteriormente, se retiró el agua destilada de los viales y se los dejó secar a temperatura ambiente durante dos horas. Una vez secos, se pesó los sedimentos de cada vial y se hizo la sumatoria de estos pesos para su posterior tabulación.

Figura 8.

Raspado y purificación de sedimentos.



5.3.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se lo realizó utilizando el software Past mediante pruebas no paramétricas debido a que el tamaño de muestra es muy pequeño. Para ello se usó la prueba de Kruskal Wallis que permitió comparar los pesos totales de sedimentos por punto y saber si existía diferencias significativas entre ellos con la finalidad de evaluar qué puntos pueden actuar como sumideros de contaminantes (en este caso microplásticos) o cuales son más susceptibles a la acumulación de los mismos. Asimismo, se graficó los resultados obtenidos mediante un diagrama de caja y bigotes para visualizar de forma más concreta estas disparidades.

5.4. Metodología para el segundo objetivo: Evaluar la calidad del agua de los ríos Malacatos y Zamora mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Para estimar la calidad del agua en la conjunción de los ríos Zamora y Malacatos, se muestreo por segunda ocasión en cada uno de los tres puntos con una botella Boeco de 1L por punto (Figura 9). Una vez recolectadas las muestras de agua se juntó el contenido de las tres botellas en una caneca para obtener una muestra compuesta la cual se transportó mediante una hielera portátil al laboratorio de ensayos de la Universidad Técnica Particular de Loja para llevar a cabo el análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se toman en cuenta en el cálculo del índice de

calidad del agua, los cuales son: pH, coliformes fecales, DBO₅, sólidos totales suspendidos, nitratos, fosfatos, temperatura, oxígeno disuelto y turbidez. Luego de conocer los valores de estos parámetros, se los colocó en la hoja de cómputo del software ICATest v1.0 que es una herramienta computacional para el cálculo del ICA donde el resultado se representa en valores de 0 al 100 (Figura 10) evaluando así la calidad del agua en la zona de estudio.

Figura 9.

Recolección de las segundas muestras.



Figura 10.

Criterios generales de calidad del agua.

ICA	Criterio general
85-100	No Contaminado
70-84	Aceptable
50-69	Poco Contaminado
30-49	Contaminado
0-29	Altamente Contaminado

Fuente: Rodríguez y Lacaba (2020).

5.5. Metodología para el tercer objetivo: Evaluar el riesgo ecotoxicológico por microplásticos usando el bioensayo de toxicidad aguda con *Artemia salina*

Para este objetivo, se siguió un procedimiento estándar planteado por Michael Meyer y Nicholas Schroeder en 1980 para evaluar la toxicidad de diversas sustancias químicas a través del organismo *Artemia salina*, que es un crustáceo zooplanctónico propio de lagos y estanques con alta salinidad, el cual se considera un organismo modelo ideal para pruebas de toxicidad aguda en laboratorio debido a la facilidad de cultivo y sensibilidad a diferentes toxinas (Tretiakova et al., 2021).

Figura 11.

Organismo de prueba Artemia salina.



Fuente: Hofman (2019).

5.5.1. Ensayo de toxicidad

Una vez obtenidos los quistes de artemia, se preparó agua de mar artificial como medio de eclosión, para ello se pesó 38 g de sal de mar y se los disolvió en agua destilada en un equipo de agitación durante media hora. Posteriormente esta agua se transfirió a una pecera donde se añadieron los quistes junto con una fuente de aireación. Este recipiente se mantuvo durante 24 horas en un gabinete equipado con una lámpara de luz LED como fuente de iluminación a una temperatura constante de 25 °C para favorecer la eclosión de los quistes.

Análogamente se prepararon diluciones en serie con dosis de sedimentos. Para ello, se colocó 1 ml de agua destilada con sal marina en cinco viales donde se mezcló el primer vial con 1 ml de solución madre que se preparó al disolver 0.01 g (10 mg) de sedimentos en agua de muestra obtenida del proceso de filtración. Luego, para el segundo vial y los restantes se realizaron diluciones al 50%, es decir, se tomó 1 ml de la solución del primer vial y se mezcló con el mililitro de agua destilada con sal marina del segundo vial resultando en una concentración de sedimentos total de 0.005 g (5 mg/ml), luego, de este segundo vial se tomó 1 ml de la solución y se mezcló con el mililitro de agua destilada con sal marina del tercer vial teniendo una concentración total de sedimentos de 0.0025 g (2.5 mg/ml). Este proceso, se repitió con los viales restantes donde las dosis fueron la mitad del anterior, concretamente 0.00125 g (1.25 mg/ml) para el cuarto y 0.000625 g (0.625 mg/ml) para el quinto. Simultáneamente, se transformó estas dosis de mg/ml a ppm mediante la ecuación 1 para comparar de manera más detallada y práctica las concentraciones de diferentes soluciones.

$$\text{Concentracion en ppm} = \text{concentracion en } \frac{\text{mg}}{\text{ml}} * 1000 \quad \text{Ec (1)}$$

Este procedimiento se realizó por triplicado con dos filas más por cada vial principal (Figura 12) para garantizar la consistencia y precisión de los resultados. Adicionalmente, se colocó en tres viales de control 2 ml de agua salina pura sin dosis con el propósito de identificar variables externas que puedan afectar los resultados del ensayo o errores en la preparación del experimento.

Una vez preparados los viales, se extrajeron las larvas de artemia eclosionadas de la pecera y se colocaron 10 en cada vial utilizando una pipeta Pasteur. Posteriormente, los viales se dejaron en el laboratorio bajo iluminación de una lámpara a una temperatura de 25 °C durante 12 horas.

Figura 12.

Ensayo de toxicidad por triplicado.



5.5.2. Análisis de datos

Para el análisis de datos, se realizó el conteo del número de muertes en cada uno de los viales y se transformó la mortalidad observada en proporción de muertes mediante la ecuación 2 con la finalidad de interpretar los resultados en porcentaje de toxicidad.

$$\text{Proporcion de muertes} = \frac{\text{numero de muertes}}{\text{numero total de artemias}} \quad \text{Ec (2)}$$

Posteriormente estos datos fueron ingresados al software STATGRAPHICS que es una herramienta estadística que permite realizar análisis, modelos y representaciones graficas. Para este estudio se usó el modelo Probit el cual permite representar gráficamente a través de una curva sigmoidea la relación entre dos variables (en este caso dosis/mortalidad) (Vargas, 2010). Este modelo es particularmente útil cuando la variable dependiente tiene solo dos posibles resultados como si/no o vida/muerte en el contexto de este estudio. De este modo, se evaluó como la variable dosis afecta la probabilidad de que ocurra la muerte de la población de artemias.

6. Resultados

6.1. Resultados del primer objetivo: Evaluar la acumulación de microplásticos en la confluencia de los ríos Malacatos y Zamora

6.1.1. Identificación de microplásticos

Se observó la presencia de partículas similares a microplásticos en los filtros analizados, debido a que se asemejaban a formas de microplásticos descritos por Rocha y Duarte (2017), teniendo formas circulares, cilíndricas y esféricas, las cuales se muestran en la Figura 13.

Figura 13.

Identificación de microplásticos en los puntos de muestreo.



6.1.2. Concentración de sedimentos

Se registró un total de 5.13 g de sedimentos a lo largo de la zona de estudio, donde el tercer punto presentó los mayores valores con un promedio de 2.24 g, seguido del punto dos con 1.81 g mientras que en el primer punto de muestreo se dieron los valores más bajos con un promedio de 1.08 g. Estos datos experimentales obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.

Promedio de sedimentos por cada punto de muestreo.

Puntos de muestreo	Peso de sedimentos por vial (g)	Total (g)
Punto 1	0,63	1,08
	0,26	
	0,19	
Punto 2	0,50	1,81
	0,51	
	0,80	
Punto 3	0,60	2,24
	0,70	
	0,94	

6.1.3. Análisis de varianza

Al aplicar la prueba de Kruskal Wallis, se obtuvo un valor de significancia de 0.2019 que es mayor a 0.05, indicando que no hay diferencias significativas en la distribución de la concentración sedimentos en los tres puntos (Tabla 5). Asimismo, estos resultados sugieren que su distribución en la conjunción de los ríos Zamora y Malacatos se debe al flujo del agua, ya que el hecho de que no se encuentren diferencias significativas en las medias de los pesos entre los puntos propone que no existen fuentes puntuales de sedimentos, sino que son arrastrados hasta la conjunción. Esto concuerda con las condiciones del lugar debido a que la presencia de residuos en sedimentos parece darse por arrastre y no por el depósito concreto de los mismos.

Tabla 5.

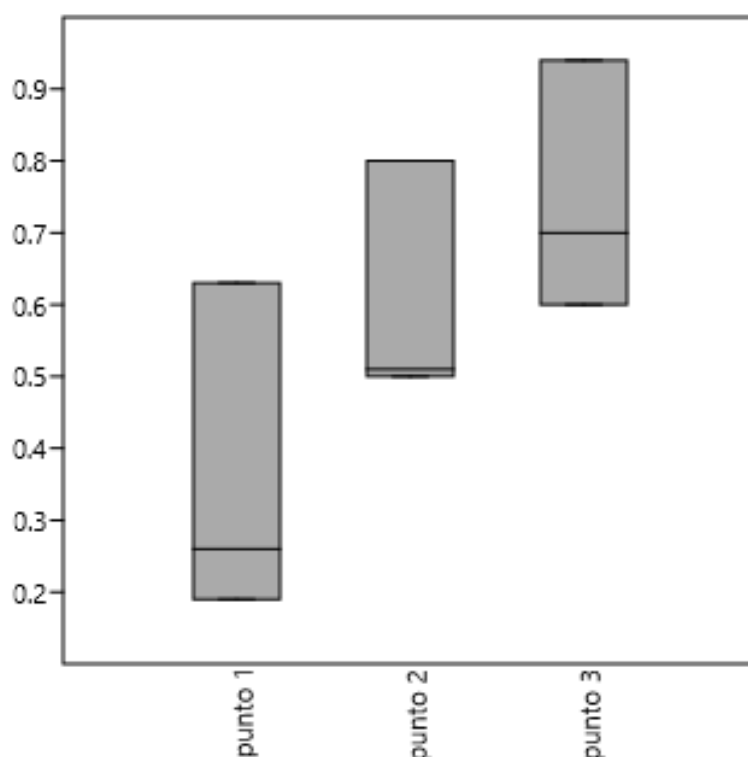
Resumen de la prueba de Kruskal Wallis para análisis de varianza.

Hipótesis nula	Valor p	Estadístico H (Chi ²)	Estadístico H corregido (Hc)	Decisión
La distribución de la concentración de sedimentos es similar entre los tres puntos de muestreo	0,2019	3,2	3,2	Se acepta la hipótesis nula

En la Figura 14 se muestra la distribución de la concentración de sedimentos en gramos (eje Y) en cada punto de muestreo, donde se observa que las distribuciones aparentemente son diferentes; no obstante, se puede inferir que las mismas no son significativas, ya que estos resultados son análogos con los de la prueba de Kruskal Wallis que indicó que las medianas de los pesos de sedimentos en los tres puntos de muestreo no son diferentes.

Figura 14.

Variabilidad de cantidad de sedimentos en los tres puntos de muestreo.



En el primer punto, la mediana de los pesos de sedimentos fue la más baja (0,26 g) fluctuando entre los valores de 0,19 g a 0,63 g siendo un rango intercuartil amplio. Estos resultados indican que en general existe una menor cantidad de sedimentos en el agua; sin embargo, las condiciones más dinámicas en este punto como una mayor velocidad de flujo, dinámica de transporte y depósito de partículas en el ambiente acuático podrían influir en la alta variabilidad registrada.

En el segundo punto, la mediana de los pesos de sedimentos fue intermedia (0,51 g) entre los valores de 0,50 g a 0,80 g siendo un rango intercuartil relativamente más estrecho en comparación al primer punto lo que propone que una mayor cantidad de sedimentos en este punto podría deberse a condiciones más estables por una topografía más consistente permitiendo un mayor equilibrio en la tasa de acumulación.

En el tercer punto, la mediana de los pesos de sedimentos fue la más alta (0,70 g) entre los valores de 0,60 g a 0,94 g siendo un rango intercuartil similar al segundo punto. Estos resultados indican que en este punto existe una mayor acumulación de sedimentos, lo cual puede deberse a los desniveles presentes en este sector de muestreo que hacen que la velocidad de flujo del agua disminuya permitiendo la deposición de sedimentos.

6.2. Resultados del segundo objetivo: Estimar la calidad del agua de los ríos Malacatos y Zamora mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) basado en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los resultados de los parámetros analizados fueron otorgados por el laboratorio de ensayos de la Universidad Técnica Particular de Loja (Anexo 1), los cuales fueron colocados en la hoja de cálculo del software ICATest v1.0 según se muestra en la Tabla 6 para evaluar la calidad del agua existente en la zona de estudio.

Tabla 6.

Informe de resultados para el cálculo del ICA.

Parámetro	Resultados	Unidad
DBO	143	mg/l
Oxígeno disuelto	98,9	mg/l
Coliformes fecales	2000000	NMP/100ml
Nitratos	<1	mg/l
pH	6,99	-
Cambio de temperatura	3,6	°C
Solidos totales	832	mg/l
Fosfatos totales	0,14	mg/l
Turbidez	589,7	NTU

La Figura 15 presenta la valoración de la calidad del agua en función de los valores de los parámetros analizados en laboratorio de los cuales cuatro de ellos (DBO, coliformes fecales, solidos totales y turbidez) sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la agencia de protección ambiental (EPA) obteniendo por ello un resultado de 56,08, siendo la calidad del agua de nivel medio en la zona de estudio, lo que implica que en cierta forma si se cumple con los estándares de calidad para ríos de uso estético, pero a nivel general no alcanza los niveles óptimos deseables para considerarse un ecosistema saludable.

Figura 15.

Resultados del ICA en la conjunción de los ríos Malacatos y Zamora.

Resultados	Esca la de Color
Número de parámetros: 9	Excelente 91 - 100 
Valor del índice: 56,08	Buena 71 - 90 
Clasificación: Media	Media 51 - 70 
Rango: 51-70	Mala 26 - 50 
Esca la de color: Amarillo	Muy Mala 0 - 25 

6.3. Resultados del tercer objetivo: Evaluar el riesgo ecotoxicológico por microplásticos usando el bioensayo de toxicidad aguda con *Artemia salina*

En la Tabla 7 se presentan las variables de dosis (mg/ml) y número de muertes transformadas mediante las ecuaciones de concentración en ppm y proporción de muertes respectivamente, donde la letalidad se mide por el porcentaje de mortalidad de artemias en torno a las dosis en los tres puntos de muestreo.

Tabla 7.

Porcentaje de mortalidad de Artemia salina contra las concentraciones de sedimentos.

Puntos de muestreo	Dosis (ppm)	Número de muertes	Promedio de muertes	Porcentaje de mortalidad (%)
Punto 1	10000	0,9	0,9	90
		0,9		
		0,9		
	5000	0,7	0,8	80
		0,9		
		0,7		
	2500	0,5	0,5	50
		0,5		
		0,5		
	1250	0,4	0,3	30
		0,3		
		0,3		
Punto 2	10000	0,3	0,2	20
		0,2		
		0,2		
	5000	0	0,07	7
		0,1		
		0,1		
	2500	0,8	0,90	90
		1		
		0,9		
	5000	0,7	0,70	70
		0,7		
		0,7		
	2500	0,5	0,57	57
		0,7		
		0,5		
	5000	0,4	0,4	40
		0,4		
		0,4		

Punto 3	1250	0,3 0,3	0,33	33
		0,1		
	625	0,1 0,1	0,10	10
		0		
	0	0	0,07	7
		0,2		
		1		
	10000	1 0,9	0,97	97
		0,8		
	5000	0,8 0,8	0,80	80
		0,6		
	2500	0,6 0,5	0,57	57
		0,3		
	1250	0,3 0,4	0,33	33
		0,2		
	625	0,2 0,1	0,17	17
		0,1		
	0	0,1	0,10	10
		0,1		

Estos resultados fueron representados gráficamente mediante el modelo Probit para entender de manera más clara la relación entre la dosis de sedimentos y la mortalidad de artemias. En este caso se observa que en los tres puntos a medida que aumenta la dosis también lo hace el promedio de artemias muertas. Asimismo, se observa que la mayoría de los datos siguen la curva de ajuste (línea azul) y están cerca o dentro de los intervalos de confianza (línea roja), lo que indica que el modelo es aceptable para describir la relación dosis – mortalidad en las artemias expuestas a sedimentos.

Figura 16.

Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 1.

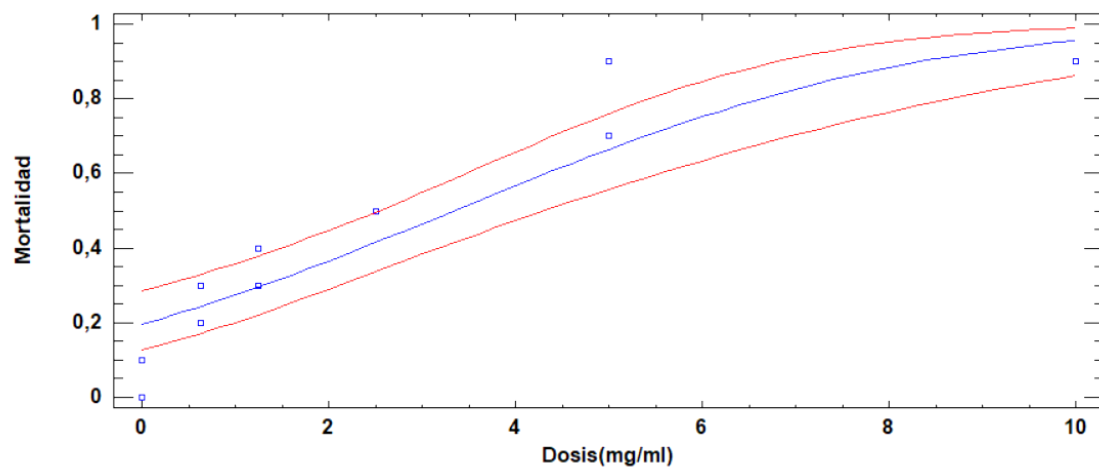


Figura 17.

Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 2.

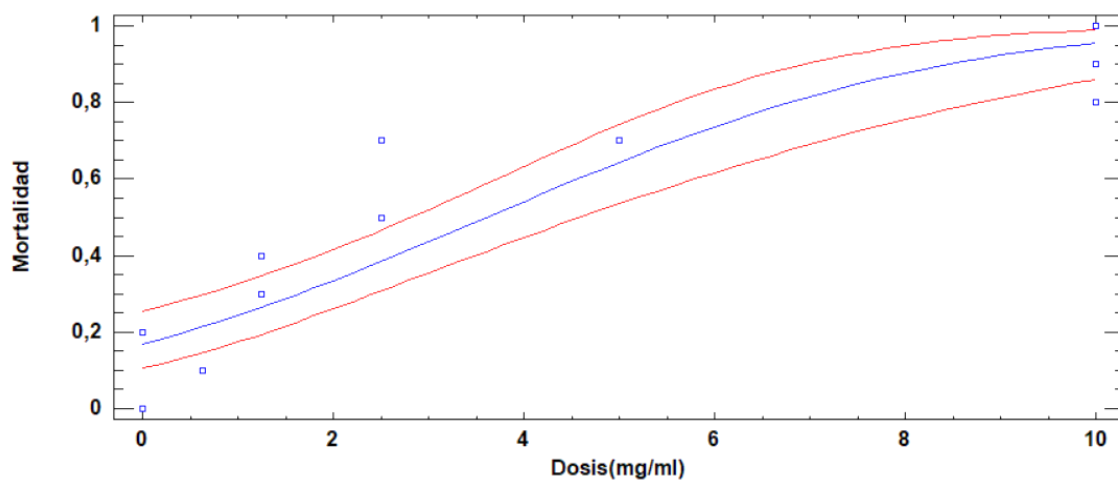
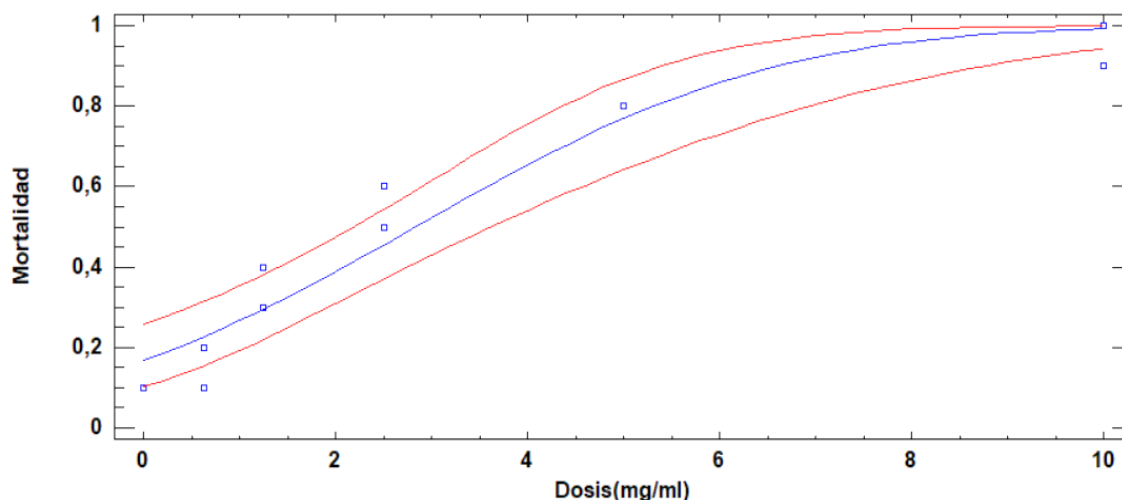


Figura 18.

Modelo para describir la relación dosis – muerte en el punto 3.



Estos resultados manifiestan que la tendencia general es la de un aumento en la mortalidad de artemias con el incremento de las dosis de sedimentos donde las más altas (10000 ppm) presentan porcentajes de mortalidad más elevados cercanos al 90% en los tres puntos de muestreo; sin embargo, las bajas dosis (625 ppm) también inciden en la mortalidad de artemias, lo que indica su considerable toxicidad para estos organismos. Cabe mencionar que en las gráficas del modelo se observan datos que se encuentran fuera de la línea de tendencia, así como también porcentajes de mortalidad entre el 7 al 10% sin dosis, esto sugiere la presencia de factores adicionales que afectan la mortalidad como muerte natural en la población de artemias, condiciones ambientales como cambios de temperatura, pH y salinidad o presencia de otros contaminantes en los sedimentos que no están relacionados con microplásticos.

7. Discusión

Se observaron partículas similares a microplásticos en sedimentos obtenidos de los ríos Malacatos y Zamora mediante la observación de filtros por microscopía; sin embargo, debido a limitaciones para extraerlos completamente de los sedimentos, los análisis posteriores que

comprendían la cuantificación y estudio de toxicidad de estos brindan una concepción aproximada de su impacto sobre el área de estudio abordando así esta contaminación desde una perspectiva que considere la dinámica de los microplásticos en los sedimentos fluviales.

Darabi (2021) subraya que el uso de sedimentos para el estudio de contaminación plástica proporciona una vía metodológica válida para evaluar el impacto de microplásticos en el medio acuático, al considerarse como un sumidero potencial para los microplásticos tal como lo corrobora Cluzard et al. (2015) en su estudio sobre concentraciones intermareales de microplásticos en Vancouver donde manifiesta que el análisis de los sedimentos puede proporcionar una visión clara de la contaminación fluvial al contener en su estructura diversos contaminantes entre ellos los microplásticos. Asimismo, Cañizares 2022 en su estudio del río Magdalena en Colombia y Silva 2022 en su estudio del Río Tietê en Brasil, manifiestan que el análisis de sedimentos proporciona una visión integrada de la contaminación al evaluarla en diferentes ubicaciones dentro de un cuerpo de agua dulce ofreciendo una representación espacial detallada.

En la presente investigación se registró una cantidad total de 5,13 gramos sedimentos donde su distribución fue similar en cada uno de los puntos. Estos valores difieren de otros estudios como el realizado por Scholz (2014) en tres ríos de California que registra concentraciones de 20 g por punto a lo largo del trayecto de cada río, así como también el estudio de González (2022) en el río Mapocho en Chile que registra 12 g por punto o el de Wagner (2012) que registra una cantidad de 90 g total en el río Danubio en Alemania.

Al respecto, Oliveira et al. (2013) da a conocer aspectos que pueden explicar el contraste entre la cantidad de sedimentos presentes en este estudio y el de los mencionados anteriormente. Uno de ellos es el tramo de muestreo el cual es considerablemente mayor en aquellos estudios con 20 m de largo aproximadamente a diferencia de la presente investigación donde se abarcó 6 m. Asimismo, las características geomorfológicas del sitio de estudio también inciden en una mayor o menor concentración de sedimentos. En el caso de los estudios mencionados, existen estructuras

naturales como rocas o meandros que disminuyen la velocidad de flujo de los ríos permitiendo una mayor deposición de sedimentos por el contrario en el presente estudio, aunque existen ciertos desniveles que amortiguan el flujo de agua sobre todo en el tercer punto, la estrechez del cauce hace que en general el volumen del agua se reduzca aumentando la velocidad de flujo transportando los sedimentos. Otro factor que puede influir en estos resultados son las actividades antropogénicas, ya que en el estudio de Ramírez y Vargas (2018) en el río de Bogotá menciona que existen actividades de deforestación que provocan la erosión del suelo, lo que incrementa la cantidad de sedimentos que llegan al río, registrando alrededor de 25 g por punto.

Del mismo modo, Hengstmann et al. (2021) mencionan que una mayor presencia de sedimentos puede darse producto de eventos climáticos como lluvias intensas, ya que en su estudio de sedimentos en el río Tollense en Alemania se registraron valores de hasta 23 g por punto en época de lluvia mientras que en verano registró un promedio de 12 g en los mismos puntos, lo que los llevó a concluir que este tipo de eventos también inciden en el aumento de la concentración de sedimentos en los puntos de muestreo debido a una redistribución de estos a lo largo del río. Esta situación concuerda con lo sucedido en el tercer punto donde la concentración fue ligeramente mayor debido a la toma de muestra en plena lluvia.

La zona de estudio presentó un nivel de calidad de agua medio, debido a que los valores de los parámetros de DBO, coliformes fecales, sólidos totales y turbidez superaron los límites máximos permisibles establecidos por la agencia de protección ambiental (EPA) para ríos de uso estético. Con respecto a esto, Thompson et al. (2015) en su estudio en el río Seymour también de uso estético, en Vancouver, explica que el incremento del DBO y coliformes fecales se debe a la presencia de bacterias o patógenos. Por otra parte, el aumento de los sólidos totales se debe a un mayor número de partículas suspendidas como: arena, roca, limo y orgánicas, que no dejan que la luz solar entre al agua provocando un aumento de la turbidez. Estos problemas también pueden relacionarse a microplásticos ya que Riva y Bonifazi (2020) en el estudio del río Tíber, en Italia, registraron una

calidad media debido a residuos plásticos presente a lo largo de ese río. En la ciudad de Loja, se reporta que a lo largo de los ríos Malacatos y Zamora existen de alrededor de 40 fuentes de descarga directa de agua contaminada (Diario Crónica, 2023), lo que puede influir en el depósito de microplásticos y estos a su vez liberar partículas suspendidas y contaminantes que alteren los parámetros de calidad.

Los experimentos de toxicidad comprobaron que los sedimentos presentes en la conjunción ambos ríos son considerablemente tóxicos para las artemias debido a que presentaron porcentajes de mortalidad del 90 al 97 % con dosis altas. Del mismo modo, Zhan et al. (2024) y Pont et al. (2016) registraron un nivel de mortalidad del 70 a 75 % pero únicamente con microplásticos, lo que indica un efecto ecológico negativo en las artemias incluso de forma independiente.

Los registros también mostraron una mortalidad del 7 al 10 % en viales de control, así como también una mortalidad del 60 % en viales con bajas dosis. Esto puede deberse a factores como la variación de temperatura, pH y oxígeno disuelto para los viales de control mientras que, en el caso de los viales con bajas dosis, la mortalidad estaría ligada a metales pesados presentes en la composición de los sedimentos. Todos estos aspectos afectan la calidad del agua causando estrés y muerte en artemias conforme lo asegura Beardmore et al. (2012).

Un estudio realizado por Tretiakova et al. (2023), con compuestos orgánicos presentó una mortalidad en artemias del 75 % en viales con bajas dosis y los grupos control. Estos investigadores mencionan que los resultados obtenidos pueden estar relacionados con la calidad de los huevos de artemia al ser almacenarlos de manera incorrecta (sin contenedores herméticos que brinden un ambiente fresco y oscuro que los protejan de la luz, humedad y oxígeno); afectando la eclosión y durabilidad de estos organismos. Otro aspecto mencionado es la estructura del contaminante que se usa, ya que no se considera que en algunos casos el mismo no es homogéneo, sino que se encuentran más componentes unidos a su estructura. Concretamente en este estudio, los microplásticos no

estaban separados de los sedimentos, lo que pudo incidir en la notable mortalidad de artemias en los viales con bajas dosis.

Dawson et al. (2015) en su estudio dan a conocer organismos que toleran mas los contaminantes que las artemias como: bacterias (*Acinobacter baumannii*), algas (*Monoraphidium littorale*) y artrópodos (*Paracyclops nana*), los cuales tuvieron tasas de supervivencia del 90 % con abundante dosis (10^7 ppm) de microplásticos, pesticidas y herbicidas, dejando en consideración la posibilidad de poder utilizarlos en un futuro para evaluar de una forma general la toxicidad de varios contaminantes. Al respecto, Wang y Junaid (2020) consideran seguir haciendo uso de artemias para evaluar los efectos de los contaminantes debido a que forman parte de la cadena trófica por lo que podrían brindar información sobre el efecto toxico de sustancias en especies de nivel trófico superior a diferencia de otros organismos que tienen relevancia ecológica en la cadena trófica. Asimismo, al ser sensibles a varios contaminantes aportan información sobre los efectos de compuestos nocivos como microplásticos, mientras que en organismos más resistentes al no verse afectados no se tendría una comprensión clara sobre la toxicidad de varios contaminantes.

En este estudio se detalló la presencia, toxicidad e influencia de los microplásticos en el agua de la zona de estudio brindando una base para futuras investigaciones; no obstante, es necesario tomar en cuenta las limitaciones metodológicas que pueden presentarse como en este caso la completa separación de los microplásticos de los sedimentos que es primordial para entender de forma más amplia la magnitud real de la contaminación plástica en los ríos Malacatos y Zamora.

8. Conclusiones

Los microplásticos se encuentran dispuestos de manera uniforme en la zona de estudio, ya que el peso de los sedimentos en donde se encuentran es comparable en cada punto muestreado debido a aspectos como la carencia de fuentes puntuales de sedimentos, geografía del sitio y circulación del agua.

La calidad del agua del lugar presenta un nivel medio debido a que algunos parámetros de calidad establecidos por la EPA se ven afectados por acumulación de residuos sólidos y fuentes de descarga de sedimentos que son transportados a lo largo de ambos ríos.

Los microplásticos presentan un impacto muy negativo sobre organismos que se exponen a ellos en entornos acuáticos, ya que sus efectos tóxicos son elevados incluso si se encuentran aislados de otros compuestos como los sedimentos.

9. Recomendaciones

Ampliar los puntos de estudio en diferentes segmentos de los ríos Malacatos y Zamora para evaluar de forma completa la contaminación plástica presente en estos ríos.

Muestrear tomando en cuenta ciertas temporadas del año para conocer como varía la acumulación de sedimentos en torno a los cambios estacionales.

Incorporar procedimientos más avanzados en torno a la separación concreta de microplásticos y sedimentos como la división electroestática.

10. Bibliografía

- Akbarzadeh. (2022). La abundancia de contaminación por microplásticos a lo largo del río Jajroud de Teherán. *ELSEVIER*: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109629>
- Andrady. (2017). The plastic in microplastics. *Marine Pollution Bulletin*: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.082>
- Beardmore, Abatzopoulos, y Sorgeloos. (2012). *Artemia: Basic and Applied Biology*. Springer Science.
- Chen, Ting y Gibbins. (2023). Microplastic concentrations in river water and bed sediments in a tropical river. *SpringerLink*. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10856-5>
- cluzard, Kazmiruk y Kazmiruk. (2015). Concentraciones intermareales de microplásticos y su influencia en el ciclo del amonio en relación con la industria de mariscos. *Arch Environ Contam Toxicol*. DOI 10.1007/s00244-015-0156-5
- Darabi, Majeed, Diehl, Norton y Zhang. (2021). A Review of Microplastics in Aquatic Sediments: Occurrence, Fate, Transport, and Ecological Impact. *SpringerLink*. doi: 10.1038/srep17988
- Dawson, Bergam, Boccia, Vannuccinia y Monopolib. (2015). *ELSEVIER*. Nanosized polystyrene affects feeding, behavior, and physiology of brine shrimp *Artemia franciscana* larvae. *ELSEVIER*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.021> 0147-6513/
- Diario Cronica. (2023). Más de 40 descargas de agua contaminada llegan a los ríos Malacatos y Zamora. *Las noticias al día*. <https://cronica.com.ec/2023/07/06/mas-de-40-descargas-de-agua-contaminada-llegan-a-los-rios-malacatos-y-zamora/>
- Diario La Hora. (2020). Río Malacatos con serios efectos de contaminación. *La Hora*. <https://www.lahora.com.ec/noticias/rio-malacatos-con-serios-efectos-de->

contaminacion/#:~:text=El%20r%C3%ADo%20Malacatos%20tiene%20alto,para%20una
%20disminuci%C3%B3n%20del%20caudal.

Estahbanati y Fahrenfeld. (2016). Influence of wastewater treatment plant discharges on microplastic concentrations in surface water. *ELSEVIER*.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.083>

Fuji, Nakashima, Isobe, Kubo, Tamura y Kako (2014). Transporte selectivo de microplásticos y mesoplásticos por deriva en aguas costeras. *Boletín de Contaminación Marina*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.09.041> 0025-326X/

Gaibor y Moncada. (2021). Microplásticos en sedimentos de playas de las Islas Galápagos, Ecuador". *ELSEVIER*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147704>

Hengstmann, Tamminga, Deuke y Fischer. (2021). Microplastic concentrations, characteristics, and fluxes in water bodies of the Tollense catchment, Germany, with regard to different sampling systems. *RESEARCHGATE*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16106-4>

Junaid, Suman, Jia, Xin y Yan. (2020). Acute and chronic effects of polystyrene microplastics on brine shrimp: First evidence highlighting the molecular mechanism through transcriptome analysis. *ScienceDirect*. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123220>

Lima. (2023). Distribución, fuentes y destino de los microplásticos en sedimentos fluviales de la Amazonía ecuatoriana. *PubMed*. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e23232

Oliveira, Guilhermino, Hylland y Ribeiro. (2013). Indicadores ecológicos. *ELSEVIER*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.019>

Fernández, Hégaret y Lambert. (2016). Exposure of marine mussels *Mytilus* spp. to polystyrene microplastics: Toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation. *PubMed*. doi: 10.1016/j.envpol.2016.06.039

- Scholz, Keckeis y Lumesberger. (2014). El Danubio, tan colorido: una mezcla de basura plástica supera en número a las larvas de peces en el segundo río más grande de Europa. *ResearchGate*. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.02.006
- Thompson, Aldridge y Medrano. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *ELSEVIER*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.012>
- Tretiakova, Pikula, Kirichenko y Golokhvast. (2023). Evaluation of the ecotoxicological impact of carbon microparticles on zooplanktonic crustaceans *Artemia Salina*. *Conferencia internacional de ciencia y tecnología "Ciencias de la tierra"*. doi:10.1088/1755-1315/720/1/012082
- Velzeboer. (2014). *Transporte de contaminantes orgánicos persistentes por microplásticos en condiciones estuarias*. ELSEVIER.
- Wagner, Scherer y Muñoz. (2012). Microplásticos en ecosistemas de agua dulce: lo que sabemos y lo que necesitamos saber. *Environmental Sciences Europe*. <http://www.enveurope.com/content/26/1/12>
- wang, Mao, Zhanga y Zhang. (2019). The absorption and elimination of polystyrene microplastics by brine shrimp, *Artemia parthenogenetica*, and its impact on their feeding behavior and intestinal histology. *ELSEVIER*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.267>
- Zhan, Zhao y Zheng. (2024). *Microplastics in remote coral reef environments of the Xisha Islands in the South China Sea: Source, accumulation and potential risk*. ResearchGate.
- Anbumani y Kakkar (2018). Ecotoxicological effects of microplastics on biota: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1999->

- Aragaw. (2021). Microplastic pollution in African countries' water systems: a review on findings, applied methods, characteristics, impacts, and managements. *SN Applied Sciences*.
<https://doi.org/10.1007/s42452-021-04619-z>
- Bergmann y Klages. (2015). *Marine Antropogenic Litter*. Springer
- Campos. (2019). Assessment of Microplastics in Freshwater Systems: A Review. *Journal Pre-proof*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135578>
- Cera y Scalici. (2020). Microplastics in Freshwater: What Is the News from the World?. *Diversity*.
doi:10.3390/d12070276
- Chen, Shen, Cao, Yang, Zeng y Gong. (2021). A review of biodegradable plastics to biodegradable microplastics: Another ecological threat to soil environments?. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127816>
- Herrera y Gomez. (2021). Microplastics in marine biota: A review. *Marine Pollution Bulletin*.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112540>
- Hidalgo y Thompson. (2012). *Microplastics in the Marine Environment*. Environmental science & technology.
- Kannan y Vimalkumar. (2021). A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens. *Frontiers in Endocrinology*.
<https://doi.org/10.3389/fendo.2021.724989>
- Karapanagioti y Kalavrouziotis (2019). *Microplastics in water and wastewater*. IWA Publishing.
- Khan y Wang. (2023). *Microplastic sources, fate and solution* .Springer
- Leon (2018). *METEORED*. Microplásticos perdidos.
<https://www.tiempo.com/ram/402211/microplasticos-perdidos/>
- Morillo y Martinez. (2021). Efectos potenciales de los microplasticos en la salud humana. *Universidad de Sevilla* .
- Padervand, Lichtfouse, Robert y Wang. (2020). Removal of microplastics from the environment. A

- review. *Springer Nature Switzerland*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1234-9>
- Razeghi, Hamidian, Zhang y Yang. (2021). Microplastic sampling techniques in freshwaters and sediments: a review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01303-x>
- Saraiva. (2022). Se ven por primera vez microplásticos en el agua acumulada en las plantas. *Metropoles*. <https://www.metropoles.com/mundo/meio-ambiente-mundo/microplasticos-sao-vistos-pela-1a-vez-na-agua-acumulada-em-plantas>
- Shim y Hong. (2016). Identification methods in microplastic analysis: a review. *Analytical Methods*. DOI: 10.1039/C6AY02558G
- TEC Instrumental . (2016). Calorimetro diferencial de barrido de alta presion (HP DSC). *Analisis termico*. https://www.tecinstrumental.com/contenidos/2016/01/18/Editorial_3024.php
- Walker. (2021). Microplastics and the UN Sustainable Development Goals. *ScienceDirect*. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100497>
- Wang y Babel. (2023). *Microplastic Ocurrence, fate, impact, and remedation*. Springer

11. Anexos

Anexo 1.

Informe del análisis de muestra compuesta de agua.

 UTPL UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA		REGISTRO DE INFORME DE RESULTADOS		 SERVICIO DE Acreditación ECUATORIANO Acreditación N° SAE LEN 12-095 LABORATORIO DE ENSAYOS	
Laboratorios		LABORATORIOS UTPL			
CODIGO: R.7.8.2 VERSION: 6 FECHA: 2023-10-17 ELABORADO POR: Diego Maza Estrada REVISADO Y APROBADO POR: Diana Ines Hualpa					
Informe de Resultados Nro:			2407572227		
Solicitud Nro: 757		Fecha del Informe: 2024-06-17			
Sitio de análisis: Laboratorios UTPL		Dirección: San Cayetano Alto s/n, Loja Ecuador			
Información Proporcionada por el Cliente:					
Cliente: Angel Israel Romero López		Muestreador: Angel Israel Romero López			
Dirección: San Pedro		Descripción: Agua Natural			
Teléfono: 0997066858		Identificación: Barco Conjunción Malacatos/Zamora			
Email: angeltyrion@gmail.com		Fecha de muestreo: 2024-06-06			
Información general de muestra recibida:					
Fecha de recepción: 2024-06-06					
Condiciones de recepción: Las muestras son transportadas bajo cadena de frío, llegan al laboratorio a temperatura de (3 a 7) °C					
Resultados de análisis de muestra					
Condiciones Ambientales durante el ensayo:		Temperatura (°C): 20.6		Humedad (%): 56	
Fecha de análisis		Ítem de ensayo	Unidad	Resultado	Método de ensayo
Inicio	Fin				
2024-06-07	2024-06-07	pH	-	6.998	AOAC, 973.41
2024-06-07	2024-06-07	Turbidez	NTU	589,7	SM 2130 B
2024-06-10	2024-06-10	Nitratos	mg/l	<1	SM 4500-NO3-B
2024-06-06	2024-06-11	DBO5	mg/l	143	SM 5210 D
2024-06-06	2024-06-06	Oxígeno disuelto *	mg/l	98.9	SM 4500-O-G
2024-06-13	2024-06-13	Fosfatos *	mg/l	0.14	SM 4500-P-E
2024-06-14	2024-06-14	Sólidos suspendidos totales	mg/l	832	SM 2540-D
2024-06-06	2024-06-07	Coliformes Fecales *	NMP/100ml	2000000	ISO 9308-2:2012
Glosario:					
n/d: No disponible			NPM/100 ml: Número más probable de bacterias por 100 mililitros		
<: Menor al límite de detección			mg/l: miligramos por litro		
% Sat OD: Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto			IS: In Situ (En el sitio de muestreo)		
UPeCo: Unidades de Platino Cobalto			SM: siglas en inglés de Método Estándar		
NTU: Unidades nefelométricas de turbidez			AOAC: siglas en inglés de Asociación de Químicos Analíticos Oficiales		
uS/cm: microsiemens por centímetro					
Observaciones:					
A) El informe de ensayo no se puede reproducir parcialmente, excepto en su totalidad con la aprobación escrita del laboratorio.					
B) Los resultados representan exclusivamente la muestra (s) analizada (s).					
C) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE					
validez de los resultados.					
expresado entre paréntesis (0.016) corresponde a la concentración del parámetro en su muestra.					
Información Técnica:					
Los métodos de análisis para la determinación de cada uno de los parámetros, se basan en:					
Edición 24th del Standar Methods, publicada en marzo de 2023.					
Edición 21th del AOAC - Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, publicada en 2019.					

ELABORADO POR:


Mgr. Cristian David Jumbo
Técnico Analista

REVISADO Y APROBADO POR:


Mgr. Diego E. Maza Estrada
Lider Técnico

----- Fin del Informe -----

----- Página 1 de 1 -----

PBX:593-073701444 Ext. 3042 - 3041 E-mail: labutpl@utpl.edu.ec CP:11-01-608. San Cayetano Alto

Anexo 2.

Certificado de traducción del abstract

Loja, 22 de abril del 2025

Yo, Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, con cédula de identidad 1104226913, como traductora certificada por el Ministerio de trabajo del Ecuador con licencia número MDT-3104-CCL-252643, certifico que la traducción del resumen de tesis denominado "**Análisis de la contaminación por microplásticos en los ríos Malacatos y Zamora de la ciudad de Loja,**" es precisa en mis capacidades como traductora certificada.

El trabajo en mención es de autoría del señor **Ángel Israel Romero López**, con cédula de identidad Nro. **1105638124**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la Universidad Nacional de Loja.

I, Xilena Aldeán Sandoval, certify that I am fluent in the English and Spanish language and that the abstract of the thesis belonging to Angel Israel Romero Lopez, is an accurate translation of its original Spanish version.



XILENA ELIZABETH
ALDEAN SANDOVAL

Xilena Elizabeth Aldeán Sandoval, Mg.

Traductora/Translator