

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias de la Vida

Caracterización de contaminación por microplásticos en peces según su
ecología en la reserva de producción de fauna Manglares El Salado

VIDA-382

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Bióloga

Presentado por:

Leidy Paulette Guerrero Alvarado

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi familia: Viviana, Roberto, Karen y Lola, porque en ustedes encuentro siempre un hogar. Gracias por su cariño y por ser mi mayor fuente de motivación. En especial, a mis padres, por ser el pilar más importante de mi vida, por su amor, apoyo y ejemplo constante.

A mis amigos, por su compañía, su confianza y por hacer de este camino algo mucho más significativo. A Nohelia Saavedra, mi amiga desde el primer día, por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Laboratorio de Investigación de Contaminantes Emergentes por brindarme las herramientas y el espacio necesario para llevar a cabo mi investigación.

A mi tutor de tesis, Gustavo Domínguez, que me brindo la guía para realizar este trabajo.

Además, a las técnicas por su disposición, a lo largo del desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a mis compañeras de laboratorio, por su apoyo incondicional. Su colaboración y amistad han hecho de esta experiencia algo invaluable.

Declaración Expresa

Yo Leidy Paulette Guerrero Alvarado acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de octubre del 2025.

Paulette Guerrero Alvarado

Autor

Evaluadores

Diego Arturo Gallardo Pólit, MSc

Profesor de la Materia

Gustavo Adolfo Domínguez Cazco, Ph.D.

Tutor del proyecto

Resumen

La contaminación por microplásticos (MP) representa una amenaza creciente para los ecosistemas acuáticos porque afecta a diversas especies acuáticas. Este estudio se enfoca en evaluar la presencia de MP en peces estuarinos. Primero, se busca establecer un protocolo para analizar los MP presentes en el tracto digestivo. Mediante la cuantificación y caracterización de MP se determina patrones de contaminación específicos con base en las diferencias ecológicas de ambas especies para entender el rol en la acumulación de MP en estos organismos. Para esta evaluación se recolectaron bagres y tilapias en la reserva manglares el Salado. Los peces fueron disectados para extraer el tracto digestivo, los cuales fueron procesados por digestión química con peróxido de hidrógeno. Luego, estas muestras se separaron por densidad, se filtraron y los MP obtenidos se observaron bajo microscopía óptica. Los resultados revelaron la presencia de MP en todos los peces analizados con predominancia de fibras transparentes y azules. Este estudio evidencia que los bagres tienden a acumular más MP en comparación a las tilapias. Esto probablemente puede atribuirse a la dieta bentónica de los bagres, lo que aumenta la exposición de estos peces a las partículas plásticas que se encuentran en el fondo del agua.

Palabras clave: microplásticos, bagre, tilapia, contaminación.

Abstract

Microplastic (MP) pollution represents an increasing threat to aquatic ecosystems, affecting multiple species. This study aims to assess the presence of MP in catfish and tilapia from the El Salado Fauna Production Reserve's Mangroves (RPFMS), considering the ecological differences between these two species. The objective is to analyze how these differences influence the accumulation of PM, providing a basis to better understand the environmental impacts in this reserve. We collected nineteen catfish and twenty tilapias from the reserve to assess the presence of MP. The fish were dissected to extract their digestive tract, and their contents were subjected to digestion with hydrogen peroxide (H₂O₂) as an oxidizing agent, followed by a density separation process using zinc chloride (ZnCl₂) and ethanol. The recovered microplastics were filtered and analyzed using optical microscopy. The results showed that MP were identified in all individuals analyzed, with fibers being the predominant form of MP, particularly transparent and blue colors. This study revealed that catfish tend to accumulate more MP than tilapia. This may be likely due to their benthic diet, so causing them be more exposed to plastic particles settled on the water's bottom.

Keywords: microplastics, catfish, tilapia, pollution.

Índice general

Resumen	I
Abstract.....	I
Índice general	I
Abreviaturas.....	III
Simbología.....	IV
Índice de figuras	V
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i>	5
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 Marco teórico.....	5
1.5.1 <i>Descripción de los MP</i>	5
1.5.2 <i>Impacto de los MP en el medio marino</i>	6
1.5.3 <i>Estudios de MP en organismos</i>	8
1.5.4 <i>Técnicas para el estudio de MP</i>	9
Capítulo 2	10
2. Metodología.....	11
2.1. Selección de muestras y etiquetado.	11
2.2. Disección y extracción del tracto digestivo.	12
2.3. Digestión de las muestras y protocolo de análisis.	12
2.4. Optimización del protocolo	12
2.5. Filtración y análisis.....	13

2.6.	Justificación de la metodología	14
2.7.	Consideraciones éticas y legales.....	14
2.8.	Análisis estadístico	15
Capítulo 3		16
3.	Resultados y análisis.....	17
3.1	Abundancia de microplásticos	17
3.2	Relación entre las características morfológicas y nivel de microplásticos	18
3.2.1	Relación de la longitud corporal y los microplásticos.....	18
3.2.2	Relación del peso corporal y los microplásticos	20
3.3	Caracterización de los microplásticos.....	22
Capítulo 4		25
4.1.	Conclusiones y recomendaciones	26
4.1.1.	<i>Conclusiones</i>	26
4.1.2.	<i>Recomendaciones</i>	26
Referencias		28

Abreviaturas

MP Microplásticos

RPFMS Reserva de reserva de producción faunística manglares el Salado

Simbología

EtOH	Etanol
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrógeno
ZnCl ₂	Cloruro de Zinc
°C	Grado Celsius

Índice de figuras

Figura 1 Acumulación de MP en el tracto digestivo de bagres y tilapias.....	17
Figura 2 Relación entre la longitud y MP en el tracto digestivo de bagres	19
Figura 3 Relación entre la longitud y MP en el tracto digestivo de tilapias	20
Figura 4 Relación entre el peso y MP en el tracto digestivo de bagres	21
Figura 5 Relación entre el peso y MP en el tracto digestivo de tilapias	21
Figura 6 Porcentaje de fibras y fragmentos en el tracto digestivo de bagres	23
Figura 7 Caracterización de MP por colores en el tracto digestivo de bagres.....	23
Figura 8 Porcentaje de fibras y fragmentos en el tracto digestivo de tilapias	24
Figura 9 Caracterización de MP el tracto digestivo de bagres	24

Capítulo 1

1.1 Introducción

La contaminación por microplásticos (MP) ha sido reconocida como una preocupación ambiental creciente que afecta a los ecosistemas marinos a nivel global. Estos contaminantes pueden infiltrarse directamente en los cuerpos de agua o llegar de forma indirecta por transporte atmosférico, efluentes y lixiviación del suelo (Campos da Rocha et al., 2021). El factor predominante que contribuye a la contaminación por MP está relacionado con la agregación de residuos plásticos en los ecosistemas acuáticos y su eventual desintegración en partículas diminutas (Su & Lin, 2023). Esta contaminación plantea riesgos importantes, ya que es ingerida inadvertidamente por especies marinas, como zooplancton, aves, mamíferos marinos y peces (Foekema et al., 2013a).

En nuestro país, la presencia de MP ha sido documentada (McMullen et al., 2024). Por lo que, se necesita evaluar el impacto de la contaminación por MP en áreas con influencia marina como lo es Puerto Hondo. Esta parroquia que está situada dentro de los límites de la reserva de producción de fauna manglares El Salado (RPFMS), ejemplifica el problema; al ser un área protegida de importancia ecológica, se ve afectada negativamente por la proliferación de contaminación plástica que degrada el ecosistema (McMullen et al., 2023). Esta investigación se enfoca en evaluar la presencia de MP en dos especies de peces: bagre y tilapia. Estas especies poseen características ecológicas distintivas, ya que habitan diferentes espacios en la columna de agua dentro del ecosistema de manglar, y además tienen hábitos alimenticios variados, lo que las convierte en potenciales indicadores de la contaminación por MP.

Las especies fueron seleccionadas debido a sus diferencias ecológicas. Por un lado, el bagre es un pez bentónico que habita principalmente en el fondo de los cuerpos de agua y se alimenta de detritos y pequeños organismos (Medo et al., 2023). Por otro

lado, la tilapia es un pez nectónico, asociado a zonas más superficiales. y conocido por su dieta omnívora (Jácome-Gómez et al., 2023). La comparación entre estas especies permite analizar cómo las diferencias en sus hábitos alimenticios, comportamientos y hábitats dentro del ecosistema influyen en la acumulación de MP. Este enfoque busca no solo comprender el nivel actual de contaminación en la RPFMS, sino también proporcionar un marco de referencia para futuros estudios.

1.2 Descripción del problema

La presencia de MP en los organismos acuáticos, particularmente peces, constituye un estrés ecológico significativo, estos contaminantes pueden causar daños físicos, alterar la dinámica de los ecosistemas naturales y facilitar la bioacumulación de sustancias químicas tóxicas en las especies acuáticas, afectando tanto la salud de la especie, así como como las cadenas tróficas (Hasan et al., 2024). En este contexto, el bagre y la tilapia representan especies de interés debido a sus roles ecológicos específicos y su interacción con el entorno. La evaluación de la presencia de MP en estas especies permite entender cómo estos contaminantes afectan su fisiología, comportamiento y adaptación al hábitat, contribuyendo así al conocimiento de las implicaciones ecológicas de la contaminación en áreas protegidas.

La investigación se lleva a cabo en la RPFMS, un área protegida de gran valor ecológico en Ecuador, conocida por albergar biodiversidad significativa y cumplir funciones esenciales para la conservación del manglar (Vanegas et al., 2023). Además, la RPFMS alberga actividades clave para las comunidades locales, como la pesca y el ecoturismo, que dependen de la salud del ecosistema. La creciente contaminación por MP en esta zona representa una amenaza para la biodiversidad y para los medios de subsistencia locales, lo que resalta la importancia de este problema. Asimismo, el presente estudio pretende evaluar la prevalencia de MP en estas dos especies mediante

el análisis de su tracto digestivo, lo cual se realiza a través de una metodología estandarizada que incluye pasos como disección, digestión química, separación por densidad, filtración al vacío y análisis microscópico.

1.3 Justificación del Problema

La contaminación por MP en los ecosistemas acuáticos plantea un desafío ambiental crítico, con efectos perjudiciales tanto para los organismos que los habitan como para la sostenibilidad de los recursos naturales (Gokul et al., 2023). Estos contaminantes son fácilmente ingeridos por diversas especies acuáticas, incluidos los peces, lo que puede comprometer sus funciones fisiológicas, alterar su comportamiento y reducir sus tasas de supervivencia.

Cuando estos contaminantes impactan a las especies acuáticas, su influencia varía según las características ecológicas y comportamentales de cada organismo. En este estudio, se examinan dos especies de interés, el bagre y la tilapia, estas especies ofrecen la oportunidad de evaluar y comparar cómo los MP podrían afectar a organismos con roles ecológicos y patrones de alimentación diferentes. Este enfoque permite explorar cómo la ubicación en la columna de agua y las dietas específicas influyen en la acumulación y efectos de los MP en estas especies.

Abordar este problema es crucial para el mantenimiento de la salud y el equilibrio ecológico de los ecosistemas acuáticos, particularmente dentro de las zonas de conservación como la RPFMS. El fundamento de esta investigación se basa en la necesidad apremiante de comprender el grado de exposición y acumulación de MP en las especies con diferente ecología, ya que esto facilita la evaluación de los riesgos ambientales y sus posibles implicaciones en la dinámica de la biodiversidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la presencia de microplásticos en peces de la RPFMS mediante el análisis del tracto digestivo para el estudio de la contaminación según su ecología.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Establecer un protocolo para el análisis de MP del tracto digestivo de peces estuarinos.
2. Caracterizar los MP encontrados por tipo para la identificación de patrones de contaminación relacionados a los peces estudiados.

1.5 Marco teórico

La proliferación de la contaminación por MP se presenta actualmente por todos los océanos, afectando negativamente a los ecosistemas marinos, provocando daño a los organismos acuáticos y planteando amenazas potenciales para la salud humana que pueden verse influenciadas por la ingestión de mariscos, el consumo de agua potable y la inhalación de aire contaminado (Foekema et al., 2013b).

1.5.1 Descripción de los MP

Los MP se definen como partículas de plástico con dimensiones inferiores a 5 mm, caracterizadas por su variabilidad en forma, densidad y composición química. Los MP se clasifica por origen en dos categorías principales. Los primarios, diseñados originalmente en estas dimensiones para productos como cosméticos y abrasivos industriales, y los secundarios, que resultan de la degradación de plásticos más grandes debido a factores ambientales como la exposición al sol, la fricción y el tiempo (Ziani et al., 2023).

Los MP pueden infiltrarse en los ecosistemas marinos a través de emisiones terrestres, acuáticas y atmosféricas, que están significativamente influenciadas por las actividades antropogénicas que ocurren en las vías fluviales urbanas (He et al., 2023). Además, los países en desarrollo representan una fuente predominante de contaminación por MP, lo que resalta la necesidad de implementar prácticas efectivas de gestión de residuos en estas regiones. Es fundamental diseñar e implementar estrategias de mitigación orientadas a proteger tanto los acuíferos como los ecosistemas marinos, asegurando la sostenibilidad (Patidar et al., 2024). La dispersión de partículas plásticas se produce a través de las corrientes oceánicas superficiales, influenciadas simultáneamente por elementos como la dinámica fluvial, la densidad de las poblaciones costeras y las fluctuaciones en la escorrentía superficial (Guerrini, 2023). Asimismo, los mecanismos de transporte de los MP presentan una variabilidad influenciada por factores como las condiciones hidrodinámicas, la densidad de las partículas, que está vinculada al tipo de los MP, así como a las características del agua influenciadas por el contexto geográfico y las interacciones con los materiales sedimentarios (Abolfathi et al., 2020).

1.5.2 Impacto de los MP en el medio marino

Los MP ejercen un impacto multifacético en la biodiversidad oceánica afectando a los ecosistemas a través de varios mecanismos. Entre estos se incluyen la obstrucción intestinal, las alteraciones del metabolismo lipídico esencial para las funciones celulares y, en algunos casos, el transporte de patógenos que pueden interferir con la reproducción de distintas especies (Debnath et al., 2024). Al entrar en un ecosistema acuático facilitan la bioacumulación de contaminantes presentes en el entorno; además, estas partículas tienen la capacidad de causar daño físico como consecuencia de la

ingestión, así como de causar daños químicos al actuar como vectores de sustancias tóxicas (McHale & Sheehan, 2024)

La acumulación de MP en los organismos acuáticos está vinculada con las características ecológicas de cada especie. En el caso de la ingestión directa, las partículas pueden incorporarse al organismo debido a sus hábitos alimenticios específicos y a su ecología. Por ejemplo, especies como el bagre, que habita en el fondo de los cuerpos de agua y que se alimenta de materia orgánica y pequeños invertebrados, están particularmente expuestas a los MP presentes en sedimentos y aguas turbias. Por otro lado, la tilapia, que ocupa áreas superficiales de la columna de agua y consume una dieta variada que incluye algas y detritos, puede entrar en contacto con MP suspendidos o adheridos a su alimento (Hasegawa et al., 2021). Una vez ingeridas, estas partículas pueden atravesar la barrera intestinal mediante mecanismos como la transcitosis y acumularse en órganos como el hígado, interfiriendo en procesos fisiológicos clave. Este impacto varía según la ecología de cada especie, ya que los comportamientos alimentarios y adaptaciones a diferentes hábitats influyen en la magnitud de la exposición a los MP y en la capacidad para manejarlos (Tang, 2017)

En cuanto a las especies estudiadas, tanto el bagre como la tilapia tienen roles ecológicos fundamentales. El bagre, de la familia Ariidae, habita en fondos fangosos y arenosos, donde emplea sus bigotes para detectar alimentos en aguas turbias. La dieta es omnívora y detritívora, compuesta de materia orgánica en descomposición, pequeños invertebrados y crustáceos, resalta su función en el mantenimiento del equilibrio de los sedimentos y el reciclaje de nutrientes (Anjar et al., 2023; KPELLEY et al., 2022) .

En contraste, la tilapia, conocida por su gran adaptabilidad, ocupa una variedad de ambientes acuáticos y se alimenta de algas, pequeños invertebrados y detritos. Estas características ecológicas le permiten desempeñar un papel importante en el

sostenimiento de la productividad de los ecosistemas y la estabilidad de las comunidades acuáticas (Anjar et al., 2023 ; Silva et al., 2016)

1.5.3 Estudios de MP en organismos

Numerosos estudios han confirmado la presencia de MP en los tractos digestivos de diversas especies de peces, lo que resalta la magnitud de la contaminación en los hábitats acuáticos. En especies de agua dulce como *Johnius borneensis* y *Oreochromis* sp., en Malasia, se identificó una prevalencia significativa de MP, especialmente en forma de fibras y fragmentos. Esto sugiere que los peces que habitan en aguas más turbias y que tienen hábitos alimenticios basados en materia orgánica, como es el caso de especies herbívoras y detritívoras, son más propensos a ingerir estos contaminantes (Webb et al., 2011).

De manera similar, en Australia, la especie *Chrysophrys auratus*, que se adapta a diversos ambientes acuáticos, mostró la ingestión de MP, especialmente entre los ejemplares más grandes. Este hallazgo indica que las especies que tienen una dieta más variada, incluida la ingesta de peces más pequeños o invertebrados, también están expuestas a la contaminación por MP (Day et al., 2024). En Ghana, en el estuario del río Pra, especies de diferentes preferencias alimentarias, como las herbívoras y las carnívoras, mostró la presencia de MP en sus branquias y tractos gastrointestinales. La prevalencia de microfibras en estas especies indica que la acumulación de MP está influenciada por las características ecológicas específicas de cada especie, como el tipo de hábitat que ocupan y dieta adaptada a su entorno (Amponsah et al., 2024).

Esta tendencia de contaminación por MP en diferentes especies de peces resalta cómo la exposición a estos contaminantes está vinculada a las adaptaciones ecológicas y los hábitos alimenticios de cada especie, lo que amplifica los riesgos para la biodiversidad acuática y la salud de los ecosistemas. La capacidad de los MP para

acumularse en una variedad de especies en función de sus características ecológicas subraya la importancia de abordar la contaminación por MP desde una perspectiva más integrada y centrada en los entornos naturales de los organismos acuáticos.

1.5.4 Técnicas para el estudio de MP

Existe una variedad de metodologías establecidas para la recolección y el análisis de MP en el tracto digestivo de peces, una técnica predominante que se emplea es la digestión química, que utiliza soluciones alcalinas o ácidas para descomponer la materia orgánica. Combinado con la filtración y el posterior examen microscópico. Este enfoque permite identificar con precisión los MP (Hamdhani et al., 2024). Además, la separación por densidad mediante soluciones hipersalinas, como el $ZnCl_2$, mejora la precisión del análisis al permitir que los MP asciendan y los materiales biológicos desciendan en la columna de agua (Mancuso et al., 2023).

En última instancia, el análisis microscópico, en particular mediante la utilización de microscopios ópticos y electrónicos, facilita la identificación visual y la categorización de los MP en función del tipo y la morfología, lo que proporciona información esencial sobre la contaminación.

Capítulo 2

2. Metodología

La metodología empleada para la evaluación de MP en el tracto digestivo de bagres y tilapias de la RPFMS, incluyó un proceso detallado y estandarizado de recolección y análisis. Este enfoque permitió identificar y cuantificar de manera precisa los MP presentes en las especies estudiadas.

2.1. Selección de muestras y etiquetado.

La selección y preparación de las muestras se lleva a cabo con cuidado para evitar la contaminación por las partículas que pueden encontrarse en el ambiente. Los ejemplares de bagre (n=19) y tilapia (n=20) fueron capturados con la ayuda de los pescadores de Puerto Hondo quienes emplearon artes de pesca como atarraya y uso de trasmallos. Posteriormente, cada espécimen fue identificado individualmente mediante etiquetas que incluyeron información relevante como el número de muestra, la especie, y la fecha de captura, y luego se almacenaron en condiciones adecuadas para su posterior disección.

Las muestras se descongelaron gradualmente antes de la disección y se dejaron alcanzar la temperatura ambiente para preservar las estructuras internas. Durante la preparación, se registraron datos claves de cada individuo como el peso total, longitud total, longitud estándar y sexo que proporcionaron una base para el análisis posterior.

Además, se incluyó un control atmosférico por especie para validar los resultados obtenidos durante el estudio. Este control, conocido como blanco de procedimiento, consistió en utilizar filtros de microfibras de vidrio de 1.2 μm para detectar posibles contaminaciones externas provenientes de la atmósfera. Los blancos atmosféricos se sometieron a todos los pasos del análisis experimental, desde la preparación de reactivos hasta la disección y examen microscópico. Esta estrategia

permitió identificar si los MP presentes en las muestras eran resultado de la manipulación o de factores ambientales, lo que garantizó la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos a lo largo del proceso experimental.

2.2. Disección y extracción del tracto digestivo.

Se diseccionaron un total de 39 muestras, correspondientes a 19 bagres y 20 tilapias, para extraer los tractos digestivos de cada espécimen. Estos tractos fueron pesados individualmente antes de ser almacenados. Posteriormente, se conservaron en bolsas de aluminio debidamente etiquetadas con información específica de cada muestra y desinfectadas con agua ultrapura para evitar cualquier contaminación externa. Tras su extracción, los tractos digestivos fueron congelados y almacenados hasta que se llevó a cabo el proceso de digestión y análisis detallado.

2.3. Digestión de las muestras y protocolo de análisis.

Para extraer los MP del tracto digestivo de los peces, se diseñó un protocolo de digestión que pasó por diversas etapas experimentales. Debido al alto contenido lipídico presente en los peces, se realizaron ensayos preliminares utilizando diferentes reactivos y concentraciones, con el fin de evitar la saponificación de las muestras durante el proceso de digestión. Tras evaluar varias combinaciones, se adoptó el protocolo más efectivo para la extracción como se explica a continuación.

2.4. Optimización del protocolo

Para garantizar la extracción eficiente de MP presentes en los tractos digestivos de los especímenes, se realizaron varios ensayos de digestión para determinar el protocolo más adecuado. En el protocolo final optimizado, se empleó peróxido de hidrógeno (H_2O_2) en una proporción de 1:3, combinado con cloruro de zinc ($ZnCl_2$) y

etanol, logrando una extracción eficiente de los MP. Este proceso incluyó la aplicación de H₂O₂ durante 72 horas a una temperatura constante de 45 °C, seguido de la incorporación de ZnCl₂ (1:1) y etanol (1:4). La mezcla se agitó durante 5 minutos y se dejó reposar al menos 2 horas, facilitando la separación de componentes.

Posteriormente, se recolectó cuidadosamente el sobrenadante y se filtró mediante un sistema de filtración al vacío, utilizando filtros de nylon con un tamaño de poro de 70 µm. Este protocolo permitió maximizar la recuperación de MP, minimizar la contaminación externa y garantizar la reproducibilidad del análisis.

2.5. Filtración y análisis

Cada filtro recolectado se almacenó cuidadosamente en cajas Petri etiquetadas para su correcta identificación y seguimiento. Posteriormente, los filtros fueron examinados bajo un microscopio óptico utilizando objetivos de 4x y 10x, dependiendo del tamaño y la complejidad de las partículas observadas. Durante el análisis, se documentaron sistemáticamente las características de cada MP, incluyendo su longitud, ancho, clasificación, color y código fotográfico. Los MP fueron clasificados de acuerdo con su tipo y tamaño, y se registró la cantidad observada de cada uno, garantizando un análisis detallado y preciso de las muestras.

Para garantizar que la identificación sea más precisa, se emplearon métodos de verificación complementarias. Uno de esos métodos consistió en aplicar presión a las partículas observadas para determinar si presentaban deformación o fractura. Este procedimiento resultó ser fundamental para distinguir los MP de materiales orgánicos presentes en los filtros. Además, se utilizó una aguja caliente para hacer contacto con las partículas y evaluar su respuesta térmica. Los MP suelen presentar fusión o deformación al exponerse a temperaturas elevadas, mientras que las partículas orgánicas no (Isakov, 1994).

2.6. Justificación de la metodología

La metodología seleccionada fue cuidadosamente diseñada para cumplir con los objetivos del estudio. El proceso secuencial de digestión química, seguido de la filtración y el análisis microscópico, constituye una de las técnicas más utilizadas y efectivas para la extracción y análisis de MP en el tracto digestivo de peces (Isakov, 1994). La incorporación de H_2O_2 y el $ZnCl_2$ en el protocolo de digestión demostró ser eficaz al eliminar las matrices biológicas y prevenir la saponificación, segregando los MP según densidad. Además, la integración de metodologías de verificación facilitó la identificación precisa de los MP, asegurando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.7. Consideraciones éticas y legales

El estudio se llevó a cabo siguiendo las normativas éticas y legales correspondientes para la recolección de muestras biológicas de fauna acuática (Nuñez Vaca, 2024). Para realizar el análisis de los peces en la RPFMS, se garantizó que las técnicas empleadas no comprometerían la salud o la integridad de las poblaciones de fauna marina en la zona de estudio. Además, se tomó especial cuidado en el manejo de los materiales biológicos, así como de los reactivos utilizados durante el proceso, con el objetivo de evitar cualquier tipo de contaminación cruzada que pudiera alterar los resultados obtenidos.

Este enfoque metodológico permitió realizar una evaluación detallada de la presencia de MP en los peces, aportando información valiosa sobre los efectos de la contaminación plástica en la biodiversidad en el área de estudio.

2.8. Análisis estadístico

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa R Studio (Versión 4.3.1). Se evaluó la relación entre la cantidad de MP en el tracto digestivo de dos especies de peces: bagres y tilapias, con el objetivo de analizar diferencias en la acumulación de MP en función de las características ecológicas de cada especie. Para determinar diferencias significativas en la cantidad de MP entre ambas especies, se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, dado que los datos no presentan una distribución normal. Además, se utilizó el coeficiente de precisión de Spearman para explorar la relación entre la cantidad de MP y variables como la longitud y el peso de los peces, considerando cada especie por separado.

Capítulo 3

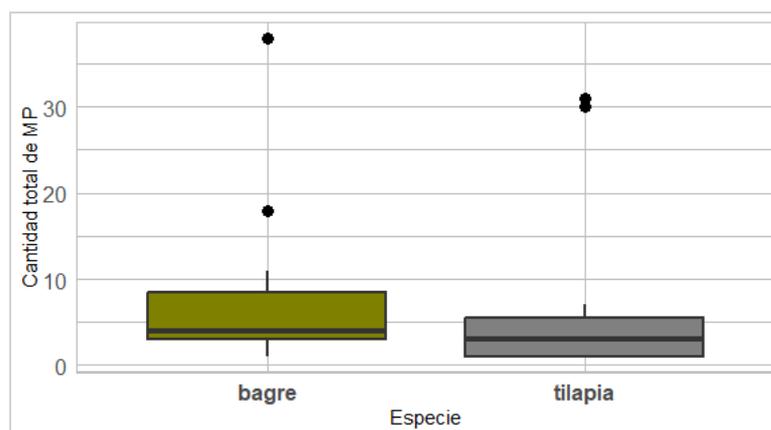
3. Resultados y análisis

3.1 Abundancia de microplásticos

Los análisis realizados en los intestinos de los peces estudiados mostraron la presencia de MP en todos los individuos analizados, tanto en bagres ($n = 19$) como en tilapias ($n = 20$). En promedio, los bagres acumularon una mayor cantidad de MP (media = 5,0 y desviación estándar $\pm 21,21$) en comparación con las tilapias (media = 4,15 y desviación estándar $\pm 18,09$). A pesar de estas diferencias aparentes, la prueba de Mann-Whitney, los datos mostraron una distribución no normal, indicó que las diferencias en la cantidad de MP acumuladas entre las dos especies no fueron estadísticamente significativas ($W = 239$; $p = 0,1678$).

Figura 1

Acumulación de MP en el tracto digestivo de bagres y tilapias



El análisis del gráfico de cajas y bigotes (Figura 1) revela una distribución similar en los niveles de MP entre ambas especies, bagres y tilapias. Se observa una ligera tendencia en los bagres a presentar valores máximos más elevados en comparación con las tilapias. Esta diferencia podría estar relacionada con factores ecológicos, como su dieta o su posición en la columna de agua, lo que influye en su exposición a los MP. La dispersión de los datos en ambas especies también destaca la variabilidad individual en la acumulación de MP.

3.2 Relación entre las características morfológicas y nivel de microplásticos

Para analizar la relación entre la cantidad de MP acumulados en el tracto digestivo y las características morfológicas de las dos especies estudiadas (bagres y tilapias), se empleó el coeficiente de compensación de Spearman. Este enfoque no paramétrico permitió evaluar asociaciones entre las variables independientes, como la longitud total y el peso de los peces, y la cantidad de MP, sin asumir una distribución normal de los datos.

El análisis reveló tendencias que destacan posibles diferencias en la acumulación de MP según las características morfológicas de cada especie. Estos resultados ofrecen una perspectiva inicial para explorar cómo las características ecológicas y físicas de cada grupo pueden influir en la acumulación de contaminantes plásticos.

3.2.1 *Relación de la longitud corporal y los microplásticos*

En los bagres, la correlación entre longitud total de los individuos y niveles de MP fue moderadamente negativa ($\rho = -0,449$; $p = 0,0536$). Esto sugiere que, a medida que aumenta la longitud del bagre, la cantidad de MP ingeridos tiende a disminuir. Aunque esta relación no alcanzó significancia estadística ($p > 0,05$), el patrón podría explicarse por cambios en la dieta y el comportamiento alimentario a medida que los individuos crecen. Los bagres más grandes, al ocupar diferentes microhábitats o modificar sus hábitos alimenticios hacia presas más grandes y menos susceptibles a la contaminación plástica, puede ser posible que tengan menor exposición a partículas de MP. Esta observación es consistente con estudios previos que muestran cómo las diferencias ontogenéticas en la dieta pueden influir en la ingesta de contaminantes en peces bentónicos (Sánchez-Hernández et al., 2019).

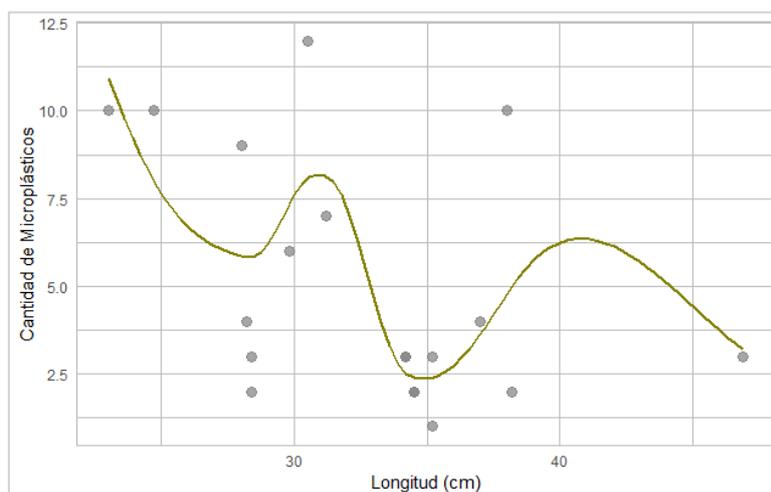
En contraste, las tilapias cuentan con una relación entre la longitud y los niveles de MP baja y positiva ($\rho = 0,289$; $p = 0,2169$), lo que indica que los individuos más

grandes tendrían una ligera tendencia a acumular, pero esta valoración fue no significativa. Las tilapias, conocidas por su dieta generalista que incluye detritos, fitoplancton y partículas en suspensión, podrían estar más expuestas a MP flotantes o suspendidos en la columna de agua, especialmente en ambientes con altos niveles de contaminación (Siddique, Hossain, et al., 2024).

En la figura 2 muestra una curva que refleja una disminución de los niveles de MP con el aumento de la longitud en los bagres, mientras que la figura 3 muestra que en las tilapias la curva es más plana y con una ligera tendencia ascendente, este comportamiento sugiere que los niveles de MP en las tilapias no disminuyen de forma tan marcada a medida que aumenta la longitud.

Figura 2

Relación entre la longitud y MP en el tracto digestivo de bagres

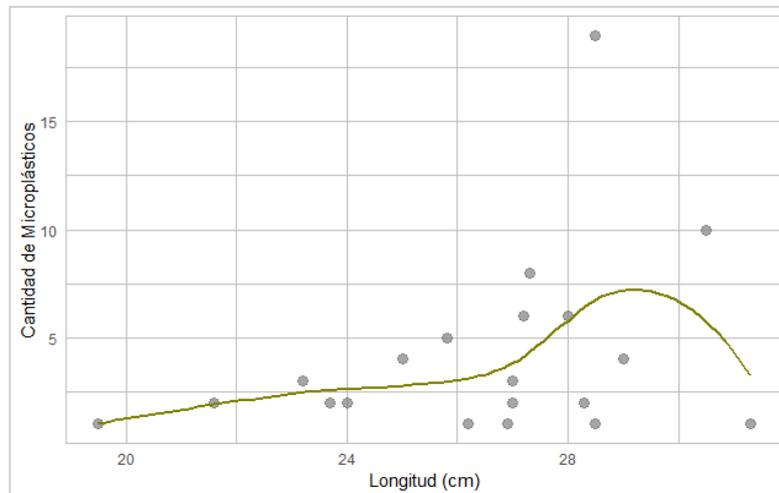


Estas diferencias en las curvas indican posibles diferencias ecológicas importantes entre las dos especies, que podrían estar relacionadas con varios aspectos de su ecología, como la posición que ocupan en la columna de agua, el tipo de sustrato donde habitan y las diferencias en sus dietas (por ejemplo, si son especies bentónicas o pelágicas, o si tienen dietas más herbívoras o carnívoras). Estas diferencias podrían

reflejar adaptaciones específicas de cada especie a su hábitat (O'Mara et al., 2024; H. Mol & Van Der LU, 1995).

Figura 3

Relación entre la longitud y MP en el tracto digestivo de tilapias



3.2.2 Relación del peso corporal y los microplásticos

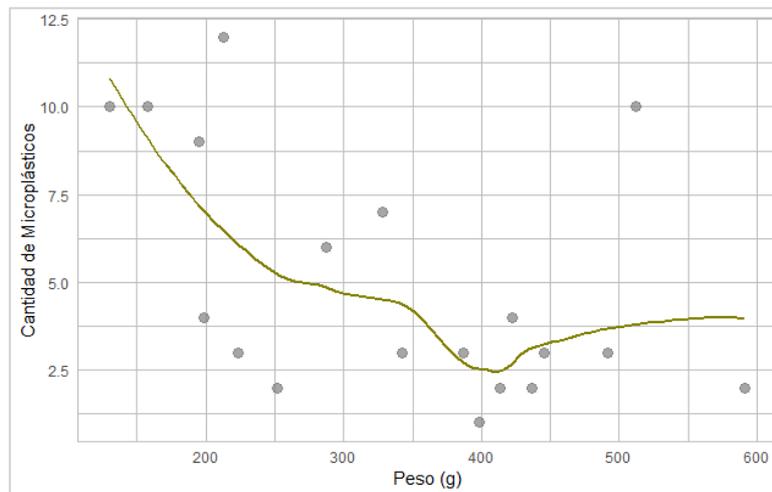
Los análisis de correlación de rangos de Spearman revelaron diferencias significativas en la relación entre el peso de los peces y los niveles de MP acumulados en el tracto digestivo, según la especie estudiada.

En caso de los bagres, se encontró una correlación moderadamente negativa y estadísticamente significativa entre el peso y los niveles de MP ($\rho = -0,508$; $p = 0,0264$). Este resultado indica que los individuos con menor peso tienden a acumular mayores cantidades de MP. Esta relación sugiere un patrón consistente que posiblemente esté relacionado con la dieta de los bagres más pequeños, que podría incluir partículas más pequeñas y en mayor cantidad presentes en el sedimento o en la columna de agua. Este patrón podría explicarse por las diferencias en el tamaño de las partículas ingeridas y además por la dieta de los bagres, como pequeños invertebrados del sustrato, lo que aumentaría la exposición de los bagres a mayores niveles de contaminación por MP presentes en el fondo acuático. Por otro lado, estos resultados

podrían estar influenciados también por diferencias en la tasa metabólica, la movilidad o la eficiencia en la selección de alimento entre individuos de distinto peso (Siddique, Shazada, et al., 2024).

Figura 4

Relación entre el peso y MP en el tracto digestivo de bagres



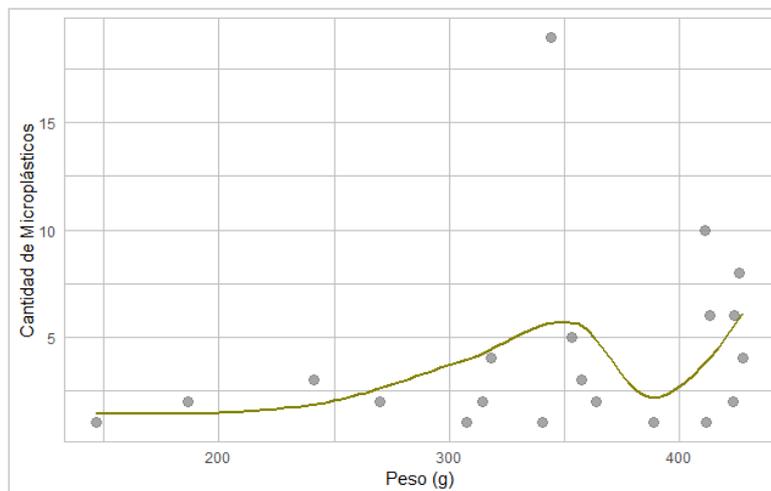
Para el caso de las tilapias, se observó una correlación positiva y moderada entre el peso y los niveles de MP ($\rho = 0,418$; $p = 0,0666$). Esto sugiere que los individuos de mayor peso tienden a acumular más MP en el tracto digestivo. Esta relación no está tan marcada como en el bagre debido a que las tilapias son peces más generalistas y ocupan niveles intermedios de la columna de agua donde se alimentan de fitoplancton, detritos, y pequeñas partículas en suspensión. Por lo cual, aumenta la exposición a MP flotantes o suspendidos, en lugar de los MP depositados en el fondo (Siddique, Shazada, et al., 2024).

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en ambas especies de peces, los patrones de esta acumulación sugieren que los individuos de mayor peso podrían ingerir más MP debido a su mayor capacidad de ingestión. Por lo que habría una exposición muy similar al compartir el mismo hábitat y posibles fuentes

contaminación en su entorno lo que podrían explicar la falta de diferencias estadísticas en la acumulación de MP en estas especies.

Figura 5

Relación entre el peso y MP en el tracto digestivo de tilapias



3.3 Caracterización de los microplásticos

Se pudo identificar a dos principales tipos de MP: fibras y fragmentos. Estos MP también se clasificaron por color, lo que proporciona una visión detallada de la distribución de MP en ambas especies. Primeramente, en el análisis de los bagres se observó una marcada predominancia de fibras sobre fragmentos. Las fibras representaron un 91,3% del total de MP encontrados, mientras que los fragmentos constituyeron el 8,7% (Figura 6). En cuanto a los colores, se identificó una predominancia de fibras de color transparente, seguidas por las de color azul. Este patrón de predominancia también se reflejó en los fragmentos, ya que los colores transparente y azul fueron igualmente los más frecuentes (Figura 7).

La prevalencia de los colores transparente y azul podría estar relacionada con su origen. Los MP transparentes podrían derivar de bolsas y/o envolturas degradadas, mientras que los azules serían de redes de pesca u otra actividad antropogénica. La dieta del bagre podría explicar la alta incidencia de estos MP, ya que es común que se

acumulen en áreas bentónicas (Shahriar et al., 2024). Además, la proporción mayoritaria de fibras podría deberse a que estas tienen una mayor probabilidad de persistir en el ambiente acuático y adherirse a la biota debido a su forma y estructura, lo que facilita su incorporación en la dieta de los peces (Cruz, 2023).

Figura 6

Porcentaje de fibras y fragmentos en el tracto digestivo de bagres

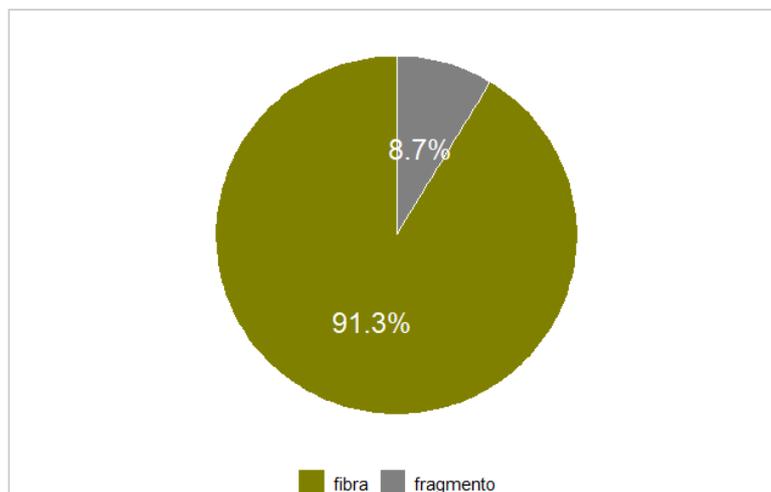
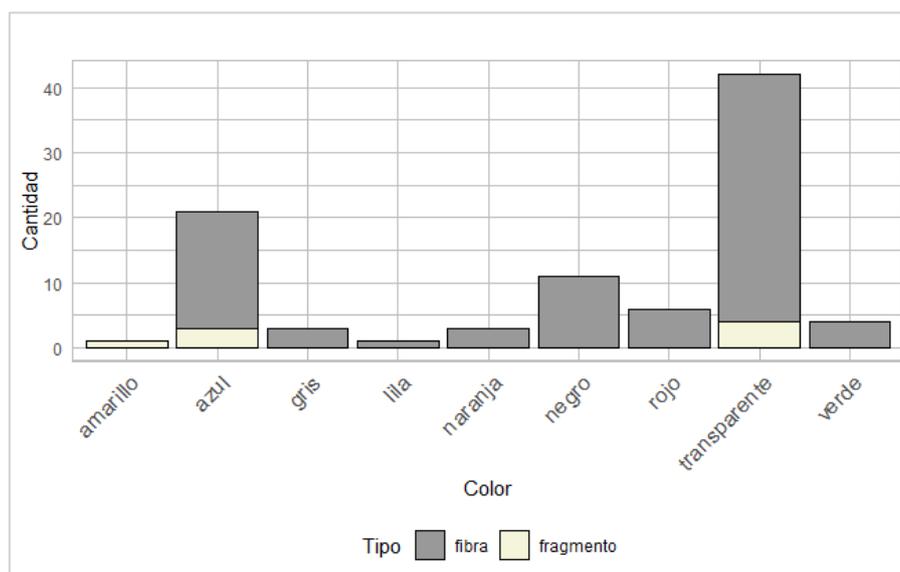


Figura 7

Caracterización de MP por colores en el tracto digestivo de bagres



En tilapias, los resultados mostraron un patrón similar, con una marcada predominancia de fibras sobre fragmentos. Las fibras constituyeron el 94,1% del total de MP identificados, mientras que los fragmentos representaron únicamente el 5,9%

(Figura 8). Entre los colores predominantes tanto en las fibras como en los fragmentos, destacaron los tonos transparentes y azules (Figura 9).

Figura 8

Porcentaje de fibras y fragmentos en el tracto digestivo de tilapias

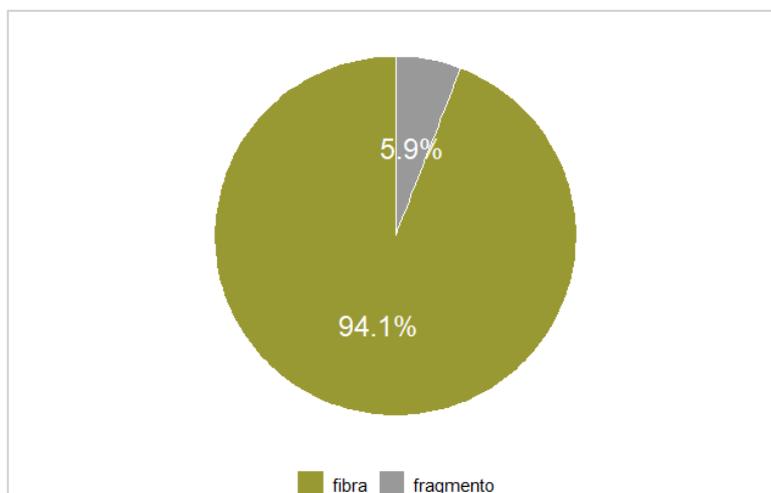
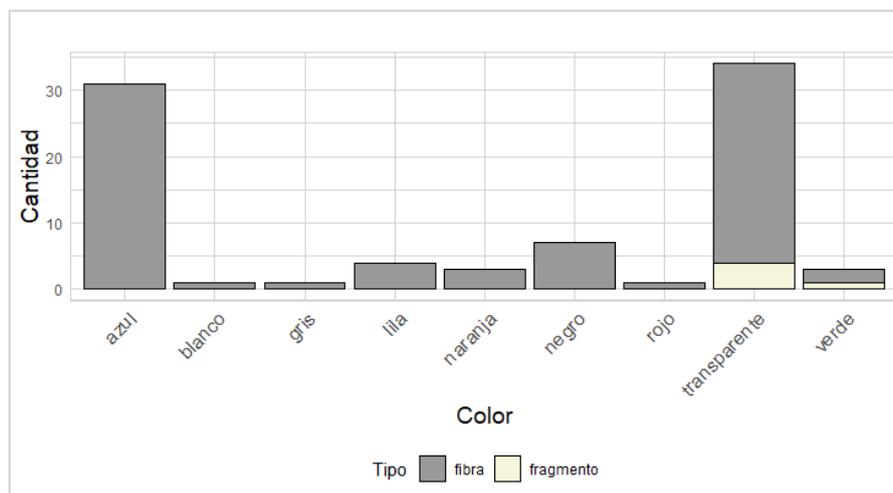


Figura 9

Caracterización de MP el tracto digestivo de bagres



La alimentación de las tilapias podría favorecer la ingesta de fibras más ligeras que tienden a flotar o mantenerse suspendidas (Sakdullah & Tsuchiya, 2009). En cuanto, los colores de los MP encontrados en los peces, podrían estar influenciados por las actividades humanas cercanas a este hábitat.

Capítulo 4

4.1. Conclusiones y recomendaciones

4.1.1. Conclusiones

- El análisis del tracto digestivo de los peces estudiados, bagres y tilapias, reveló la presencia de MP en todos los individuos, lo que confirma la contaminación de estos ecosistemas acuáticos. Esta contaminación no presenta diferencias significativas entre las especies, aunque se observa una ligera tendencia en los bagres a acumular mayores cantidades de MP, posiblemente debido a su ecología bentónica.
- Se desarrolló y validó un protocolo efectivo para el análisis de MP en el tracto digestivo de los peces, el cual incluyó la disección de dos especies de peces para obtener el tracto digestivo, seguido de digestión química, lo que permitió la extracción eficiente de MP y la identificación de MP mediante métodos de microscopia. Este protocolo asegura la confiabilidad y replicabilidad en estudios similares, permitiendo la comparación de resultados entre diferentes ecosistemas y especies.
- Se identificaron mayormente dos tipos principales de MP en el tracto digestivo de los peces: fibras y fragmentos. La predominancia de fibras (91,3% en bagres y 94,1% en tilapias). Además, se observó que los colores más frecuentes de los MP fueron el transparente y azul, lo cual está relacionado con fuentes comunes de contaminación, como bolsas plásticas y redes de pesca.

4.1.2. Recomendaciones

- Se recomienda que los peces sean diseccionados lo antes posible después de su captura, idealmente dentro de los primeros días, para evitar la contaminación por MP presentes en el ambiente en el que se almacenan los individuos.

- Es esencial utilizar mandiles de algodón durante todo el proceso de manipulación y disección de los peces, para evitar la introducción de fibras sintéticas. Esto contribuirá a mejorar la calidad y confiabilidad de los análisis de MP.
- En el caso específico de los bagres, el uso de etanol para separar eficientemente la grasa de los tejidos es altamente recomendado, ya que se ha mostrado ser un reactivo efectivo en la eliminación de las matrices lipídicas sin interferir en la extracción de los MP.
- En la preparación de la solución hipersalina de $ZnCl_2$ es fundamental realizarla bajo supervisión de otra persona porque las temperaturas pueden llegar a ser muy altas durante la preparación de esta solución. La seguridad en este paso es esencial para evitar accidentes y garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera adecuada.

Referencias

- Abolfathi, S., Cook, S., Yeganeh-Bakhtiary, A., Borzooei, S., & Pearson, J. (2020). MICROPLASTICS TRANSPORT AND MIXING MECHANISMS IN THE NEARSHORE REGION. *Coastal Engineering Proceedings*, 36v, 63.
<https://doi.org/10.9753/icce.v36v.papers.63>
- Amponsah, A. K., Afrifa, E. A., Essandoh, P. K., & Enyoh, C. E. (2024). Evidence of microplastics accumulation in the gills and gastrointestinal tract of fishes from an estuarine system in Ghana. *Heliyon*, 10(3), e25608.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25608>
- Anjar, R., Yustiati, A., & Iskandar. (2023). Survival, Growth, Meristic and Morphometric Characteristics of Hybrids Between Black and White Nile Tilapia Strains. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 24(5), 31–39.
<https://doi.org/10.9734/ajfar/2023/v24i5645>
- Campos da Rocha, F. O., Martinez, S. T., Campos, V. P., da Rocha, G. O., & de Andrade, J. B. (2021). Microplastic pollution in Southern Atlantic marine waters: Review of current trends, sources, and perspectives. *Science of The Total Environment*, 782, 146541. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146541>
- Cruz, A. H. (2023). Impact of Plastic Waste Ingestion by Fish. *Circular Economy and Sustainability*, 3(1), 607–616. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00242-1>
- Day, J., Swadling, D., Huggett, M. J., & Gaston, T. F. (2024). First Evidence of Microplastic “Nurdle” Consumption by Fish in South-Eastern Australia.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.4827290>
- Debnath, R., Prasad, G. S., Amin, A., Malik, M. M., Ahmad, I., Abubakr, A., Borah, S., Rather, M. A., Impellitteri, F., Tabassum, I., Piccione, G., & Faggio, C. (2024). Understanding and addressing microplastic pollution: Impacts, mitigation, and

- future perspectives. *Journal of Contaminant Hydrology*, 266, 104399.
<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104399>
- Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013a). Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8818–8824. <https://doi.org/10.1021/es400931b>
- Foekema, E. M., De Gruijter, C., Mergia, M. T., van Franeker, J. A., Murk, A. J., & Koelmans, A. A. (2013b). Plastic in North Sea Fish. *Environmental Science & Technology*, 47(15), 8818–8824. <https://doi.org/10.1021/es400931b>
- Gokul, T., Kumar, K. R., Prema, P., Arun, A., Balaji, P., & Faggio, C. (2023). Particulate pollution and its toxicity to fish: An overview. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 270, 109646.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2023.109646>
- Guerrini, F. (2023). *Data-Informed Models for the Coupled Dispersal of Microplastics and Related Pollutants Applied to the Mediterranean Sea* (pp. 3–14).
https://doi.org/10.1007/978-3-031-15374-7_1
- Hasan, A. K. M. M., Hamed, M., Hasan, J., Martyniuk, C. J., Niyogi, S., & Chivers, D. P. (2024). A review of the neurobehavioural, physiological, and reproductive toxicity of microplastics in fishes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 282, 116712. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116712>
- Hasegawa, T., Mizukawa, K., Yeo, B. G., Sekioka, T., Takada, H., & Nakaoka, M. (2021). *Trophic transfer of microplastics enhances plastic additive accumulation in fish*. <https://doi.org/10.1101/2021.03.09.434685>
- He, B., Liu, A., Ayoko, G., Egodawatta, P., Wijesiri, B., & Goonetilleke, A. (2023). *Factors Influencing MPs Presence in Urban Waterways* (pp. 13–24).
https://doi.org/10.1007/978-981-99-0628-4_2

- Isakov, G. N. (1994). Macrokinetics of thermal and thermooxidative destruction of organic-reinforced plastic on heating in a gas flow. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 30(3), 311–315. <https://doi.org/10.1007/BF00789422>
- Jácome-Gómez, J., Parra, R., Andrade de Pasquier, G., Jácome-Gómez, L., De la Cruz-Chicaiza, M., Zambrano-Mendoza, M., Intriago-Vera, J., & Macay-Anchundia, M. (2023). Diversidad, abundancia y dominancia de las especies ícticas en el río Churute, Ecuador. *Revista Científica de La Facultad de Ciencias Veterinarias*, XXXIII(1), 1–9. <https://doi.org/10.52973/rcfev-e33228>
- KPELLEY, E. D., BLAY, J., & YANKSON, K. (2022). The biological characteristics of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Weija Reservoir, Ghana. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 12(1). <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w120105>
- McHale, M. E., & Sheehan, K. L. (2024). Bioaccumulation, transfer, and impacts of microplastics in aquatic food chains. *Journal of Environmental Exposure Assessment*, 3(3). <https://doi.org/10.20517/jeea.2023.49>
- McMullen, K., Calle, P., Alvarado-Cadena, O., Kowal, M. D., Espinoza, E., Domínguez, G. A., Tirapé, A., Vargas, F. H., Grant, E., Hunt, B. P. V., Pakhomov, E. A., & Alava, J. J. (2024). Ecotoxicological Assessment of Microplastics and Cellulose Particles in the Galápagos Islands and Galápagos Penguin Food Web. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 43(6), 1442–1457. <https://doi.org/10.1002/etc.5874>
- McMullen, K., Tirapé, A., Calle, P., Vandenberg, J., Alvarado-Cadena, O., Ota, Y., Domínguez, G. A., & Alava, J. J. (2023). Marine litter and social inequities entangle Ecuadorian mangrove communities: Perceptions of plastic pollution and

- well-being concerns in Puerto Hondo and Isla Santay, Ecuador. *Marine Policy*, 157, 105857. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105857>
- Medo, A., Ohte, N., Kajitani, H., Nose, T., Manabe, Y., Sugawara, T., Onishi, Y., Goto, A. S., Koba, K., Arai, N., Mitsunaga, Y., Kume, M., Nishizawa, H., Kojima, D., Yokoyama, A., Yamanaka, T., Viputhanumas, T., & Mitamura, H. (2023). Striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) exploit food sources across anaerobic decomposition- and primary photosynthetic production-based food chains. *Scientific Reports*, 13(1), 13992. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41209-y>
- Núñez Vaca, E. C. (2024). Caracterización de las directrices éticas, legales y sociales para la conformación de un biobanco de investigación en el Ecuador, desde la perspectiva de los principios de confidencialidad, dignidad y autonomía. Una revisión sistemática. *Revista Iberoamericana de Bioética*, 25, 01–25. <https://doi.org/10.14422/rib.i25.y2024.011>
- O'Mara, K., Venarsky, M., Marshall, J., & Stewart-Koster, B. (2024). Diet-habitat ecology of invasive tilapia and native fish in a tropical river catchment following a tilapia invasion. *Biological Invasions*, 26(2), 489–504. <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03185-2>
- Patidar, K., Ambade, B., Younis, A. M., & Alluhayb, A. H. (2024). Characteristics, fate, and sources of microplastics contaminant in surface water and sediments of river water. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 134, 103596. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103596>
- Sakdullah, A., & Tsuchiya, M. (2009). The origin of particulate organic matter and the diet of tilapia from an estuarine ecosystem subjected to domestic wastewater discharge: fatty acid analysis approach. *Aquatic Ecology*, 43(2), 577–589. <https://doi.org/10.1007/s10452-008-9195-6>

- Sánchez-Hernández, J., Nunn, A. D., Adams, C. E., & Amundsen, P. (2019). Causes and consequences of ontogenetic dietary shifts: a global synthesis using fish models. *Biological Reviews*, *94*(2), 539–554. <https://doi.org/10.1111/brv.12468>
- Shahriar, S. I. M., Islam, N., Emon, F. J., Ashaf-Ud-Doulah, M., Khan, S., & Shahjahan, M. (2024). Size dependent ingestion and effects of microplastics on survivability, hematology and intestinal histopathology of juvenile striped catfish (Pangasianodon hypophthalmus). *Chemosphere*, *356*, 141827. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.141827>
- Siddique, M. A. M., Hossain, I., Sunji, Md. M. R., Tahsin, T., Walker, T. R., & Rahman, M. S. (2024). Characterization, source identification and hazard index assessment of ingested microplastics in farmed tilapia *Oreochromis niloticus*. *Ecological Indicators*, *158*, 111334. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111334>
- Siddique, M. A. M., Shazada, N. E., Ritu, J. A., Turjo, K. E. Z., & Das, K. (2024). Does the mouth size influence microplastic ingestion in fishes? *Marine Pollution Bulletin*, *198*, 115861. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115861>
- Silva, W. C. da, Marceniuk, A. P., Sales, J. B. L., & Araripe, J. (2016). Early Pleistocene lineages of *Bagre bagre* (Linnaeus, 1766) (Siluriformes: Ariidae), from the Atlantic coast of South America, with insights into the demography and biogeography of the species. *Neotropical Ichthyology*, *14*(2). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20150184>
- Su, Y., & Lin, H.-C. (2023). Analyses of microplastics in the digestive tract of bottom-trawled fishes in Southwest Taiwan. *Regional Studies in Marine Science*, *57*, 102756. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102756>

- Tang, B. L. (2017). Commentary: Tissue accumulation of microplastics in mice and biomarker responses suggest widespread health risks of exposure. *Frontiers in Environmental Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2017.00063>
- Vanegas, W., Carvajal, L., D. Peñafiel, D., & L. Espinel, R. (2023). Nutrition is Perceived as an Ecosystem Service of the Mangrove by Rural People in Ecuador. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.* <https://doi.org/10.18502/epoch.v3i1.14482>
- Webb, R. M. T., Sandstrom, M. W., Krutz, L. J., & Shaner, D. L. (2011). Simulation of branched serial first-order decay of atrazine and metabolites in adapted and nonadapted soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(9), 1973–1981. <https://doi.org/10.1002/etc.597>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., & Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3), 617. <https://doi.org/10.3390/nu15030617>
- H. Mol, J., & Van Der Lugt, F. L. (1995). Distribution And Feeding Ecology Of The African Tilapia *Oreochromis Mossambicus* (Teleostei, Perciformes, Cichlidae) In Suriname (South America) With Comments On The Tilapia-Kwikwi (*Hoplosternum Littorale*) (Teleostei, Siluriformes, Callichthyidae) Interaction. *Acta Amazonica*, 25(1–2), 101–116. <https://doi.org/10.1590/1809-43921995252116>