

**CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y MESOPLÁSTICOS EN
LOS SEDIMENTOS DE PLAYA DEL RÍO MAGDALENA EN LA CIUDAD DE NEIVA**



JULIANA ANDREA CALDERÓN RAMÍREZ

CÓDIGO: 8020122266

SANTIAGO PIMENTEL CORREA

CÓDIGO: 8020122088

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

NEIVA-HUILA

2024

**CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y MESOPLÁSTICOS EN
LOS SEDIMENTOS DE PLAYA DEL RÍO MAGDALENA EN LA CIUDAD DE NEIVA**



JULIANA ANDREA CALDERÓN RAMÍREZ

CÓDIGO: 8020122266

SANTIAGO PIMENTEL CORREA

CÓDIGO: 8020122088

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL
MODALIDAD PRESENCIAL**

Directora

Paula Martínez Silva

Bióloga MSc Universidad Nacional de Colombia

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DEL HUILA – CORHUILA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

NEIVA-HUILA

2024

RESUMEN

Los plásticos han desempeñado un papel importante en el desarrollo tecnológico y en la vida cotidiana del ser humano, generando una creciente demanda y, por consiguiente, una mayor producción en todo el mundo, convirtiéndose en uno de los materiales contaminantes con mayor impacto ambiental (Porrás, 2021). Sin embargo, los plásticos de un solo uso son los más populares debido a su bajo costo y practicidad. Esto ha generado una cultura de desecho y un manejo inadecuado de los residuos (López et al., 2020). Estos plásticos pueden degradarse en condiciones naturales a lo largo de un prolongado periodo, generando partículas más pequeñas conocidas como nano, micro y mesoplásticos, que representan una amenaza para la fauna y flora de los ecosistemas, especialmente los acuáticos (Porrás, 2021).

Los microplásticos pueden clasificarse de acuerdo con su forma en fragmentos, fibras o microesferas, y tienen un tamaño que varía entre 1 μm y 5 mm (TecnoAqua, 2019). Por otro lado, los mesoplásticos, generalmente derivados de la fragmentación de plásticos más grandes, tienen tamaños que oscilan entre 5 mm y 25 mm (Porrás, 2021), lo cual dificulta su remoción. Además, funcionan como vectores de contaminantes e interfieren con el metabolismo de especies a lo largo de la cadena trófica (Manrique, 2019). Dado el escaso número de estudios previos realizados sobre los microplásticos en los sedimentos del río Magdalena, es de vital importancia llevar a cabo un estudio exhaustivo para determinar las concentraciones actuales de microplásticos y mesoplásticos presentes en los sedimentos de playa del río Magdalena en las áreas circundantes a la ciudad de Neiva.

Las muestras de sedimentos de playa serán recolectadas y analizadas de acuerdo con la metodología propuesta por diferentes autores (Hidalgo et al., 2012; Purca et al., 2017; Hernández

et al., 2018; Barrows et al., 2018) en el laboratorio de Limnología de la Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA.

Los resultados mostraron que los microplásticos y mesoplásticos están distribuidos de manera desigual en los cinco puntos de muestreo. Predominan las fibras, siendo el punto 1 el que tiene la mayor concentración (189 fibras) debido a su proximidad a una zona industrial. Las microesferas (28) fueron más comunes en el sitio 3 y pueden estar asociadas con productos industriales y de cuidado personal. Bajo la influencia de las actividades turísticas, los desechos relacionados con la descarga de aguas residuales alcanzan la concentración más alta en el punto 2 (130). Los tamaños de las partículas varían, y las grandes superficies identificadas en el punto 5 pueden estar relacionadas con diferentes procesos de degradación. Las diferencias observadas reflejan la influencia de las actividades humanas en la distribución y características de estos contaminantes en el río Magdalena, especialmente cerca de áreas industriales, turísticas y urbanas.

Palabras clave: agua dulce, contaminación del agua, ecosistema acuático, limnología, plástico, polímero.

ABSTRACT

Plastics have played an important role in technological development and in the daily life of human beings, generating an increasing demand and, consequently, greater production worldwide, becoming part of the polluting materials with the greatest environmental impact (Porras, 2021). However, single-use plastics are the most popular due to their low cost and practicality. This has generated a culture of waste and inadequate waste management (López et al., 2020). These plastics can degrade in natural conditions over a prolonged period, generating smaller particles known as nano, micro, and mesoplastics, which represent a threat to the fauna and flora of ecosystems, especially aquatic ecosystems (Porras, 2021).

Microplastics can be classified according to their shape into fragments, fibers, or microspheres, and have a size that ranges from 1 μm to 5 mm (TecnoAqua, 2019). Mesoplastics, generally derived from the fragmentation of larger plastics, have sizes between 5 mm and 25 mm (Porras, 2021), which makes their removal difficult. In addition, they function as vectors of contaminants and interfere with the metabolism of species along the food chain (Manrique, 2019). Given the scarce number of previous studies conducted on microplastics in Magdalena River sediments, it is of vital importance to conduct a comprehensive study to determine the current concentrations of microplastics and mesoplastics present in the beach sediments of the Magdalena River from the surrounding areas of the city of Neiva.

Beach sediment samples will be collected and analyzed according to the methodology proposed by different authors (Hidalgo et al., 2012; Purca et al., 2017; Hernández et al., 2018; Barrows et al., 2018) at the Limnology laboratory of the Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA.

The results showed that microplastics and mesoplastics are unevenly distributed at the five sampling points. Fibers predominated, with site 1 having the highest concentration (189 fibers) due to its proximity to an industrial area. Microspheres (28) were most common at site 3 and may be associated with industrial and personal care products. Under the influence of tourist activities, waste related to sewage discharge reached the highest concentration at site 2 (130). Particle sizes vary, and the large surface areas identified at point 5 may be related to different degradation processes. The differences observed reflect the influence of human activities on the distribution and characteristics of these pollutants in the Magdalena River, especially near industrial, tourist, and urban areas.

Key words: freshwater, water pollution, aquatic ecosystem, limnology, plastic, polymer.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
3.	JUSTIFICACIÓN	18
4.	ESTADO DEL ARTE.....	21
4.1.	Antecedentes a nivel internacional	21
4.2.	Antecedentes a nivel nacional.....	22
4.3.	Antecedentes a nivel regional	23
5.	OBJETIVOS	26
5.1.	General.....	26
5.2.	Específicos	26
6.	METODOLOGÍA	29
6.1.	Hipótesis inicial	29
6.2.	Área de estudio	29
6.3.	Recolección de muestras.....	30
6.4.	Fase de campo: recolección de muestras	31
6.5.	Fase de Laboratorio: Análisis de muestras	32
6.6.	Fase de conteo de microplásticos.....	33
6.7.	Fase de medición de tamaños	34
6.8.	Fase de análisis de datos	34
6.9.	Fase de circulación del conocimiento	35
7.	RESULTADOS.....	36
7.1.	Resultados de análisis estadísticos.....	40
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
9.	CONCLUSIÓN.....	57
10.	BIBLIOGRAFÍA	58
11.	ANEXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1. <i>Puntos de recolección de muestras</i>	31
Ilustración 2. <i>Fotografías de Microplásticos observados a través de microscopio Optimo Olympus.</i>	50
Ilustración 3. <i>Desechos al borde del río.</i>	67
Ilustración 4. <i>Vertimientos</i>	67
Ilustración 5. <i>Recolección de muestras.</i>	68
Ilustración 6. <i>Fase de laboratorio.</i>	69
Ilustración 7. <i>Participación en Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación</i>	70

ÍNDICE DE GRÁFICA

Gráfica 1. <i>Cajas y bigotes par el área de las Fibras</i>	46
Gráfica 2. <i>Cajas y bigotes para la longitud de las Fibras.</i>	46
Gráfica 3. <i>Cajas y bigotes para el área de los Fragmentos.</i>	47
Gráfica 4. <i>Cajas y bigotes para la longitud de los Fragmentos.</i>	47
Gráfica 5. <i>Cajas y bigotes para diámetro de Microesferas.</i>	48
Gráfica 6. <i>Cajas y bigotes para el área de las Microesferas.</i>	48

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. <i>Definición de términos usados en el estudio.</i>	11
Tabla 2. <i>Marco Legal</i>	27
Tabla 3. <i>Coordenadas de puntos de muestreo.</i>	30
Tabla 4. <i>Cantidad de microplásticos encontrados en cada punto según su forma</i>	37
Tabla 5. <i>Tamaño de las fibras y fragmentos analizadas</i>	37
Tabla 6. <i>Tamaño de las Microesferas analizadas.</i>	38
Tabla 7. <i>Prueba estadística de Kruskall-Wallis.</i>	40
Tabla 8. <i>Post Hoc Área de Fragmentos</i>	41
Tabla 9. <i>Post Hoc Longitud de Microesferas</i>	41
Tabla 10. <i>Post Hoc Cantidad Total de Microplásticos</i>	41

GLOSARIO

Tabla 1.

Definición de términos usados en el estudio.

Término	Definición
Bioacumulación	La bioacumulación refiere a la acumulación de un contaminante en un organismo desde cualquier fuente de exposición incluyendo aire, agua y alimento (Caballero et al., 2010)
Biomagnificación	Tendencia de algunos productos químicos a acumularse a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores al ascender el nivel trófico. La concentración del producto en el organismo consumidor es mayor que la concentración del mismo producto en el organismo consumido (García et al., 2017)
Contaminante	Es cualquier sustancia o forma de energía que produce un desequilibrio negativo en un ecosistema ya sea en el medio físico o biológico, así mismo afectando al ser humano indirectamente por las consecuencias que desencadena dicho daño, producido por actividades antrópicas o eventos naturales (Bermúdez, 2010).
Contaminante emergente	Son contaminantes que aún no se encuentra regulados ni controlados, que pueden ser candidatos a regulación futura debido a las investigaciones sobre los impactos que genera a los ecosistemas y a la salud del ser humano, por tal razón son contaminantes que hasta el momento son estudiados para encontrar las fuentes de contaminación y así mitigar sus efectos (Tejada et al., 2014).
Fragmentación plástica	Proceso mediante el cual los objetos plásticos se descomponen en partículas más pequeñas debido a factores como la exposición al sol, el agua y el desgaste físico. Este proceso genera microplásticos, partículas de menos de 5 mm, que provienen tanto de la degradación de plásticos más grandes como de fuentes directas, como productos cosméticos y textiles sintéticos. (González et al., 2019)
Mesoplásticos	Los mesoplásticos son fragmentos de plástico con un tamaño entre 5 y 25 mm, formados principalmente por la degradación de plásticos más grandes debido a microorganismos, radiación ultravioleta o temperatura. Estas piezas son abundantes en ecosistemas acuáticos y son biodisponibles para los organismos, lo que contribuye a su acumulación en el medio ambiente (Nurhasanah M., et al., 2021).
Microplásticos	Los microplásticos son pequeñas partículas degradadas de los materiales elaborados de plástico, principalmente está conformada por polímeros (generalmente polietileno, poliestireno o polipropileno) con un diámetro menor de 5 milímetro (mm). Estas partículas también son encontradas en los textiles sintéticos, aguas residuales provenientes del lavado de ropa sintética y en productos de aseo personal como faciales, así mismo son transportadores de metales pesados en el agua, difíciles de remover en las plantad de tratamiento de aguas residuales. según el estudio desarrollado en Cartagena (Luis et al., 2013).
Planta De Tratamiento De Aguas Residuales (PTAR)	Son estructuras con diferentes procedimientos los cuales son necesario para retirar los contaminantes que se encuentran sumergidos en el agua, ya sean sólidos en suspensión y/o materia orgánica toxico para la biota que hábitat en los ecosistemas acuáticos (ETAPA, 2015).

Sedimentos

Son partículas procedentes de las rocas o suelos erosionados para ser acarreadas por las aguas que escurren y por los vientos, este material finalmente es depositado a lo largo de los cauces principalmente en las riberas, debido a la corriente que con lleva el cuerpo de agua, además los principales agentes de originar los sedimentos son la erosión y el transporte de material suspendido (García et al., 1998)

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título: Caracterización de microplásticos y mesoplásticos en los sedimentos de playa del río Magdalena en la ciudad de Neiva.		
Investigador Principal: Juliana Andrea Calderón Ramírez Santiago Pimentel Correa		
Correo electrónico: jacalderon20201@corhuila.edu.co spimentel20201@corhuila.edu.co	Teléfonos: 3103856280 3013154753	
Línea de Investigación: Caracterización y cuantificación de microplásticos	Semestre: X	
Lugar de Ejecución del Proyecto: Corporación Universitaria del Huila- CORHUILA, Sede Prado Alto		
Ciudad: Neiva	Departamento: Huila	
Duración del Proyecto (en meses): 17 meses		
Tipo de Proyecto:		
Investigación Básica: X	Investigación Aplicada:	Desarrollo Tecnológico o Experimental:
Descriptores / Palabras claves: Microplásticos, contaminantes emergentes, sedimentos		

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, hay una falta de información sobre los microplásticos (MPs) y mesoplásticos (MPEs) en los sedimentos de playa de agua dulce del río Magdalena. Estos representan una amenaza potencial para la fauna y flora de los ecosistemas, especialmente los acuáticos (Porrás, 2021). Estos contaminantes emergentes tienen una capacidad de absorción que está directamente relacionada con su superficie y porosidad; además, las interacciones intermoleculares con otros contaminantes emergentes varían según el tipo de polímero del plástico. La morfología de los microplásticos también es importante, ya que fracturas, cavidades o superficies irregulares pueden aumentar las posibilidades de adsorción de contaminantes (Godoy, 2021). Investigaciones previas han sugerido que la acumulación de biopelículas formadas por microorganismos, como algas y bacterias, así como la adsorción y acumulación de contaminantes, puede aumentar la densidad de los microplásticos y mesoplásticos, facilitando su acumulación en sedimentos (Porrás, 2021).

Los microplásticos se clasifican según su forma en fragmentos, fibras o microesferas y tienen un tamaño que varía entre 1 μm y 5 mm (TecnoAqua, 2019). Pueden ser fabricados inicialmente en este tamaño como microplásticos primarios o provenir del deterioro gradual y la fragmentación de plásticos más grandes, conocidos como microplásticos secundarios (Tituchina, 2019). Por otro lado, los mesoplásticos, generalmente derivados del proceso anterior, tienen tamaños entre 5 mm y 25 mm (Porrás, 2021).

Según su polímero constituyente, los materiales plásticos pueden ser de polietileno (PE), tereftalato de polietileno (PET), poliestireno (PS), policloruro de vinilo (PVC), entre otros (Brâte

et al., 2018). La presencia de plástico en el medio ambiente plantea riesgos para la salud de los ecosistemas, y varios estudios han demostrado que la presencia de MPs en el agua y los sedimentos (Lino, 2022; Vidal et al., 2021) tiene una amplia variedad de efectos negativos sobre los seres vivos. Cuando son ingeridos por la fauna marina, los microplásticos provocan efectos tóxicos y mecánicos, lo cual puede resultar en problemas relacionados con la ingesta de alimentos, asfixia, cambios de comportamiento y alteraciones genéticas. Además, los microplásticos también ingresan a la cadena alimentaria a través del consumo humano de mariscos, y se han encontrado microresiduos de plástico en órganos humanos y en la placenta de recién nacidos (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, esta investigación propone la caracterización de microplásticos y mesoplásticos presentes en los sedimentos de playa del río Magdalena, entendiendo que se trata del cuerpo de agua dulce más importante del sur del país. El objetivo principal es cuantificar y caracterizar este tipo de partículas en los sedimentos de playa del río Magdalena en su paso por la ciudad de Neiva, con el fin de establecer una línea base que permita comprender la magnitud y naturaleza de esta problemática, apoyando la formulación de leyes y planes de mitigación. Esto, sumado a las leyes existentes que prohíben el uso de plásticos, podría contribuir a reducir o abordar de forma más eficaz esta problemática ambiental.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La demanda global de plásticos ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años, alcanzando aproximadamente 245 millones de toneladas. Según la investigación realizada por Naspud et al. (2022), estos incrementos en la demanda se han mantenido desde el año 2011 hasta el 2022. Los datos muestran que la cantidad de plástico utilizado ha aumentado de manera exponencial cada año, un incremento que se debe a las numerosas ventajas del plástico como material versátil, ligero, resistente y potencialmente transparente. Asimismo, se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, lo que le confiere una notable ventaja sobre otros materiales como el vidrio, el metal y el papel.

La presencia de microplásticos en cuerpos de agua, como los ríos, es una preocupación ambiental de gran importancia. Los microplásticos y mesoplásticos son pequeñas partículas y fragmentos de plástico que se biodegradan de forma muy lenta y pueden tener efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos, la vida silvestre e incluso en los humanos que consumen diversos alimentos provenientes de este entorno.

Teniendo en cuenta el área de estudio, se observa que los posibles impactos derivados principalmente de la actividad pesquera son relevantes, dado que la pesca es una de las principales actividades económicas y sociales en este ecosistema acuático. Uno de los principales riesgos asociados a esta actividad es la bioacumulación de microplásticos, un proceso en el que las pequeñas partículas de plástico, al ser ingeridas por organismos acuáticos, se acumulan en sus tejidos a lo largo de su vida. A medida que estos organismos son consumidos por otros de mayor tamaño en la cadena alimentaria, los microplásticos también se acumulan en ellos, lo que da lugar

al fenómeno de la biomagnificación (Briones et al., 2022). Este proceso aumenta la concentración de microplásticos en los organismos de mayor nivel trófico, afectando tanto a las especies locales como a los seres humanos que consumen los productos pesqueros, lo que puede tener graves implicaciones para la salud y la biodiversidad.

El río Magdalena es un ecosistema crucial para el departamento del Huila, ya que proporciona una gama de bienes y servicios, como la pesca, la acuicultura, la recreación, los deportes acuáticos, el riego de cultivos, el hábitat para la vida silvestre, la flora y la belleza escénica. Este río nace en el Macizo Colombiano y desemboca en el mar Caribe (Solodkow, 2015).

Son varias las causas de acumulación de residuos plásticos en los sedimentos de playa del río Magdalena. Como lo mencionó la Ingeniera Heidy Calderón en su tesis de pregrado, se encuentran la falta de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la ciudad, que descarga microplásticos provenientes del lavado de ropa y contaminantes domésticos, productos de aseo personal y cosméticos, la acumulación de residuos y actividades de piscicultura aguas arriba, los residuos plásticos provenientes de cultivos y empaques de productos cosechados, y la falta de cultura ciudadana, entre otros (Calderón, 2019).

Con base en la problemática descrita anteriormente, planteamos nuestra pregunta de investigación: ¿Cuál es y cómo varía la cantidad y calidad (forma y tamaño) de los microplásticos y mesoplásticos que se acumulan en los sedimentos de playa del río Magdalena en su paso por la ciudad de Neiva?

3. JUSTIFICACIÓN

Los microplásticos y mesoplásticos representan un riesgo significativo para la salud de los ecosistemas y de los seres humanos. La presencia de plásticos en ecosistemas acuáticos es motivo de gran preocupación debido a su incorporación en la cadena alimentaria, lo que puede llevar a su bioacumulación y biomagnificación a todos los niveles tróficos, incluyendo a los seres humanos (Briones et al., 2022).

Es fundamental llevar a cabo investigaciones exhaustivas sobre este tema para establecer una línea base de conocimiento que respalde la necesidad de cumplir estrictamente con las leyes y regulaciones relacionadas con esta problemática, tanto a nivel regional como nacional. Entre las claves normativas asociadas se encuentran; Resolución 0668 de 2016: Emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), esta resolución tiene como objetivo promover prácticas más sostenibles en la gestión de residuos plásticos. Posteriormente fue modificada por la Resolución 2184 de 2019, también expedida por el MADS, para reforzar sus lineamientos en la transición hacia un manejo más responsable de estos materiales., Resolución 1342 de 2020 que establece las directrices para la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques en Colombia. Esta regulación busca fomentar una economía circular mediante la recolección y recuperación de materiales, contribuyendo a la reducción de residuos y a una gestión más eficiente de los recursos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Resolución 1342 del 2020)., Ley 1773 del 2019 tiene como objetivo establecer medidas de reducción del impacto ambiental producido por actividades económicas en el país (El congreso de Colombia - Ley 1773 del 2019)., Ley de Agua Limpia (CWA): Promulgada en 1972 por la Agencia de Protección Ambiental (EPA),

esta ley tiene como objetivo principal regular las descargas de contaminantes en las aguas superficiales de Estados Unidos. También establece estándares rigurosos para las descargas de aguas residuales, garantizando el control de la contaminación hídrica (Environmental Protection Agency (EPA) - Ley de Agua Limpia (CWA), (1972)). La implementación estricta de estas normativas no solo es crucial para minimizar el impacto ambiental, sino también para fortalecer los sistemas de manejo sostenible de recursos. Por ello, se requiere una base de conocimiento sólido que permita evaluar y justificar la importancia de estas regulaciones en el contexto actual. Hasta ahora, son escasas las investigaciones realizadas sobre este problema en un ecosistema tan importante para nuestro país como el río Magdalena (Calderón, 2019; Martínez et al., 2020). Por lo tanto, es vital llevar a cabo este estudio para llenar esos vacíos de investigación y abordar inteligentemente esta problemática. Además, es relevante destacar que este proyecto se caracteriza por tener un bajo costo, lo que refuerza la necesidad de implementar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en base a estos hallazgos.

Esta investigación tiene como objetivo comprender los tamaños, formas y cantidades de microplásticos y mesoplásticos acumulados en los sedimentos del río Magdalena a su paso por la ciudad de Neiva. Esto permitirá generar una línea base que servirá como punto inicial para futuras investigaciones relacionadas con temas como la ecotoxicidad y los tipos específicos de polímeros presentes. Además, esta información podrá ser utilizada por la alcaldía de Neiva y las autoridades competentes en el diseño de la PTAR.

Por otro lado, este estudio también busca divulgar e informar sobre la abundancia y el tipo de contaminantes emergentes presentes en uno de los ecosistemas más importantes para la región del Huila y el país. De esta manera, se pretende generar conciencia entre los habitantes y

demostrar la importancia de gestionar adecuadamente los residuos sólidos, así como reducir el uso y consumo de materiales plásticos.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. Antecedentes a nivel internacional

En el año 2021, en la Universidad Nacional de La Plata en Buenos Aires Argentina se llevó a cabo un estudio con el objetivo de analizar la distribución, abundancia y tipos de MPs presentes en tres compartimientos: columna de agua, sedimento intermareal y en integrantes de la biota en el sector costero de agua dulce-mixohalino del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur). El área de estudio comprendió 150 km de la costa y se realizaron dos muestreos a lo largo de diez sitios, donde se colectaron muestras de agua para analizar MPs y la comunidad planctónica. Los resultados revelaron la presencia de MPs en todas las muestras analizadas, siendo el tamaño predominante entre $500 \leq 1000 \mu\text{m}$, mientras que el tipo de microplásticos más hallado fueron las fibras de color azul. Para concluir se determinó que los resultados obtenidos afirman que la Franja Costera Sur del estuario del Río de la Plata, está sufriendo el ingreso y acumulación de MPs en la columna de agua, en el sedimento intermareal y en integrantes de la biota (Pazos, 2021).

En la facultad de Ciencias Ambientales e Ingeniería en la Universidad Qingdao de China se realizó una investigación donde su enfoque fue indagar la abundancia, distribución y caracterización de microplásticos en la superficie de aguas de la cuenca del río Wei en la península de Shandong, donde los resultados obtenidos mostraron la abundancia de microplásticos, que varió de 0,40 a 1,20 MP/L, dando como resultado la abundancia promedio de 0,81 MP/L que se encontraba en un nivel de contaminación moderado en comparación con otros ríos y se encontró que la abundancia de microplásticos fue mayor en áreas pobladas. La fibra fue el tipo dominante (83,4%), Incoloro fue el tipo de color dominante (93,6%) y el tamaño principal de la partícula (0,06 -0,5 mm) (47,9%), con esto se pudo concluir que este estudio proporcionó una advertencia para la gestión y prevención de MPs en agua dulce (Jiao et al., 2022).

En el año 2023, Tatenda Dalu de la Universidad de Mpumalanga en Sudáfrica publicó un artículo de investigación cuyo objetivo fue estudiar la variación estacional en la cantidad de microplásticos en sedimentos y agua en dos sistemas fluviales subtropicales de Sudáfrica, tanto aguas arriba como aguas abajo de las obras de tratamiento de aguas residuales. Los resultados de la investigación indicaron que los tipos y la distribución de los microplásticos no mostraron una variación estacional clara y que los microplásticos se encontraron ampliamente distribuidos en ambos sistemas. Sin embargo, hubo diferencias significativas en las concentraciones de microplásticos debido a la variación estacional. Para concluir se encontró que las estaciones cálidas y húmedas presentaron una carga de contaminación más alta, especialmente en los sedimentos que fue donde se encontró la mayor concentración de microplásticos (Dalu et al., 2023).

4.2. Antecedentes a nivel nacional

En el año 2022, en la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, se llevó a cabo un trabajo de investigación, que se enfocó en categorizar y estimar la abundancia de microplásticos en el sistema digestivo de los peces de diferentes gremios tróficos: *Caranx crysos* (Carnívoro), *Mugil* spp. (omnívoro) y *Opisthonema oglinum* (planctívoro) capturados en la zona costera del Magdalena, Caribe Colombiano. Para lo cual, se tomaron medidas morfométricas y se les extrajo del sistema digestivo. Donde se encontraron un total de 2096 MPs en el 94,1% de los sistemas digestivos revisados, donde la frecuencia de estos fue mayor *O. oglinum* (98,4%), seguido de *C. crysos* (97,1%) y *Mugil* spp. (88,2%) (Otero, 2022).

En el Instituto de investigaciones Marinas y de Santa Marta se realizó una investigación, la cual tuvo como objetivo identificar los sitios prominentes por donde ingresan los MPs al medio marino de la costa Pacífica en la Bahía de Buenaventura. El trabajo se llevó a cabo durante tres épocas; lluvia, transición y seca entre 2015 y 2019. Se recolectaron 36 muestras en dos sectores,

el Estuario Interno (EI) y el Estuario Externo (EE). Los resultados del estudio indicaron que la densidad de MPs aumentó anualmente un 28,7% en agua superficiales. Además, se encontró mayor densidad de MPs en el EE en comparación con el EI, allí los fragmentos y fibras fueron los tipos más abundantes (Vidal et al., 2021).

En el año 2022 se realizó un proyecto de investigación, donde el objetivo fue evaluar la contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida del Cispatá, Caribe Colombiano; para esto, los autores seleccionaron tres estaciones en los manglares y dos en playas turísticas y se muestrearon microplásticos en aguas superficiales y sedimentos. Los resultados de este estudio arrojaron que la abundancia de microplásticos fue mayor en manglares (de 13 a 123 ítems/m³ de agua; de 72 a 1 668 ítems/m² o de 42 a 1 825 ítems/kg de sedimentos) en comparación con las playas (de 0 a 0.13 ítems/m³ de agua; de 8 a 36 ítems/m² de sedimentos). En ambos ecosistemas, las películas, las espumas y los fragmentos fueron las formas más comunes, relacionándose con la deficiente gestión de residuos domésticos, del turismo y la pesca en la zona (Garcés, 2022).

4.3. Antecedentes a nivel regional

La línea base de la investigación transcurrió en el año 2017 en el municipio de Neiva, departamento de Huila, en la Corporación Universitaria del Huila - CORHUILA, en el mismo semillero de investigación al que está adscrito este trabajo de investigación (MULUC), donde se llevó a cabo un estudio en la identificación y cuantificación de MPs en los sedimentos y columna de agua del río Magdalena, donde mostró que existe una importante concentración de MPs en la columna de agua (135 partículas/m³ y en sedimentos 307 ± 2 partículas/kg) en tres zonas de muestreo del río. Esto se debe en gran parte a la falta de una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en la ciudad de Neiva, lo que resulta en la contaminación directa de los desechos

urbanos e industriales en esta importante fuente hídrica. Este estudio muestra la necesidad de abordar la problemática de la contaminación por microplásticos en ecosistemas de agua dulce y la importancia de implementar medidas de tratamiento de aguas residuales para prevenir la contaminación en la región (Calderón, 2019).

En la Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA, en el año 2021 se realizó un proyecto de investigación titulado “Evaluación y caracterización del contenido de microplásticos en el estiércol de ganado caprino en el desierto de la Tatacoa y vereda de Polonia municipio de Villavieja”. La metodología seleccionada se basó en los estudios realizados en heces de pingüino y oso andino, al igual que la guía de métodos de laboratorio para el análisis de MPs en el medio marino y sus recomendaciones, por las cuales se establecieron y definieron las fases de trabajo de campo, laboratorio y cantidad de muestras. Con esta investigación se determinó que el contenido de MPs en las heces analizadas corresponde a 1833 partículas, distribuidas en 1736 fragmentos y 97 microfibras. Además, se evidenciaron 7 tipos de colores, de los cuales el más abundante fueron el rojo y el azul. Se determinó que la fuente principal de estos contaminantes son los envases tipo PET y las fibras provenientes de empaques plásticos (Puentes et al., 2021).

En el año 2020, se llevó a cabo una investigación en la región del Huila, la cual tuvo como objetivo averiguar la prevalencia de microplásticos (MPs) en peces de agua dulce de fuentes naturales y de cultivo, en este estudio se muestrearon *Oreochromis niloticus* de granjas agrícolas del Huila en Colombia, y dos especies locales (*Prochilodus magdalenae* y *Pimelodus grosskopfii*), presentes naturalmente en aguas superficiales de diferentes orígenes (Represa de Betania, Río Magdalena después de su paso por la ciudad de Neiva y el Río Bache). Se identificaron partículas en tres tipos de tejidos (estómago, branquias y carne) derivado de los peces de cultivo de naturales. Se realizó la espectroscopia MicroFT-IR en 208 muestras seleccionadas al

azar, con 22% de las partículas identificadas como MPs según los espectros con la tasa de coincidencia ≥ 70 %. Un total de 53% de las partículas identificadas correspondieron a celofán/celulosa, la partícula más abundante encontrada en todos los peces. En conclusión, no todos los peces contenían MPs: el 44 % de los peces cultivados con *Oreochromis* contenían MPs, mientras que el 75 % de los peces de origen natural contenían MPs en cualquiera de sus tejidos. (Garcia et al., 2020)

5. OBJETIVOS

5.1.General

Caracterizar los microplásticos y mesoplásticos presentes en sedimentos de playa del río Magdalena de las áreas circundantes de la ciudad de Neiva.

5.2. Específicos

- Determinar el número de microplásticos y mesoplásticos según su forma y posible origen en cada una de las muestras colectadas.
- Analizar los tamaños de partículas con base a su longitud y área.
- Establecer si existe una diferencia en la concentración entre los cinco puntos de muestreo.

Tabla 2.*Marco Legal*

NORMATIVA A NIVEL NACIONAL PARA LA REGULACIÓN DE PLÁSTICO		
Resolución 0668 del 2016	Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.	Tiene como objetivo promover prácticas más amigables con el medio ambiente en la gestión de los desechos plásticos. La resolución fue modificada por la Resolución 2184 de 2019, también expedida por (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (2016))
Resolución 1342 de 2020	Esta normativa está relacionada con el manejo de envases y empaques en Colombia, en el marco de la normatividad ambiental. Establece roles y responsabilidades para los productores de envases y empaques, con el objetivo de promover la gestión sostenible de estos materiales y evitar su impacto negativo en el medio ambiente.	Cuyo objetivo es regular la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques en Colombia, estableciendo las normas y los requisitos para una gestión adecuada de estos residuos y fomentando una economía circular para aumentar la recolección y recuperación de materiales de envases y empaques (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - Resolución 1342 del 2020)
Ley 1973 del 2019	Por medio de la cual se regula y prohíbe el ingreso, comercialización y uso de bolsas y otros materiales plásticos en el departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e Islas menores que lo componen, y se dictan otras disposiciones.	Tiene como objetivo establecer medidas de reducción del impacto ambiental producido por actividades económicas en el país (El congreso de Colombia - Ley 1973 del 2019)
Ley 2232 de 2022	Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones.	Su objetivo propenderá por el mantenimiento del valor de los productos, los materiales y los recursos se mantengan durante el mayor tiempo posible en la economía y la reducción en la generación de residuos (El Congreso de Colombia. - Ley 2232 del 2022)
Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación	Tratado internacional que busca controlar los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos, incluyendo los residuos plásticos.	Cuyo objetivo es regular el transporte, tratamiento, eliminación y almacenamiento de los residuos peligrosos, incluyendo los residuos plásticos, y prevenir su transferencia de países desarrollados a países en desarrollo (Convenio de Basilea, 1992).
La Ley de Agua Limpia (CWA)	La ley también establece un programa de permisos para fuentes puntuales de contaminación y hace cumplir los estándares para el control de las aguas de lastre de los barcos	Tiene como objetivo regular las descargas de contaminantes en las aguas superficiales del país y controlar la contaminación mediante la aplicación de estándares de aguas residuales para los vertidos de aguas de última elaboración (Environmental Protection Agency (EPA) - Ley de Agua Limpia (CWA), (1972)).

**NORMATIVA A NIVEL NACIONAL PARA LA REGULACIÓN DE
PLÁSTICO**

Ley de prevención de la contaminación (PPA) y ley de conservación y recuperación de recursos (RCRA)	Son dos leyes federales de los Estados Unidos que se enfocan en la prevención y control de la contaminación y la conservación y recuperación de recursos	La PPA tiene como objetivo prevenir o reducir la cantidad de contaminantes que se generan en las fuentes antes de que se produzcan, mientras que la RCRA establece un marco regulatorio para la gestión segura de los residuos peligrosos y no peligrosos para proteger la salud pública y el medio ambiente. (Environmental Protection Agency (EPA) - Ley de Prevención de la Contaminación (PPA). (1990) y Ley de Conservación y Recuperación de recursos (RCRA) (1976)).
---	--	---

Nota. Esta tabla muestra las Normas y Leyes con respecto al uso del plástico a nivel Nacional e Internacional

6. METODOLOGÍA

6.1.Hipótesis inicial

La cantidad y calidad de los microplásticos y mesoplásticos en los sedimentos de playa del río Magdalena en Neiva varían en función de la actividad humana y la contaminación en cada zona a lo largo del río, desde el sur hasta el norte de la ciudad. Los puntos de muestreo con mayor contaminación por partículas plásticas corresponden a los que se encuentran más al norte, puesto que coinciden con las zonas de descarga de aguas residuales. Los puntos más al sur contendrán un mayor número de partículas plásticas con forma de fragmentos, correspondientes a la degradación de embalajes plásticos y recipientes tipo PET; hacia el norte, el contenido de partículas plásticas será mayor en microfibras, puesto que el mayor aporte será el generado por aguas provenientes de lavadoras y degradación de redes de pesca (tal y como se demostró en el estudio de Calderón, 2019).

6.2.Área de estudio

El departamento del Huila se encuentra en el sur de Colombia y es atravesado por el río Magdalena de sur a norte. Este río pasa principalmente por la ciudad de Neiva, la cual cuenta con una población aproximada de 348,964 de habitantes según los resultados del censo nacional de población y vivienda del 2019 y un área de 1553 km². La ciudad de Neiva deposita sus aguas residuales en el afluente del río Magdalena, lo que influye principalmente en este sector del río. Para llevar a cabo un proyecto de investigación sobre la concentración de microplásticos presentes en el río, se recolectaron muestras de sedimentos de playa. El objetivo final es cuantificar y clasificar los microplásticos y mesoplásticos presentes en el afluente, para lo cual se utilizó el laboratorio de limnología de la Corporación universitaria del Huila - CORHUILA.

6.3.Recolección de muestras

Los puntos de muestreo fueron establecidos considerando la presencia de actividades humanas cercanas, como el turismo, la pesca, el comercio y otras actividades mercantiles, un ejemplo de las actividades humanas se puede observar en la Ilustración 3 y vertimientos observados en Ilustración 4. Además, se tuvo en cuenta la proximidad a áreas afectadas por invasiones, las cuales podrían ser una fuente de contaminación. Estas actividades humanas fueron identificadas como posibles causas de la contaminación en los puntos seleccionados para el estudio.

Tabla 3.

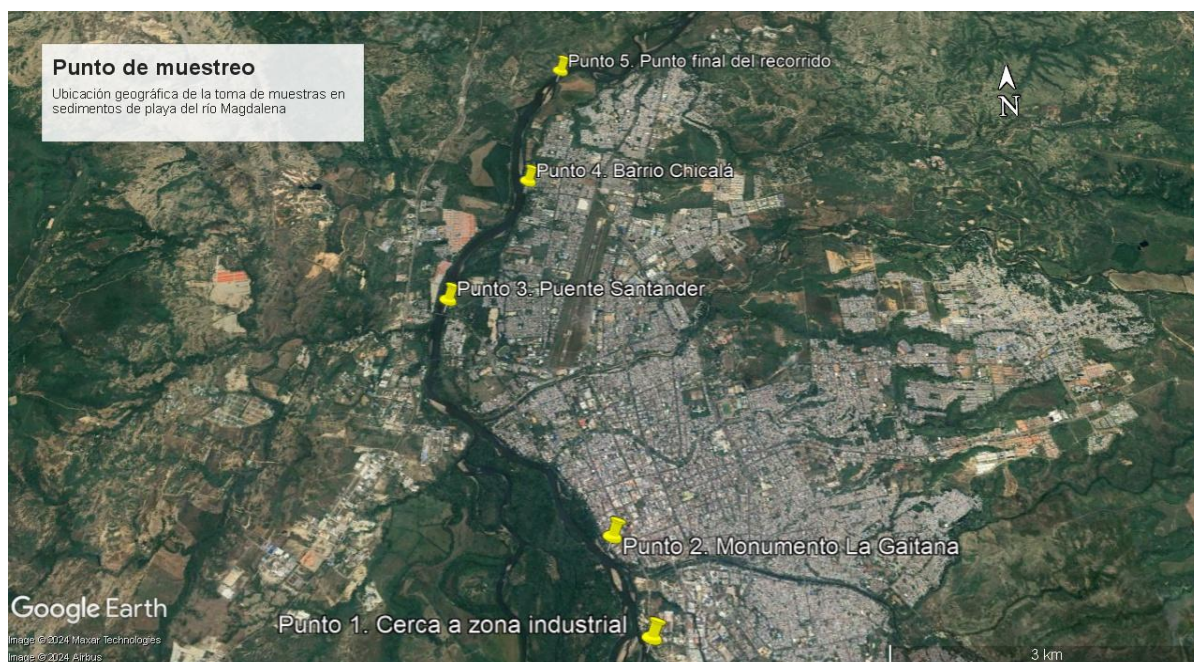
Coordenadas de puntos de muestreo.

PUNTO	LUGAR	COORDENADAS		DESCRIPCIÓN
1	Cerca a zona industrial	2°54'44.68"N	75°17'21.23"O	La primera muestra se tomó en el punto de inicio del recorrido del río Magdalena a su paso por la ciudad de Neiva, teniendo en cuenta que en las cercanías se ubica la zona industrial.
2	Monumento La Gaitana	2°55'18.22"N	75°17'32.13"O	El monumento La Gaitana es un atractivo turístico en la ciudad de Neiva, y la toma de la muestra se realizó en sus cercanías, considerando el nivel de contaminación asociado al turismo que se concentra en esta área.
3	Cerca al Puente Santander	2°56'52.49"N	75°18'29.03"O	Siguiendo el curso del cauce, se tomó la muestra cerca del puente Santander, ya que en sus proximidades se localizan varios puntos de vertimiento de aguas residuales.
4	Barrio Chicalá	2°57'47.90"N	75°17'59.87"O	En este punto se tuvo en cuenta la presencia de un asentamiento de comunidades que arroja residuos sólidos tanto en los sedimentos como directamente en el río.
5	Punto final del recorrido	2°58'47.51"N	75°17'46.43"O	Esta muestra se tomó al final del recorrido del cauce a su paso por la ciudad de Neiva, con el objetivo de analizar diferencias significativas.

Nota. En la tabla se muestran las coordenadas de los puntos que se tuvieron en cuenta para el estudio.

Ilustración 1.

Puntos de recolección de muestras



Nota. Esta imagen fue tomada de Google Earth y muestra los puntos de muestreo de Sedimentos de playa del Río Magdalena en su paso por la ciudad de Neiva.

El protocolo para la toma de muestras de sedimentos de playa ha sido descrito por varios autores (Hidalgo et al., 2012; Purca et al., 2017; Hernández et al., 2018; Barrows et al., 2018) y se realizaron modificaciones para adaptarlo según las condiciones del área de estudio.

6.4.Fase de campo: recolección de muestras

Se tomó 1 muestra de sedimentos en cada punto de muestreo (para un total de 5 muestras) a un metro de la ribera del río. Las zonas de sedimentos de playa del río son aquellas en donde se presenta mayor acumulación de microplásticos y mesoplásticos a lo largo del tiempo. Las herramientas de muestreo que se utilizaron son una pala de acero inoxidable, un cuadrante de 50 cm por 50 cm, papel aluminio y bolsas plásticas. Con una pala de acero, se retiró la capa superficial de sedimentos de playa (hasta 5 cm de profundidad) y a partir de esa profundidad se recolectó un

1kg de sedimentos por muestra (Lino, 2022; Deswati et al., 2023). Para evitar el contacto directo con las bolsas plásticas, cada muestra fue envuelta en papel aluminio, tal como se muestra en la

Ilustración 5. Posteriormente, las muestras fueron colocadas en bolsas para facilitar su transporte. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de Limnología de la Corporación Universitaria del Huila – CORHUILA para su posterior análisis (Purca et al., 2017; Barrows et al., 2018).

Por facilidad logística en cuanto al desplazamiento en lancha desde el punto inicial del muestreo hasta el punto final, el muestreo se realizó un lunes 18 de marzo, lo cual permitió aprovechar la descarga más reciente de materiales plásticos, teniendo en cuenta que los fines de semana en general la gente aprovecha para limpiar sus hogares, lavar la ropa y realizar actividades turísticas.

6.5.Fase de Laboratorio: Análisis de muestras

Las muestras fueron secadas a temperatura ambiente de 2 a 3 días (Tasnim et al., 2023) sobre papel aluminio y fueron cubiertas con este mismo para evitar la degradación de los plásticos por radiación ultravioleta durante este proceso (Quinteros, 2022).

Una vez secas, las muestras fueron pasadas por tamices de diferentes tamaños de ojo de malla de 3mm a 0,5mm (Prata, et al., 2019); los restos de materia orgánica fueron removidos

manualmente (Li et al., 2018). Una vez finalizado el tamizado, cada muestra se colocó en un vaso de precipitados de 500ml y se le agregó una solución hipersalina o disolución de NaCl (0,12 kg/L). El uso de la sal (NaCl) es económico y facilitó que los materiales plásticos flotaran y pudieran ser separados del resto de la muestra (Fernández, 2020). Para obtener el sobrenadante, cada solución hipersalina se colocó durante 30 minutos a una velocidad de 400 rpm en una plancha de agitación magnética, lo que permitió que las partículas de plástico con menor densidad como el polietileno, polipropileno y el poliestireno flotaran en la superficie (Wang, et al., 2018), mientras que las partículas pesadas, tales como granos de arena se sedimentan rápidamente, de esta manera la filtración del sobrenadante hizo más eficiente la extracción de microplásticos y mesoplásticos (Li et al, 2018).

Después se hizo pasar el líquido a través de un filtro de celulosa con un tamaño de poro de 45 µm conectado a una bomba de vacío con el fin de acelerar el proceso de filtración. Una vez terminado el proceso de filtración, los filtros de celulosa se colocaron dentro de cajas Petri y se dejaron secar durante 5 horas a temperatura ambiente para evitar contaminación cruzada (Barrows et al., 2018) Ver

Ilustración 6. Una vez seco el papel filtro, se realizó su inspección visual con ayuda del estereoscopio y el microscopio óptico (en aumentos 4x, 10x y 40X) para la respectiva cuantificación y medición de los microplásticos y mesoplásticos (Barrows et al., 2018).

6.6.Fase de conteo de microplásticos

Cada una de las muestras filtradas fueron analizadas en un microscopio óptico, utilizando aumentos 4 x, 10 x y 40 x, con el fin de contar los microplásticos presentes. Los microplásticos se clasificaron según su forma en microesferas, fragmentos y microfibras (Cháves et al., 2023). Las microesferas son pequeñas partículas redondas que se añaden a productos como cremas, pastas de dientes, pinturas, abrasivos, detergentes y otros productos. El fragmento tiene una forma irregular con bordes afilados y rotos debido al proceso de fragmentación del material plástico de mayor tamaño. Una fibra se puede identificar como una partícula en forma de hilo que tiene el mismo espesor en toda su longitud (Yona, et al., 2023).

Para comprobar que se trata de plásticos se realizará la prueba de la aguja caliente (Lusher et al., 2017). Los datos serán consignados en tablas.

6.7.Fase de medición de tamaños

A cada partícula se le tomó una fotografía utilizando el microscopio o estereoscopio, para que con ayuda del Software gratuito ImageJ se pudieran determinar la longitud y el área de cada una de ellas (Campa, 2017), con el fin de crear una tabla de tamaños de áreas, longitudes y diámetros si se trata de microesferas, utilizando rangos tanto para microplásticos y mesoplásticos.

6.8.Fase de análisis de datos

Una vez construidas las tablas de datos con los resultados se aplicó un test de normalidad. Si los datos cumplen con la distribución normal se realizarán Análisis de la Varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre el número promedio de partículas plásticas de acuerdo con su forma y tamaño entre los 5 puntos de muestreo (Henson, 2015., Dagnino 2014). El análisis de Varianza (ANOVA) de un factor es un método estadístico fácil de utilizar que permite examinar si existen diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos; además, se emplea cuando tenemos una única variable o factor independiente, que en este caso sería el número de microplásticos; este análisis solo se aplica si los datos tienen una distribución normal, de lo contrario se utiliza la prueba de Kruskal Wallis. En ambos casos, se aplica una prueba a posteriori con el fin de comparar la variabilidad entre las estaciones de muestreo. Se trabajó con un nivel de significancia del 5% (Quispe et al, 2022).

Para los tamaños se realizó un análisis de estadística descriptiva representándolo en gráficas de cajas y bigotes la cual es una representación visual que muestra una distribución de datos basada en un resumen de cinco números: el valor mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil y el valor máximo. Este tipo de gráfico permitió visualizar la centralidad, la dispersión y cualquier valor atípico que pueda haber en los datos (Flores, et al., 2018).

6.9. Fase de circulación del conocimiento

Participamos en el encuentro regional de semilleros, que se llevó a cabo el 24 de mayo de 2024 y se realizó la publicación del capítulo del libro por medio de la convocatoria #72 “Gestión Del Conocimiento. Perspectiva Multidisciplinaria”. Por el que se da a conocer acerca de la acumulación de microplásticos en sedimentos de playa del río Magdalena y algunos factores que interfieren, destaca la importancia de formular leyes ambientales y de implementar una Planta de

Tratamiento de Aguas Residuales en Neiva, ciudad cuya falta de gestión eficiente contribuye significativamente a la contaminación de esta fuente hídrica con este contaminante emergente.

7. RESULTADOS

Como parte inicial, se realizó una inspección visual detallada de cada una de las muestras recolectadas. Durante este proceso, no se identifican mesoplásticos visibles en ninguna de ellas. Sin embargo, se encontró un fragmento plástico de gran tamaño que, al someterse al proceso de manipulación y análisis, mostró signos de degradación. Este hallazgo resalta la posible fragmentación de plásticos mayores como una fuente importante de microplásticos en el entorno.

Los resultados de este estudio revelaron la recolección de un total de 898 microplásticos en los sedimentos de la playa del río Magdalena. Este resultado muestra una ligera disminución en comparación con los datos obtenidos en la línea base de información, donde se reportaron 999 microplásticos en total (Calderón, 2019). Sin embargo, es importante destacar que el estudio actual se centró exclusivamente en los sedimentos de playa, mientras que el análisis de la línea base incluyó además la columna de agua del río. Este enfoque limitado al análisis de sedimentos proporciona una perspectiva alarmante sobre la acumulación de microplásticos en las áreas de deposición. Si bien el número total parece haber disminuido, la exclusión de la columna de agua implica que los niveles reales de contaminación podrían ser significativamente mayores si se hubieran evaluado ambos compartimentos. Además, los resultados sugieren un incremento en la presencia de microplásticos en el medio acuático, considerando que las fuentes de contaminación y los patrones de deposición han cambiado con el tiempo. Los resultados que se obtuvieron en esta investigación fueron cuantificados y clasificados de la siguiente manera:

Tabla 4.

Cantidad de microplásticos encontrados en cada punto según su forma

Punto	Fibras	CANTIDAD	
		Fragmentos	Microesferas
1	189	27	6
2	116	130	4
3	75	39	28
4	92	31	32
5	98	13	18

Nota. Cantidad de microplásticos hallados en los sedimentos de los cinco puntos de muestreo analizados. Se observa que el punto 2 muestra la mayor concentración de microplásticos.

Tabla 5.

Tamaño de las fibras y fragmentos analizadas

Punto	FIBRAS		FRAGMENTOS	
	Área (mm)	Longitud (mm)	Área (mm)	Longitud (mm)
1	0.001	1.795	0.043	0.203
	0.001	1.562	0.020	0.194
	0.008	3.033	0.034	0.286
	0.003	2.286	0.062	0.313
	0.005	1.949	0.008	0.171
	0.299	0.197	0.683	0.037
	0.0799	0.240	0.002	0.049
	0.2562	0.218	0.9628	0.038
	0.3624	0.195	0.2193	0.022
	0.4369	0.175	0.002	0.063
2	0.002	2.267	0.069	0.371
	0.008	3.352	0.043	0.291
	0.007	4.198	0.047	0.307
	0.008	3.408	0.161	0.636
	0.009	3.516	0.036	0.245
	0.1547	0.085	0.004	0.078
	0.6542	0.271	0.002	0.066
	0.1574	0.200	0.003	0.073
	0.19	0.261	0.002	0.059
	0.4479	0.319	0.003	0.075
3	0.005	7.697	0.038	0.287
	0.003	5.569	0.016	0.180
	0.005	2.008	0.029	0.295
	0.007	2.641	0.042	0.295
	0.005	2.020	0.028	0.231
	0.2759	0.152	0.635	0.035
	0.7547	0.301	0.5826	0.035
	0.2816	0.149	0.002	0.065
	0.6769	0.283	0.7583	0.035
	0.08697	0.260	0.949	0.038
4	0.002	2.506	0.019	0.184
	0.005	2.045	0.054	0.261
	0.005	2.017	0.007	0.141
	0.006	2.540	0.009	0.131
	0.002	1.072	0.009	0.141

	0.5513	0.310	0.002	0.065
	0.4877	0.197	0.001	0.053
	0.2083	0.082	0.3198	0.029
	0.4619	0.289	0.9362	0.053
	0.745	0.423	0.001	0.045
5	0.003	1.647	0.009	0.118
	0.008	3.118	0.006	0.102
	0.005	1.980	0.007	0.099
	0.004	1.762	0.008	0.110
	0.004	1.961	0.007	0.103
	0.4327	0.224	0.004	0.078
	0.001	0.517	0.001	0.055
	0.8614	0.424	0.002	0.068
	0.1446	0.208	0.003	0.076
	0.3886	0.267	0.002	0.059

Nota. Los diferentes tamaños de las Fibras y Fragmentos analizadas según su área y longitud. Solo se analizan los tamaños de las 5 más grandes y las 5 más pequeñas en cada uno de los puntos para determinar rangos de tamaño.

Tabla 6.

Tamaño de las Microesferas analizadas.

MICROESFERAS		
Punto	Diámetro	Longitud (mm)
1	0.6602	0.031
	0.2857	0.018
	0.953	0.034
	0.005	0.079
	0.008	0.105
	0.009	0.105
2	0.3651	0.021
	0.462	0.022
	0.1281	0.013
	0.006	0.089
3	0.2252	0.016
	0.168	0.016
	0.1656	0.015
	0.1126	0.012
	0.1795	0.017
	0.1421	0.014
	0.2666	0.020
	0.1977	0.019
	0.2799	0.021
	0.1378	0.014
	0.1133	0.013
	0.4509	0.024
	0.1849	0.016
	0.1125	0.012
	0.09661	0.012
	0.1183	0.011
	0.4916	0.028
	0.1312	0.013
	0.1188	0.013
	0.2904	0.019
	0.2103	0.017
	0.1317	0.013

MICROESFERAS		
Punto	Diámetro	Longitud (mm)
4	0.1587	0.014
	0.1252	0.013
	0.1101	0.012
	0.1024	0.010
	0.1138	0.012
	0.5628	0.027
	0.1291	0.010
	0.1632	0.013
	0.191	0.016
	0.1683	0.013
	0.1899	0.013
	0.1764	0.015
	0.2326	0.017
	0.1742	0.014
	0.3669	0.023
	0.2033	0.016
	0.1353	0.013
	0.2442	0.017
	0.09486	0.011
	0.166	0.014
	0.1542	0.014
	0.2281	0.016
	0.1681	0.014
	0.1106	0.012
	0.342	0.021
	0.2455	0.018
	0.07456	0.010
	0.1713	0.015
	0.2163	0.017
	0.2645	0.018
	0.1473	0.013
	0.1675	0.014
	0.8983	0.034
	0.294	0.019
	0.2899	0.019
	0.4035	0.024
	0.1101	0.011
	0.2735	0.018
5	0.1605	0.015
	0.2219	0.017
	0.1666	0.014
	0.1219	0.012
	0.1509	0.013
	0.2217	0.016
	0.2711	0.017
	0.2118	0.016
	0.1207	0.012
	0.2791	0.018
	0.1373	0.013
	0.1367	0.012
	0.2333	0.017
	0.1499	0.014
	0.3629	0.020
	0.2704	0.018

Nota. Medidas de las microesferas analizadas, donde se midieron los tamaños en cuanto a diámetro y longitud de cada uno de los puntos.

Tabla 7.*Prueba estadística de Kruskal-Wallis.*

Se consideró que la prueba de Kruskal-Wallis era la opción más adecuada debido a que los datos son no paramétricos y no se puede garantizar su normalidad. Esta prueba es ideal para comparar tres o más grupos independientes, especialmente cuando las muestras son de tamaño pequeño y no homogéneo. Además, al tratarse de datos que no cumplen con los supuestos de normalidad y homogeneidad, la prueba de Kruskal-Wallis ofrece una solución robusta para evaluar las diferencias entre los grupos sin requerir distribución normal.

Test de Kruskal-Wallis		
Área de fibras entre los 5 puntos de muestreo	0,8747	No existe diferencia significativa entre las áreas de las microfibras en los 5 puntos de muestreo
Longitud de fibras entre los 5 puntos de muestreo	0,8246	No existe diferencia significativa entre las longitudes de las fibras en los 5 puntos de muestreo
Área de fragmentos entre los 5 puntos de muestreo	0,0264	Existe diferencia significativa entre el área de los fragmentos en los 5 puntos de muestreo
Longitud de fragmentos entre los 5 de muestreo	0,477	No existe diferencia significativa entre las longitudes de los fragmentos en los 5 puntos de muestreo
Diámetro de microesferas entre los 5 puntos de muestreo	0,6449	No hay diferencia significativa entre los diámetros de las microesferas en los 5 puntos de muestreo
Longitud de microesferas entre los 5 puntos de muestreo	0,00193	Existe diferencia significativa entre la longitud en los 5 puntos de muestreo
Cantidad total de Microplásticos entre los 5 puntos de muestreo	0,01777	Existe diferencia significativa entre la cantidad total de los 5 puntos de muestreo de Fibras, Fragmentos y Microesferas

Nota. Se observa el Test de Kruskal-Wallis, donde se analizaron diferentes factores de la muestra. Para esto se tuvo en cuenta un nivel de significación del 5% según la metodología.

7.1.Resultados de análisis estadísticos**Análisis de Varianza**

En primera instancia, se llevó a cabo un test de normalidad para determinar si los datos cumplían con los supuestos de normalidad. Dado que los datos no mostraron dicha distribución, se optó por realizar el análisis utilizando el test de Kruskal-Wallis tal como se refleja en la Tabla 7, para así comparar las diferencias entre los puntos de muestreo. Para este análisis, se establece un nivel de significancia del 5% (Quispe et al, 2022), donde se considera que, si el valor p obtenido es menor a 0.05, se rechazaba la hipótesis nula, lo que indicaría la existencia de diferencias

significativas entre las medianas de al menos uno de los grupos comparados. Aunque algunas de las características no muestran variación significativa entre los puntos de muestreo, otras como el área de los fragmentos, la longitud de microesferas y la cantidad total de las microesferas presentan diferencias notables, teniendo en cuenta estos resultados se realizó un análisis post-hoc (Núñez-Colín, 2019) utilizando la prueba de Dunn's, para determinar cuáles grupos son diferentes.

Tabla 8.

Post Hoc Área de Fragmentos

Dunn's Post Hoc Área de Fragmentos					
Punto	1	2	3	4	5
1		0,3102	0,5746	0,2584	0,01273
2	0,3102		0,115	0,9082	0,1399
3	0,5746	0,115		0,09074	0,00227
4	0,2584	0,9082	0,09074		0,1735
5	0,01273	0,1399	0,00227	0,1735	

Nota. Se está presentando una diferencia significativa con respecto al punto 3 y 5

Tabla 9.

Post Hoc Longitud de Microesferas

Dunn's Post Hoc Longitud de Microesferas					
Punto	1	2	3	4	5
1		0,3039	0,0002221	0,0004851	0,0008007
2	0,3039		0,06201	0,09385	0,0922
3	0,0002221	0,06201		0,6737	0,8577
4	0,0004851	0,09385	0,6737		0,8631
5	0,0008007	0,0922	0,8577	0,8631	

Nota. Se tiene en cuenta que se está presentando una diferencia significativa entre los puntos 3,4 y 5 en cuanto a la longitud de las microesferas

Tabla 10.

Post Hoc Cantidad Total de Microplásticos

Dunn's Post Hoc Cantidad total de Microplásticos			
Tipo	Fibras	Fragmentos	Microesferas
Fibras		0,09469	0,01219
Fragmentos	0,09469		0,2101
Microesferas	0,01219	0,2101	

Nota. Diferencia significativa de los tamaños en cuanto a las microesferas

El análisis post hoc realizado con la prueba de Dunn permitió identificar diferencias significativas en las características de los microplásticos evaluados (área de los fragmentos, longitud de microesferas y cantidad total de microplásticos) entre los puntos muestreados, considerando un nivel de significancia

En relación con el área de los fragmentos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se encontraron diferencias significativas entre los puntos 3 y 5 lo que indica una variación en los tamaños de los fragmentos entre estas zonas. Esta diferencia puede explicarse por el nivel de degradación de los fragmentos, que varía a lo largo del recorrido del río. En el punto 3, situado cerca de descargas de aguas residuales industriales y domésticas sin tratar, también los plásticos más grandes son introducidos al río. Estos comienzan un proceso de fragmentación debido a la exposición a procesos físicos, químicos y biológicos (Unión Europea, 2018). En contraste, en el punto 5, ubicado al final del recorrido del río por la ciudad, los fragmentos son más pequeños debido a su mayor tiempo de transporte y mayor exposición a procesos de fragmentación, como la acción mecánica del flujo del agua y la exposición a la radiación solar (Godoy, 2021).

En cuanto a la longitud de las microesferas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se identificaron diferencias significativas entre el punto 3 y los puntos 4 y 5. Estas variaciones sugieren que, aunque las microesferas tienen un origen común, su longitud cambia dependiendo de las condiciones locales y el grado de degradación que experimentan en cada punto. En el punto 3, la longitud promedio de las microesferas es mayor, posiblemente porque son introducidas directamente al río a través de descargas de aguas residuales que contienen microesferas provenientes del lavado de ropa sintética y productos cosméticos (Cháves et al, 2023). A medida que las microesferas se transportan hacia el punto 5, su longitud disminuye

debido al desgaste ocasionado por el flujo del agua y las interacciones con sedimentos y otros materiales, un proceso común en ambientes acuáticos contaminados.

Ya para finalizar, en cuanto al análisis post hoc de la cantidad total de microplásticos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se deduce que la diferencia significativa se presenta en las microesferas. Esto indica que la cantidad de microesferas es menor en comparación con otros tipos de microplásticos. Esta menor cantidad puede atribuirse a su nivel de degradación y a la dificultad para identificarlas en el medio ambiente (Rosas et al, 2007).

Cajas y bigotes

En cuanto a los gráficos de cajas y bigotes de los resultados, se realizaron para lograr describir, resumir y comparar las distribuciones de datos entre el muestreo general de datos obtenidos, donde su propósito principal es proporcionar una visión clara de la dispersión, la simetría o asimetría y los posibles valores atípicos del conjunto de datos obtenidos (Flores, 2018)

Al analizar los gráficos de bigotes correspondientes a las distintas muestras de microplásticos recolectadas en los sedimentos de playa del río Magdalena, se observó que en general la dispersión de los datos es uniforme entre las diferentes ubicaciones de las muestras. Esto sugiere que la concentración y el tamaño de los microplásticos son consistentes en la mayoría de los puntos, teniendo diferencias significativas en términos de cantidades de dichos microplásticos, lo que podría indicar una distribución relativamente homogénea de microplásticos en los puntos que fueron evaluadas (Peláez et al, 2023). Sin embargo, una excepción destacable se observa en las cajas de bigotes correspondientes al punto 2 de las muestras. En este punto de muestreo, se observa que la variabilidad es considerablemente mayor y se presentan mayores valores atípicos, lo cual no se ve reflejado en los demás puntos con tal magnitud. Esta mayor dispersión y la presencia de valores extremos sugieren que el punto 2 es un área con una concentración

inusualmente más alta de microplásticos de los diversos tipos. La notable diferencia en la dispersión de esta muestra podría interpretarse como un indicador de mayor contaminación en el punto 2, donde los sedimentos de playa parecen estar significativamente más afectados por la presencia de microplásticos. Esta variabilidad podría deberse a factores locales, como la proximidad de este punto a los puntos de descarga de las aguas industriales de la ciudad de Neiva, sumándole a las condiciones de corriente que retienen las partículas plásticas en esta sección o la presencia de plásticos fragmentados de diferentes tamaños que se han ido degradando con el paso del tiempo allí en esa área de estudio, lo cual aumenta la diversidad de partículas en este punto específico (Wang et al, 2023).

En el análisis de las fibras a través de las cajas de bigotes, se trabajó con las variables de área y longitud. En el gráfico correspondiente al área se observaron valores mínimos y máximos que se encuentran fuera del rango intercuartílico en relación con la mediana, por parte del punto 2 del área de muestreo, estos valores destacan significativamente en comparación con los otros puntos, ya que los demás puntos presentan una dispersión más homogénea. Esta discrepancia resalta la existencia de posibles valores atípicos o diferencias marcadas en el punto de muestreo 2, en el análisis de las fibras, considerando ahora el gráfico de longitud, se identificó un valor atípico ubicado por encima del bigote superior de igual manera en el punto 2 de muestreo, lo que indica que este dato, es que se excede el rango esperado definido por el límite superior del diagrama. Este comportamiento sugiere que, dentro de las muestras analizadas, existe una o más fibras con una longitud significativamente mayor en comparación con las demás del muestreo general, mientras que la mayoría de los datos se concentran dentro del rango intercuartílico y mantienen una distribución relativamente uniforme.

Por parte de los gráficos de cajas de bigotes de los fragmentos estudiados, se observó que, en el gráfico de área y longitud, los valores se concentran mayoritariamente dentro del rango intercuartílico en el punto 2, mientras que los puntos 1,3, 4 y 5 presentan una dispersión más uniforme con valores consistentes. Sin embargo, resaltan valores fuera del rango intercuartílico en el punto 2, donde se identificaron tanto valores mínimos como máximos fuera del rango de los bigotes. Esto indica la presencia de datos atípicos, que pueden ser fragmentos significativamente más grandes o pequeños que el resto. Esta variabilidad puede deberse a condiciones particulares en el punto 2, como características del proceso de formación de los fragmentos o diferencias en el tamaño inicial de los materiales, lo que puede deberse principalmente a que en este punto en específico se encuentra en una zona muy turística y de alta actividad mercantil, lo que puede desencadenar en los altos niveles de contaminación presentes en este punto. Por otro lado, los puntos restantes muestran una distribución más homogénea.

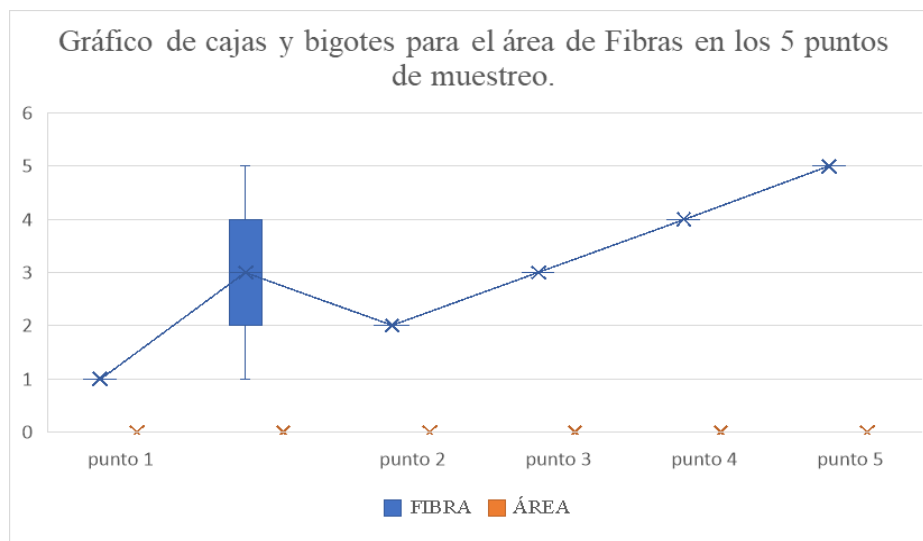
A partir del análisis de los gráficos de cajas y bigotes correspondientes al diámetro y área de las microesferas, se evidencia que los puntos 1, 3, 4 y 5 presentan una distribución más consistente y regular en el rango intercuartílico. En contraste, el punto 2 mostró una dispersión significativamente mayor, con valores mucho más variados en el rango intercuartílico, además de la presencia de un valor atípico por debajo del bigote inferior. Esto sugiere que en el punto 2 existe una microesfera con un diámetro y área considerablemente menores en comparación con las demás muestras del estudio. Este comportamiento puede estar relacionado con la baja cantidad de microesferas encontradas en este punto, lo que indica que las condiciones locales dificultan su sedimentación. Es importante destacar que la sedimentación de las microesferas depende en gran medida de su composición y características físicas. Las microesferas de plásticos de baja densidad, como el polietileno o el polipropileno, tienden a flotar y tienen una menor probabilidad de

sedimentarse rápidamente. Por el contrario, las microesferas fabricadas con plásticos más densos, como PVC o poliestireno, presentan una mayor tendencia a hundirse, especialmente si se han recubierto con partículas orgánicas o inorgánicas del entorno. (Rosas et al, 2007)

En este caso, la dificultad para sedimentarse podría explicarse por las dinámicas del río y las características propias de las microesferas presentes en el punto 2. Además, es posible que las microesferas analizadas hayan permanecido sedimentadas durante largos periodos, lo que habría favorecido su degradación progresiva con el paso del tiempo. Este proceso de degradación explicaría el tamaño reducido de las microesferas observadas en este punto en comparación con las de otras áreas del muestreo. Por lo tanto, estos resultados resaltan la importancia de considerar tanto las características intrínsecas de los microplásticos como las condiciones locales del entorno para entender su comportamiento en los sedimentos. (Rosas et al, 2007)

Gráfica 1.

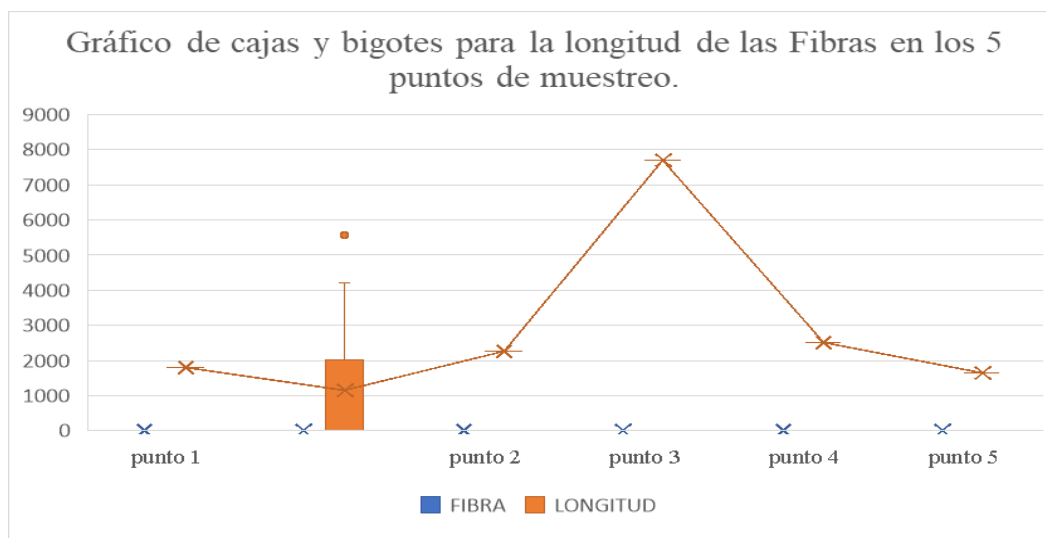
Cajas y bigotes par el área de las Fibras



Nota. Se observa la dispersión de los datos obtenidos y el rango intercuartílico en el que se presentan, para el área en cuanto a las Fibras.

Gráfica 2.

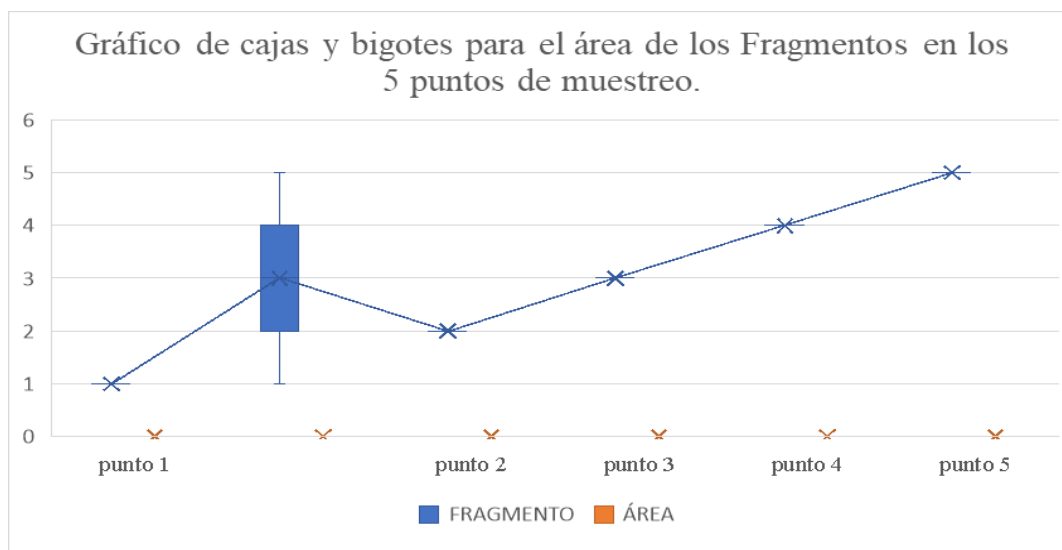
Cajas y bigotes para la longitud de las Fibras.



Nota. La dispersión de los datos obtenidos, el rango intercuartílico en el que se presentan y el valor atípico mayor, para la longitud en cuanto a las Fibras

Gráfica 3.

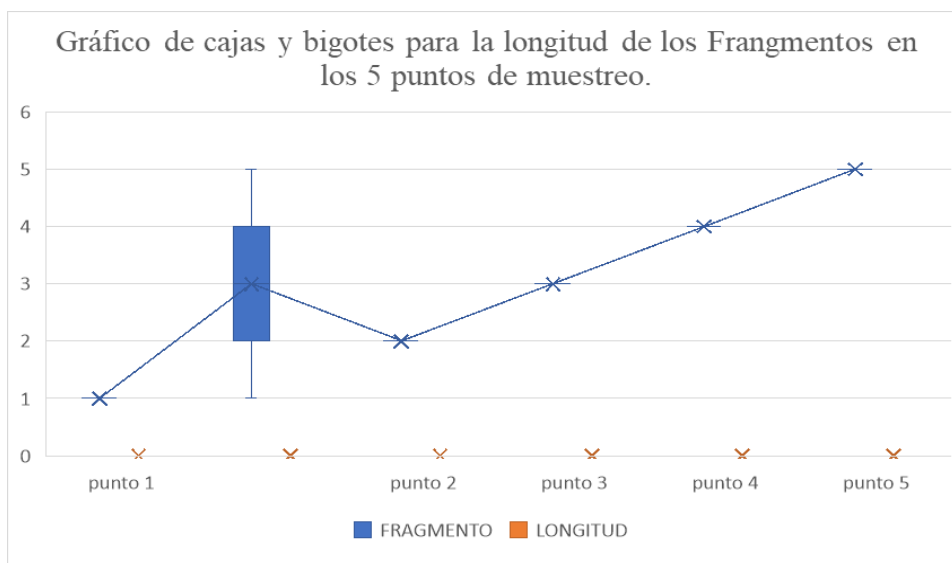
Cajas y bigotes para el área de los Fragmentos.



Nota. Se observa la dispersión de los datos obtenidos y el rango intercuartílico en el que se presentan para el área en cuanto a las Fragmentos.

Gráfica 4.

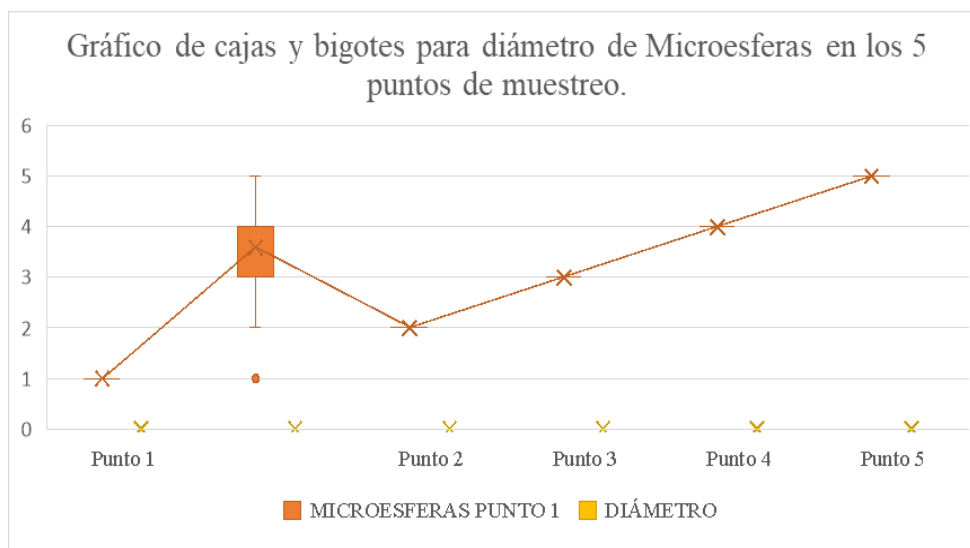
Cajas y bigotes para la longitud de los Fragmentos.



Nota. Se observa la dispersión de los datos obtenidos y el rango intercuartílico en el que se presentan para la longitud en cuanto a los Fragmentos

Gráfica 5.

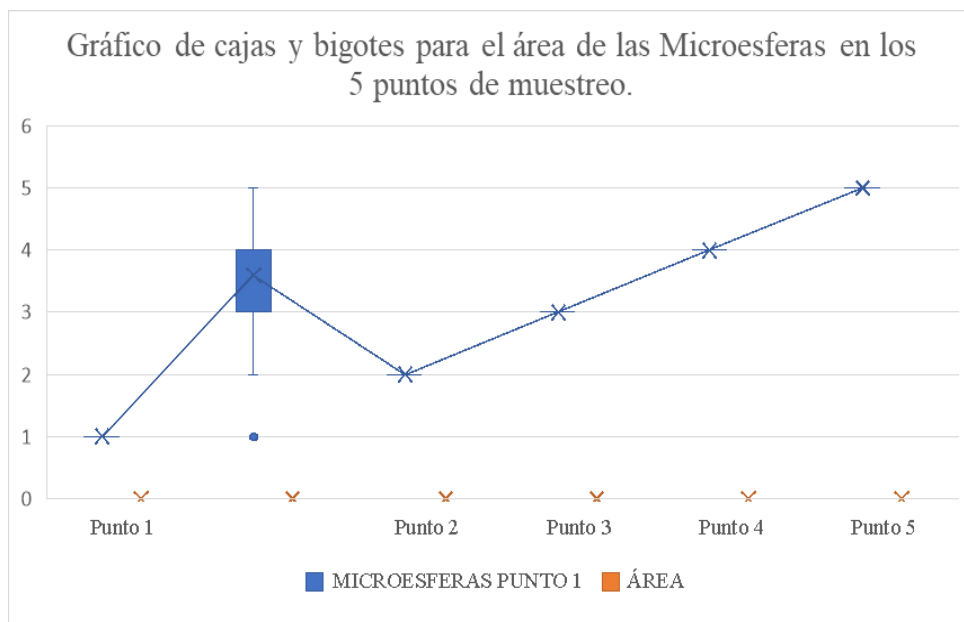
Cajas y bigotes para diámetro de Microesferas.



Nota. Se observa la dispersión de los datos obtenidos, el rango intercuartílico en el que se presentan y el valor atípico menor para el diámetro en cuanto a las Microesferas

Gráfica 6.

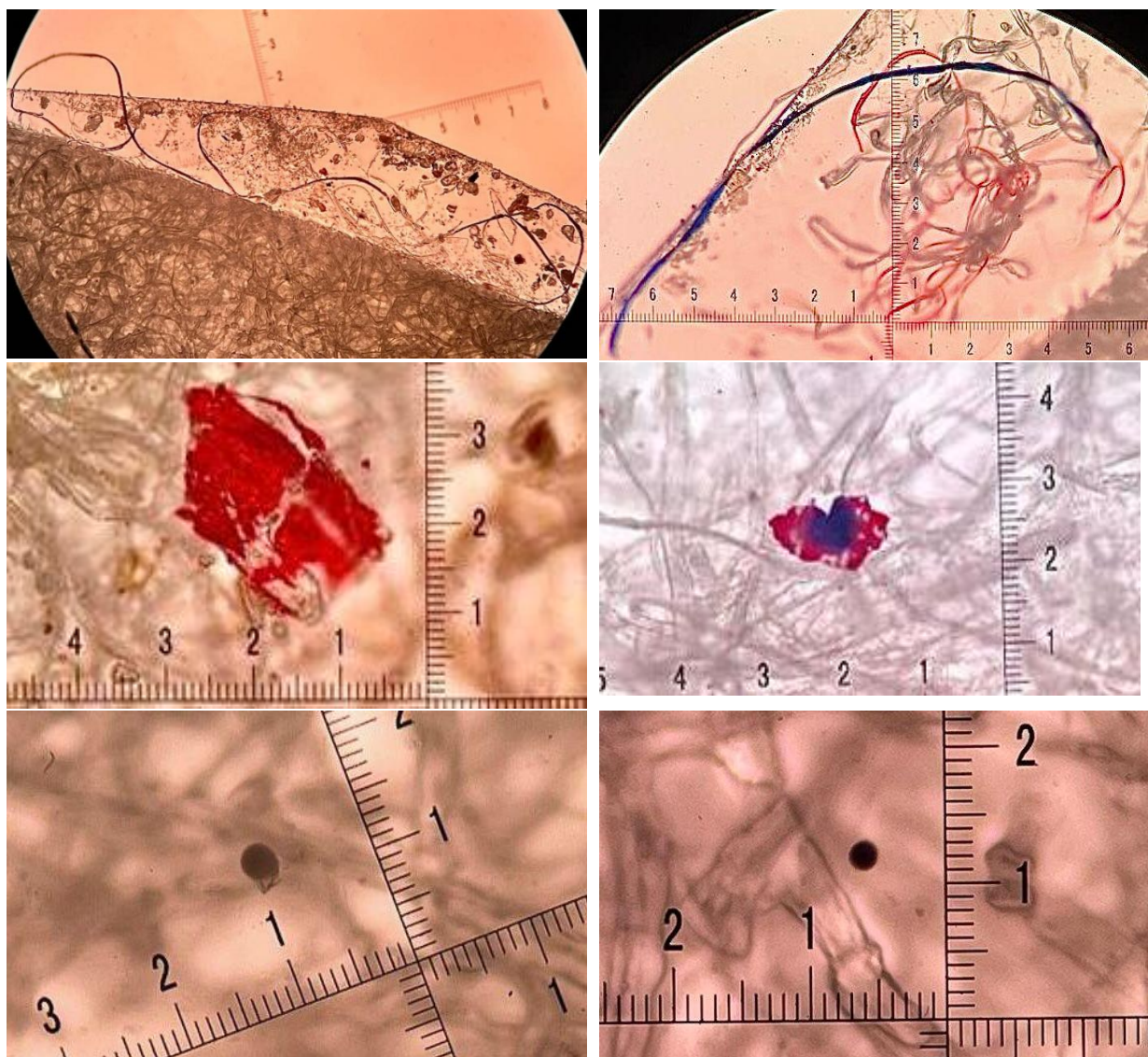
Cajas y bigotes para el área de las Microesferas.



Nota. Se observa la dispersión de los datos obtenidos, el rango intercuartílico en el que se presentan y el valor atípico menor para el área en cuanto a las Microesferas

Ilustración 2.

Fotografías de Microplásticos observados a través de microscopio Optimo Olympus.



Nota. Imágenes capturadas mediante el microscopio Optimo Olympus, utilizando diferentes niveles de aumento: 4x, 10x y 40x.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de este estudio demuestran una distribución desigual en la cantidad, forma y tamaño de los microplásticos, de sedimentos de playa del río Magdalena, incluyendo su longitud, área y diámetro, particularmente en el caso de las microesferas, entre los cinco puntos de muestreo, donde se hallaron un total de 898 partículas, debido a una enorme cantidad de factores como la densidad poblacional urbana y las actividades industriales (Shruti et al, 2019) Además, la ciudad de Neiva carece de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que facilita el vertimiento directo de aguas servidas, que incluyen residuos del lavado de ropa sintética, sobre el río, generando contaminación de los cuerpos de agua (Cháves et al., 2023; Cai et al., 2018). Aunque la cantidad total de microplásticos encontrada en los sedimentos de playa del río Magdalena es poca, es importante resaltar que en esta zona solo dos o tres ciudades pequeñas han vertido sus desechos, y falta considerar el impacto de la mayoría de las principales ciudades del país y más del 80% del recorrido de este importante río, lo cual probablemente incrementará significativamente los niveles de contaminación por microplásticos en los sedimentos a lo largo del río Magdalena (Calderón, 2019).

Las muestras recolectadas en los cinco puntos en sedimentos de playa del río Magdalena contienen aportes de microplásticos provenientes de los municipios ubicados al sur del departamento del Huila, debido a las actividades antrópicas y los vertimientos de aguas residuales e industriales de afluentes como ríos y quebradas. Asimismo, los embalses del Quimbo y Betania representan fuentes importantes de contaminación por microplásticos, principalmente por actividades como la piscicultura y el turismo (Watkins et al., 2019). Estudios realizados en otros países han encontrado que el 87% de los microplásticos encontrados corresponde a fibras

provenientes del lavado de ropa elaborada con polímeros sintéticos en plantas de tratamiento de aguas residuales (Gloriselle, 2015; Luo et al., 2019). Además, el 6% corresponde a fragmentos por la degradación de plásticos, y el 3% a microesferas provenientes de productos de belleza y aseo personal.

Las fibras presentan una mayor concentración en el punto 1, ubicado al inicio del recorrido del río Magdalena, donde se registraron 189 fibras, la mayor cantidad en todo el estudio. Este punto se encuentra cerca de una zona industrial, lo que sugiere una influencia significativa de vertimientos provenientes de actividades industriales., aparte de esto las fibras mayormente encontradas provenían de empaques de alimentos y redes de pesca (Cháves et al, 2023), y desechos de empaques

En el punto 2, cercano al monumento La Gaitana, se registraron 116 fibras, 130 fragmentos y 4 microesferas. Este sitio, frecuentado por turistas y con actividad pesquera intensiva, presentó la mayor cantidad de fragmentos, posiblemente debido a la fragmentación de plásticos mayores generados por actividades humanas. La zona se caracteriza principalmente por la presencia de pescadores que utilizan métodos de pesca artesanal, aportando importantes cantidades de materiales plásticos en las redes de pescar, los cuales flotan en la columna de agua y se depositan en los sedimentos (Badosa, 2016; Micropl et al., 2018).

El punto 3, próximo al puente Santander, registró una disminución de fibras (75) y fragmentos (39), pero un aumento notable en microesferas (28). Esta variación puede estar asociada a vertimientos directos de aguas residuales y procesos de fragmentación y transporte fluvial en esta área.

En el punto 4, en el barrio Chicalá, las muestras mostraron 92 fibras, 31 fragmentos y 32 microesferas. La acumulación de fibras y microesferas podría atribuirse a la cercanía de asentamientos que arrojan residuos sólidos y aguas de lavado. También se debe tener en cuenta que al haber un asentamiento de comunidades los plásticos son irresponsablemente desechados directamente sobre el río Magdalena debido a las malas prácticas de recolección de residuos sólidos, la falta de conciencia ciudadana y el escaso sentido de pertenencia por los recursos naturales del municipio (Gago et al., 2018a; Luo et al., 2019). Esto conlleva a un proceso de fragmentación física y química hasta convertirse en microplásticos.

Finalmente, el punto 5, al final del recorrido, mostró 98 fibras, 13 fragmentos y 18 microesferas. Este punto evidenció una disminución de fragmentos y un leve aumento de fibras, lo cual puede explicarse por el transporte río abajo y los procesos de sedimentación, dado que está más alejado de fuentes directas de contaminación. Adicionalmente, se encontraron microesferas provenientes de productos de higiene y cuidado personal, como limpiadores faciales y cremas dentales, los cuales son vertidos directamente al río (Cole et al., 2011; Watkins et al., 2019).

Las fibras fueron el tipo más predominante de micro plástico en los sedimentos analizados. Este resultado se alinea con estudios previos que han encontrado que las fibras sintéticas, provenientes principalmente de la ropa y otros productos textiles, constituyen una parte significativa de la contaminación plástica en ambientes acuáticos (Cole et al., 2011; Gago et al., 2018). La alta concentración de fibras en el punto 2 puede ser atribuible a la cercanía de este sitio a áreas urbanas y comerciales, donde el lavado de ropa y la liberación de microfibras son comunes.

Los fragmentos de plástico también fueron significativos en los sedimentos. La presencia de fragmentos grandes que muestran signos de degradación sugiere un proceso de fragmentación de plásticos mayores, lo cual es un tema de preocupación, ya que estos fragmentos pueden ser una

fuelle importante de microplásticos (Brennecke et al., 2016). La fragmentación puede ser impulsada por la exposición a condiciones ambientales adversas, como la radiación UV y la acción mecánica del agua, lo que coincide con observaciones anteriores sobre el impacto de la degradación en los entornos acuáticos (Godoy, 2021).

Las microesferas, aunque menos numerosas, presentan un interés particular debido a sus características únicas y su potencial para interactuar con organismos acuáticos. Los resultados mostraron que la cantidad de microesferas era significativamente menor en comparación con las fibras y fragmentos, lo que puede deberse a su mayor densidad y menor capacidad de sedimentación (Rosas et al., 2007). Esta observación plantea preguntas sobre la dinámica de sedimentación y la persistencia de microesferas en el entorno acuático.

El estudio actual ha documentado cambios en la cantidad y tipo de microplásticos en los sedimentos del río Magdalena en comparación con investigaciones anteriores. La ligera disminución en el número total de microplásticos puede ser un indicativo de la efectividad de las medidas de gestión de residuos implementadas en la región, aunque se necesitan más datos para establecer tendencias claras.

El análisis de los tamaños y características de los microplásticos sugiere que la contaminación por microplásticos en el río Magdalena es un fenómeno complejo influenciado por múltiples factores. A medida que los plásticos se transportan río abajo, experimentan un proceso de degradación que afecta su tamaño y forma, lo cual se ha documentado en estudios sobre la dinámica de los microplásticos (Cai et al., 2018).

La presencia de microplásticos en los sedimentos de playa del río Magdalena tiene implicaciones significativas para la salud del ecosistema. Los microplásticos pueden actuar como

vectores de contaminantes químicos y metales pesados, lo que podría afectar a la biota local (Brennecke et al., 2016). Además, la acumulación de microplásticos puede alterar las interacciones ecológicas y afectar la biodiversidad en estos ecosistemas acuáticos.

El hecho de que el punto 2 haya presentado una concentración significativamente mayor sugiere que este sitio merece atención especial para la gestión ambiental. Las actividades humanas, como la industrialización y el turismo, pueden estar contribuyendo a los niveles elevados de contaminación por microplásticos en esta área. Esto resalta la necesidad de implementar estrategias de mitigación y monitoreo continuo para abordar la problemática de los microplásticos.

Por otra parte, los efectos de los microplásticos son dominantes, ya que facilitan la propagación de microorganismos como bacterias, patógenos y especies invasoras que son resistentes a los ambientes sintéticos. Esto conlleva a la pérdida de biodiversidad nativa y endémica de la zona, además de alterar el equilibrio ecosistémico acuático y terrestre. Los ecosistemas más expuestos a este fenómeno son las quebradas y los ríos, ya que se encuentran expuestos a los asentamientos humanos y a las actividades antrópicas (Arias et al, 2019).

Estos resultados destacan la influencia significativa de las actividades humanas, como el turismo, la industria y los asentamientos, pero principalmente se refleja la falta de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que cuente con tecnologías de tratamiento eficientes para así eliminar en gran parte la carga de microplásticos provenientes de esas aguas residuales (Murphy et al., 2016). Se requieren más estudios en Colombia sobre microplásticos en diferentes departamentos por donde recorre el río Magdalena, con el propósito de dar a conocer el aporte que reciben los sedimentos de playa del mar Caribe en Boca de Ceniza, donde desemboca este río tan importante para el país, ya que según estudios comprueban que los ecosistemas acuáticos con mayor carga de contaminantes de microplásticos son los océanos y los mares, a causa de las aguas

que recibe de los cuerpos de agua urbanos como los ríos, quebrada y arroyos (Arias-, 2019b; Wang et al, 2016).

Recomendaciones para Futuras Investigaciones

Dado que el presente estudio se centró en los sedimentos, sería beneficioso realizar investigaciones complementarias que incluyan la columna de agua y organismos acuáticos para tener una comprensión más holística de la contaminación por microplásticos en el río Magdalena. Además, se recomienda llevar a cabo estudios a largo plazo que permitan evaluar las tendencias temporales en la concentración y composición de microplásticos.

La implementación de políticas públicas orientadas a la reducción del uso de plásticos de un solo uso, así como campañas de sensibilización sobre la contaminación plástica, también son cruciales para abordar la problemática en su raíz (El Congreso de Colombia, 2022). La colaboración entre instituciones académicas, gubernamentales y comunitarias es esencial para desarrollar estrategias efectivas de gestión de residuos y conservación de ecosistemas acuáticos.

9. CONCLUSIÓN

Este estudio demostró que la distribución de microplásticos en los sedimentos de playa del río Magdalena está profundamente influenciada por las actividades humanas, destacándose como uno de los principales problemas la ausencia de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). Los resultados revelaron que las concentraciones de fibras y fragmentos son significativamente mayores en áreas cercanas a zonas industriales y turísticas, identificadas como puntos críticos de contaminación. Además, la variación en el tamaño y tipo de partículas recolectadas refleja la complejidad de las fuentes de contaminación, entre las que se incluyen descargas de aguas residuales y residuos provenientes de productos de cuidado personal.

Estos hallazgos no solo confirman la hipótesis inicial del estudio, sino que también refuerzan las conclusiones previas de la tesis de Heidy (Calderón, 2019), utilizadas como línea base. Ambas investigaciones coinciden en señalar la urgente necesidad de implementar estrategias efectivas para controlar y mitigar la contaminación por microplásticos en el río Magdalena. Asimismo, resaltan la atención de estudios regionales sobre los efectos de los microplásticos en la flora y fauna, un aspecto clave para reducir los impactos negativos en este ecosistema. Considerando que el río Magdalena es una de las principales fuentes de actividad pesquera y comercial del país, este estudio contribuye a una comprensión más integral de los impactos de las actividades humanas en los ecosistemas acuáticos y establece una base sólida para futuras investigaciones y el desarrollo de soluciones ambientales sostenibles.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Andres, M., Rojas-Jimenez, K., & Grossart, H. P. (2019a). Collateral effects of microplastic pollution on aquatic microorganisms: An ecological perspective. *TrAC - Trends in Analytical*
- Boersma, A., Kalouda Grigoriadi, Merel, Henke, S., Kooter, I. M., Parker, L. A., Ardi Dortmans, & Urbanus, J. H. (2023). *Microplastic Index—How to Predict Microplastics Formation?* 15(9), 2185–2185. <https://doi.org/10.3390/polym15092185>
- Bråte, I. L. N., Hurley, R., Iversen, K., Beyer, J., Thomas, K. V., Steindal, C. C., Green, N. W., Olsen, M., & Lusher, A. (2018). *Mytilus* spp. as sentinels for monitoring microplastic pollution in Norwegian coastal waters: A qualitative and quantitative study. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 243, 383–393. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.077>
- Brennecke, D., Duarte, B., Paiva, F., Caçador, I., & Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 178, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.003>
- Briones, J., & Sadín, M. (2022). *Efectos en la salud de los microplásticos* [tesis de pregrado]. Universidad de Alcalá.
- Bulletin, 127, 365-376. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.11.070> Garcés Ordóñez, O. (2022). Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispata, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 9–25. <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.1>
- Caballero, C., & Otros Autores. (2010). *Biodisponibilidad, bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación*. En Manual de Ecotoxicología Acuática (pp. 56–78). Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131168/Documento_completo.pdf?sequence=1.
- Cai, L.-Q., Peng, J.-P., Li, H.-X., Xu, X.-R., Yan, Y., Lin, L., ... Fok, L. (2018). Occurrence and distribution of microplastics in an urban river: A case study in the Pearl River along Guangzhou City, China. *Science of The Total Environment*, 644, 375-381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.327>
- Campa, V. M. (2017). *Análisis de Imágenes de Microscopía con Image J*. 1 ed. Scotts Valley (United states Of America): Create-Space Publishing, 2017, ISBN: 978-1542671309.
- Calderón, H. (2019). *Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neiva* [tesis de pregrado]. Corporación Universitaria de Huila – Corhuila
- Cháves Velasco, J. J., Arias Hoyos, A., Muñoz Solarte, D. M., & Romero Puentes, R. B. (2023). Estudio de microplásticos en muestras de agua y sedimentos de un río urbano del

- suroccidente de Colombia. *Investigacion e Innovación en Ingenierias*, 11(2), 120–130. <https://doi.org/10.17081/invinno.11.2.6637>
- Chemistry, 112(xxxx), 234-240. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.11.041> Badosa, A., Tutor, S., & Degollada, E. (2016). Tutora de la Universidad: Dra. Anna Badosa
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanuhelgolandicus*. *Environmental Science & Technology*, 49(2), 1130–1137. <https://doi.org/10.1021/es504525u>
- Convenio de Basilea. (1992). Protocolo sobre responsabilidad e indemnización por daños resultantes de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.
- Dagnino, J. (2014). Análisis de Varianza (Vol. 43, Números 306–310). *Revista Chilena Anestesia*
- Dalu, T., Ngomane, N., Dondofema, F., & Cuthbert, R. N. (2023). Water or sediment? Assessing seasonal microplastic accumulation from wastewater treatment works. *H2Open Journal*, 6(2), 88–104. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2023.017>
- Deswati Deswati, Olly Norita Tetra, Ulfi Febriani, Suparno Suparno, Hilfi Pardi & Adewirli Putra. (2023). Detection of microplastic in sediments at beach tourism area of Muaro Lasak, Padang City, West Sumatra, Indonesia. *AACL Bioflux*
- El Congreso de Colombia. (2019). *Ley 1973 de 2019. Por medio de la cual se regula y prohíbe el ingreso, comercialización y uso de bolsas y otros materiales plásticos en el departamento archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina e Islas Menores que lo componen, y se dictan otras disposiciones.*
- El Congreso de Colombia. (2022). *Ley 2232 del 2022. Por la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones.*
- ETAPA. (2015). *Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Ucubamba, 1.* <https://doi.org/10.5014/ajot.2015.696S04>
- Fernández, D. (2020). *Análisis de microplásticos en fangos de aguas residuales mixtas: Identificación de los principales polímeros plásticos [trabajo fin de máster]*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Flores, J., & Flores, R. (2018). La Enseñanza del Diagrama de Caja y Bigotes para Mejorar su Interpretación. *Revista Bases de la Ciencia. e-ISSN 2588-0764*, 3(1), 69. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v3i1.1107

- Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V., & Viñas, L. (2018a). Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Marine Pollution*
- García, A. G., Suárez, D. C., Li, J., & Rotchell, J. M. (2020). A comparison of microplastic contamination in freshwater fish from natural and farmed sources. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(12), 14488–14497. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11605-2>
- García, M., Bolívar, J., Biomagnificación de mercurio en la cadena trófica del Delfín Moteado del Atlántico., *Revista Latinoamericana de Investigaciones Acuáticas* <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000200004>
- García Flores, M., & Maza Alvarez, J. A. (1998). *Origen y propiedades de los sedimentos : capítulo 7 del manual de Ingeniería de ríos*. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Gloriselle Negrón Ríos. (2015). Sobre las microesferas o micropartículas, 1-13.
- Godoy Calero, V. (2021). *Origen, caracterización e impacto de los microplásticos presentes en el medioambiente* [tesis doctoral]. Universidad de Granada.
- Gorrasi, G., Sorrentino, A., & Lichtfouse, E. (2021). Back to plastic pollution in COVID times. *Environmental Chemistry Letters*, 19(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01129-z>
- González, MA., Pérez, JL (2019). Contaminación por microplásticos. *Revista Ciencia*, 73 (2), 45-56.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the marine environment: A review of the methods used for identification and quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Hernández, E., Damian, D. F. (2018). *Evaluación de Microplásticos en Sedimentos del Río Tecate* [tesis de pregrado]. Universidad Autónoma de Baja California.
- Henson R.N. (2015). Analysis of Variance (ANOVA). En *Brain Mapping* (pp. 477–481). Elsevier.
- Huppertsberg, S., & Knepper, T. P. (2018). Instrumental analysis of microplastics—benefits and challenges. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410(25), 6343–6352. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1210-8>
- Jiao, J., Chen, G., Yang, Z., Li, Z., & Hu, H. (2022). Microplastics in surface waters and floodplain sediments of the dagu river in the jiaodong peninsula, China. *Journal of Ocean University of China*, 21(6), 1538–1548. <https://doi.org/10.1007/s11802-022-5211-z>
- Karkanorachaki, K., Kiparissis, S., Kalogerakis, G. C., Yiantzi, E., Psillakis, E., & Kalogerakis, N. (2018). Plastic pellets, meso- and microplastics on the coastline of

- Northern Crete: Distribution and organic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 578–589. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.011>
- Karlsson, T. M., Kärrman, A., Rotander, A., & Hassellöv, M. (2020). Comparison between manta trawl and in situ pump filtration methods, and guidance for visual identification of microplastics in surface waters. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(5), 5559–5571. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07274-5>
- Kimbugwe, C., Davis, T., Goff, F., Greggio, E., Chanthet, S., & Kiap, B. (2022). Strengthening country-led water and sanitation services monitoring and data use for decision-making: lessons from WaterAid experience in four countries. *H2Open Journal*, 5(2), 348–364. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.028>
- Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>
- Lino, L. J. (2022). *Microplásticos en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu* [trabajo de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- López-Aguirre, J., Pomaquero-Yuquilema, J., & López-Salazar, J. (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba. *Polo del Conocimiento*, 5(12), 725-742.
- Lots, F. A. E., Behrens, P., Vijver, M. G., Horton, A. A., & Bosker, T. (2017). A large-scale investigation of microplastic contamination: Abundance and characteristics of microplastics in European beach sediment. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1–2), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.08.057>
- Luis Torres Bayona Director, J., & Javier Bayo Bernal Jose Luis Torres Bayona Grado de Ingeniería Civil, F. (2013). TRABAJO Fin de Grado Los microplásticos como transportadores de metales pesados en agua: Estudio Cinético.
- Luo, W., Su, L., Craig, N. J., Du, F., Wu, C., & Shi, H. (2019). Comparison of microplastic pollution in different water bodies from urban creeks to coastal waters. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 246, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.081>
- Lusher, A. L., Welden, N. A., Sobral, P., & Cole, M. (2017). Sampling, isolating and identifying microplastics ingested by fish and invertebrates. *Analytical Methods: Advancing Methods and Applications*, 9(9), 1346–1360. <https://doi.org/10.1039/c6ay02415g>
- Manrique, R. E. (2019). *Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque*. [tesis de magister]. Pontificia Universidad Católica.

- Martínez Silva, P., & Nanny, M. A. (2020). Impact of microplastic fibers from the degradation of nonwoven synthetic textiles to the Magdalena river water column and river sediments by the city of Neiva, huila (Colombia). *Water*, 12(4), 1210. <https://doi.org/10.3390/w12041210>
- Micropl, L. O. S., En, S., Pesca, L. A., & Acuicultura, L. A. (2018). Comité de pesca.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Resolución 0668 del 2016. Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.*
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Resolución 1407 de 2018. Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones.*
- Morillo L, Martínez V. (2021). *Efectos potenciales de los microplásticos en la salud humana* [trabajo de fin de grado]. Universidad de Sevilla
- Murphy, F., Ewins, C., Carbonnier, F., & Quinn, B. (2016). Wastewater Treatment Works (WwTW) as a Source of Microplastics in the Aquatic Environment. *Environmental Science and Technology*, 50(11), 5800-5808. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05416>
- Naspud, P. V., & Zhiñin, M. A. (2022). *Evaluación de la Contaminación de los Microplásticos en las juntas de agua de los cantones* [tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Newrick, B. A. (2023). *Degradación de Microplásticos procedentes de Envases alimentarios Mediante el Empleo de Microorganismos* [Trabajos Fin de Máster]. Universidad de Oviedo.
- Nurhasanah M., Riani E. (2021) Micro-and mesoplastics reléase from the Indonesian municipal solid waste landfill leachate to the aquatic environment: Case study in Galuga Landfill Area, Indonesia, *Marine Pollution Bulletin*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111986>.
- Núñez-Colín, C. A. (2019). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta agrícola y pecuaria*, 4(3). <https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.3/1>
- Oni, B. A., & Sanni, S. E. (2022). Occurrence of microplastics in borehole drinking water and sediments in Lagos, Nigeria. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 41(7), 1721–1731. <https://doi.org/10.1002/etc.5350>
- Organización Mundial de la Salud (2019). *La OMS anima a investigar sobre los microplásticos y a reducir drásticamente la contaminación por plásticos.* <https://www.who.int/es/news/item/22-08-2019-who-calls-for-more-research-into-microplastics-and-a-crackdown-on-plastic-pollution#>
- Organización de las Naciones Unidad (2023). *Microplásticos: consecuencias históricas de la contaminación por plásticos.* <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/microplasticos-consecuencias-historicas-de-la-contaminacion-por>

- Otero, D. M. (2022). Microplásticos en el Sistema Digestivo de los Peces *Opisthonema oglinum*, *Mugil spp.* y *Caranx crysos*, Capturados en la Zona Costera del Magdalena [trabajo de fin de grado]. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Pazos, R. S. (2021). *Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata* [tesis de doctorado]. Universidad Nacional de La Plata.
- Peng, C., Zhang, X., Li, M., Lu, Y., Liu, C., & Wang, L. (2023). Source apportionment of microplastics in indoor dust: Two strategies based on shape and composition. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 334(122178), 122178. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122178>
- Peralta-Peláez, Luis Alberto, Peña-Montes, Carolina, Hermida-Castellanos, Leandro, Huerta-Quero, Oswaldo de Jesús, Hernández-Álvarez, Cecilia, Mejía-Estrella, Ixchel Alejandra, & Sulbarán-Rangel, Belkis. (2023). Microplásticos en playas de la zona de influencia del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), México. *Hidrobiológica*, 33(2), 231-242. Epub 13 de mayo de 2024. <https://doi.org/10.24275/khdd6042>
- Porras, M. A. P. (2021). *Caracterización de Micro y Mesoplásticos y su Asociación con Biopelículas en el Humedal Gualí (Funza, Cundinamarca)* [tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Javeriana.
- Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Effects of microplastics on microalgae populations: A critical review. *The Science of the Total Environment*, 665, 400–405. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.132>
- Puentes, C. L., & Ramos, D. L. (2021). *Evaluación y caracterización del contenido de microplásticos en el estiércol de ganado caprino en el desierto de la Tatacoa y vereda de Polonia municipio de Villavieja* [tesis de pregrado]. 14-15. Corporación Universitaria del Huila – Corhuila
- Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista peruana de biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>
- Quispe, A., Calla, K., Yangali, J., Rodríguez, J., & Pumacayo, I. (2022). Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, MINITAB Y EXCEL. (1.a ed.). *Eidec*.
- Quinteros, K. S. (2022). *Detección de Microplartículas de Plástico en El Sistema de Potabilización de Agua “Mahuarca” de La Ciudad de Azogues, Ecuador* [tesis de pregrado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Rosas, J y Pedraz, J. (2007). *Microesferas de plga: un sistema para la liberación controlada de moléculas con actividad inmunogénica*. *Revista Colombiana de Ciencias Químico Farmacéuticas*.

- Roncancio, D. P. (2015) *Estudio sobre la aplicación de las Técnicas de Filtración por Membrana a los sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales* [tesis de pregrado]. Universidad La Gran Colombia.
- Salvador Tutor de EDMAKTUB: Dr. Eduard Degollada Vic, Setiembre, 2016. Barrows, A. P. W., Cathey, S. E., & Petersen, C. W. (2018). Marine environment microfiber contamination: Global patterns and the diversity of microparticle origins. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 237, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.062>
- Sánchez, S. L., Grelaud, M., Garcia, J., & Ziveri, P. (2019). River Deltas as hotspots of microplastic accumulation: The case study of the Ebro River (NW Mediterranean). *The Science of the Total Environment*, 687, 1186–1196. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.168>
- Sandoval, J., Verónica Esperanza Melara, Christoph, R., Ángel Cruz Hernández, Muñoz, R., Wolfgang Büscher, Luna, J., Edward, J., & Andoni Arrieta Rodríguez. (2021). Microplásticos en agua superficial de la costa de El Salvador. *Realidad Y Reflexión*, 54(54), 140–155. <https://doi.org/10.5377/ryr.v54i54.12072>
- Shruti, V. C., Jonathan, M. P., Rodriguez-Espinosa, P. F., & Rodríguez-González, F. (2019). Microplastics in freshwater sediments of Atoyac River basin, Puebla City, Mexico. *Science of the Total Environment*, 654, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.054>
- Sol, D., Menéndez-Manjón, A., Carrasco, S., Crisóstomo-Miranda, J., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2023). Contribution of household dishwashing to microplastic pollution. *Environmental Science and Pollution Research International*, 30(15), 45140–45150. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25433-7>
- Solodkow, D. (2015). ¿Para dónde va el río Magdalena? Riesgos sociales, ambientales y económicos del proyecto de navegabilidad. *Friedrich-Ebert-Stiftung en Colombia (Fescol)*.
- Tasnim, J., Ahmed, M. K., Hossain, K. B., & Islam, M. S. (2023). Spatiotemporal distribution of microplastic debris in the surface beach sediment of the southeastern coast of Bangladesh. *Heliyon*, 9(11), e21864. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21864>
- TecnoAqua. (2019). Microplásticos en aguas: presencia, investigación e incidencia sanitaria sobre el ser humano. *Revista TecnyAgua*, 21(3), 1-12.
- Tejada, C., Quiñones, E., & Peña, M. (2014). Contaminantes Emergentes En Aguas: Metabolitos De Fármacos. Universidad Militar Nueva Granada, 1-48. <https://doi.org/10.18359/rfcb.341>
- Tituchina, L. M. (2019). *Determinación de la presencia de microplásticos en bebidas refrescantes*. Universidad Central del Ecuador.

- Unión Europea (2018), Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al consejo sobre el impacto en el medio ambiente del uso de plásticos exodegradables, incluidas las bolsas de plástico codegradables. Bélgica, Bruselas.
- United States Environmental Protection Agency (EPA) - Ley de Agua Limpia (CWA). (1972). *Establece la estructura básica para regular las descargas de contaminantes en las aguas de los Estados Unidos y regular los estándares de calidad para las aguas superficiales.*
- United States Environmental Protection Agency (EPA) - Ley de Prevención de la Contaminación (PPA). (1990). *Avalan el enfoque de la EPA sobre la reducción del origen en especial, la disminución del uso de embalaje desechable de un solo uso y ley de conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) (1976) regula la generación, tratamiento, almacenamiento, transporte y disposición de desechos sólidos*
- Van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbens, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in sediments: A review of techniques, occurrence and effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>
- Vidal, L., Molina Sandoval, A. E., & Duque, G. (2021). Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico colombiano. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 50(2), 113–132. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemmar.2021.50.2.1032>
- Villa, F. L. H. (2019). *Metodología de espectroscopía infrarroja como apoyo para la determinación de grupos funcionales en hidrocarburos* [trabajo de pregrado]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Watkins, L., McGrattan, S., Sullivan, P. J., & Walter, M. T. (2019). The effect of dams on river transport of microplastic pollution. *Science of The Total Environment*, 834-840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.028>
- Wang, J., Tan, Z., Peng, J., Qiu, Q., & Li, M. (2016). The behaviors of microplastics in the marine environment. *Marine Environmental Research*, 113, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.014>
- Wang, W., & Wang, J. (2018). Investigation of microplastics in aquatic environments: An overview of the methods used, from field sampling to laboratory analysis. *Trends in Analytical Chemistry: TRAC*, 108, 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.026>
- Wang, Bo., Qingwei., Juncheng., Jiawen. (2023). Fuentes, distribución y efectos ambientales de los microplásticos: una revisión sistemática, Chongqing, China, Academia de Investigación de Ecología y Ciencias Ambientales de Chongqing DOI: 10.1039/D3RA02169F
- Huang, W., Song, B., Liang, J., Niu, Q., Zeng, G., Shen, M., Deng, J., Luo, Y., Wen, X., & Zhang, Y. (2021). Microplastics and associated contaminants in the aquatic environment: A review on their ecotoxicological effects, trophic transfer, and potential impacts to

- human health. *Journal of Hazardous Materials*, 405(124187), 124187.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124187>
- Wen, S., Yu, C., Lin, F., & Diao, X. (2022). Comparative assessment of microplastics in surface water and sediments of Meishe River, Haikou, China. *Sustainability*, 14(20), 13099. <https://doi.org/10.3390/su142013099>
- Yan, M., Yang, J., Sun, H., Liu, C., & Wang, L. (2022). Occurrence and distribution of microplastics in sediments of a man-made lake receiving reclaimed water. *The Science of the Total Environment*, 813(152430), 152430.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152430>
- Yin, L., Wen, X., Huang, D., Zhou, Z., Xiao, R., Du, L., Su, H., Wang, K., Tian, Q., Tang, Z., & Gao, L. (2022). Abundance, characteristics, and distribution of microplastics in the Xiangjiang river, China. *Gondwana Research: International Geoscience Journal*, 107, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2022.01.019>
- Yona, D., Setyawan, F. O., Putri, S. E. N., Iranawati, F., Kautsar, M. A., & Isobe, A. (2023). Microplastic distribution in beach sediments: Comparison between the north and south waters of east Java Island, Indonesia. *Jurnal ilmiah perikanan dan kelautan*, 15(2), 303–315. <https://doi.org/10.20473/jipk.v15i2.41065>
- Yu, F., Pei, Y., Zhang, X., Wu, X., Zhang, G., & Ma, J. (2023). Occurrence and distribution characteristics of aged microplastics in the surface water, sediment, and crabs of the aquaculture pond in the Yangtze River Delta of China. *The Science of the Total Environment*, 871(162039), 162039. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162039>

11. ANEXOS

Ilustración 3.

Desechos al borde del río.



Nota. Se puede observar cómo comunidades aledañas depositan sus desechos al borde del río.

Ilustración 4.

Vertimientos



Nota. Vertimientos observados en la salida de Campo.

Ilustración 5.

Recolección de muestras.



Nota. Paso a paso de la recolección de muestras.

Ilustración 6.

Fase de laboratorio.



Nota. El proceso de separación de microplásticos, según la metodología, se desarrolla en siete etapas. Primero, las muestras se someten a un proceso de secado (1) para eliminar la humedad. Luego, se realiza el tamizado (2) para clasificar las partículas según su tamaño, seguido del pesado (3) para determinar la masa inicial. Posteriormente, se lleva a cabo la adición de una solución hipersalina (4), la cual facilita la separación al disolver materiales no plásticos y permitir que los microplásticos se separen por densidad. Después, las muestras disueltas en la solución se someten al filtrado (5) utilizando un filtro de celulosa para capturar los

microplásticos presentes. Finalmente, los residuos retenidos en el filtro se someten a un secado final (6) para su posterior análisis.

Ilustración 7.

Participación en Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación

