

Microplásticos en cuerpos de agua continentales: Revisión de literatura sobre impactos y estrategias de mitigación desde la perspectiva de la ingeniería agroindustrial

Microplastics in continental water sources: literature review of impacts and mitigation strategies from the perspective of agroindustrial engineering

Ana Isabel Gamarra- Jiménez ^a; Margarita del Rosario Salazar- Sánchez ^b;

^a Estudiante ingeniería agroindustrial, Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica. Aguachica, Colombia; aigamarra@unicesar.edu.co

^b Doctora en Ciencias Agrarias y Agroindustriales. Universidad del Cauca, Popayán, Colombia; mdsalazar@unicauca.edu.co

Autor Corresponsal: mdsalazar@unicauca.edu.co

Recibido: Mayo 06, 2024. Aceptado: Junio 13, 2024. Publicado: Junio 21, 2024

Resumen

La investigación sobre microplásticos es esencial debido a su impacto global en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. A pesar del reconocimiento del problema, persiste una brecha en la comprensión y mitigación de estos contaminantes en cuerpos de agua continentales. Este estudio tiene como objetivo analizar el estado del conocimiento sobre la presencia, impacto y estrategias de mitigación de microplásticos desde la perspectiva de la ingeniería agroindustrial. Se utilizó una metodología cualitativa sistemática para revisar la literatura científica, utilizando criterios específicos de inclusión en diversas bases de datos bibliográficas, centrandose en la ecuación de búsqueda microplastic AND freshwater. Los resultados revelan que la contaminación por microplásticos es un problema complejo y multifacético, con diversas fuentes de emisión que afectan a los ecosistemas acuáticos y terrestres. Actividades industriales, agrícolas, turísticas y domésticas contribuyen a la liberación de microplásticos en el medio ambiente. Comprender estas fuentes es esencial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y remoción, como la reducción de su generación, el reciclaje de los existentes y la inmovilización para prevenir su dispersión. La adopción de prácticas agrícolas sostenibles y sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales es crucial en este proceso. La evaluación de estas estrategias mediante modelos matemáticos considerando la cantidad y tipo de microplásticos generados, así como su impacto ambiental. La implementación exitosa requiere la colaboración con agricultores y ganaderos para promover prácticas más sostenibles. Aunque se presentan ejemplos de implementación, es importante reconocer las limitaciones y seguir investigando en conjunto con los actores relevantes para encontrar soluciones más efectivas y sostenibles.

Palabras clave: Microplástico; Agroindustria; Impacto; Mitigación.

Abstract

Microplastic research is essential because of their global impact on aquatic ecosystems and human health. Despite the recognition of the problem, there remains a gap in the understanding and mitigation of these pollutants in inland water bodies. This study aims to analyse the state of knowledge on the presence, impact, and mitigation strategies of microplastics from an agro-industrial engineering perspective. A systematic qualitative methodology was employed to review the scientific literature, using specific inclusion criteria in various bibliographic databases, focusing on the search equation microplastic AND freshwater. The results reveal that microplastic pollution is a complex and multifaceted problem, with diverse emission sources affecting aquatic and terrestrial ecosystems. Industrial, agricultural, tourism and domestic activities all contribute to the release of microplastics into the environment. Understanding these sources is essential to develop effective mitigation and removal strategies, such as reducing their generation, recycling existing ones and immobilization to prevent their dispersal. The adoption of sustainable agricultural practices and efficient wastewater treatment systems is crucial in this process. The evaluation of these strategies through mathematical modelling considering the amount and type of microplastics generated, as well as their environmental impact. Successful implementation requires collaboration with farmers and ranchers to promote more sustainable practices. Although examples of implementation are presented, it is important to recognize the limitations and to further research together with relevant stakeholders to find more effective and sustainable solutions.

Keywords: Microplastic; Agro-industry; Impact; Mitigation..

1. Introducción

En la actualidad, los plásticos se han destacado como uno de los principales agentes contaminantes, lo que ha suscitado

inquietudes en cuanto a su impacto ambiental debido a la gran cantidad de residuos que se generan [1], Además de las preocupaciones relacionadas con los desechos plásticos de

mayor tamaño, ha surgido una categoría que ha ganado relevancia en los últimos años: los microplásticos (MP), que se caracterizan por ser partículas de plástico de tamaño reducido.

Los microplásticos se dividen en dos categorías: primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son partículas plásticas de reducido tamaño que son manufacturadas y empleadas en productos de limpieza, artículos de cuidado personal y cosméticos, siendo liberadas directamente al entorno. Por otro lado, los microplásticos secundarios se generan a partir de la descomposición de plásticos más grandes, que se fragmentan en pequeños trozos al entrar en contacto con el medio marino. Este proceso resulta de la foto degradación y otros métodos de deterioro de estructuras mal gestionadas, como bolsas de plástico descartadas o pérdidas involuntarias, como las redes de pesca [2].

El tema de los microplásticos en los cuerpos de agua continentales ha captado considerable atención en los últimos años, debido a su pertinencia en el contexto actual y las posibles implicaciones que plantea para diversos ecosistemas y la salud humana. Los microplásticos son diminutas partículas de plástico que tienen un tamaño inferior a 5 mm [3]. Estas partículas pueden ingresar a los sistemas de agua dulce a través de diversas fuentes, que incluyen procesos industriales, escorrentías urbanas y la descomposición de residuos plásticos. La extensa producción y consumo de plástico a nivel mundial ha generado un preocupante aumento en la presencia de microplásticos en los entornos de agua dulce, lo cual requiere atención inmediata debido a sus consecuencias a largo plazo [4].

Uno de los aspectos clave que hace que el asunto de los microplásticos en los sistemas de agua dulce sea particularmente importante es su ubicuidad y persistencia [5]. Se han identificado microplásticos en cuerpos de agua continentales de todo el mundo, como ríos, lagos e incluso fuentes subterráneas [6]. Debido a su pequeño tamaño y capacidad para mantenerse flotando en el agua durante largos períodos, resulta complicado eliminarlos o filtrarlos. Además, su resistencia a la descomposición conlleva su acumulación con el tiempo, lo que origina concentraciones elevadas en áreas específicas [7].

El hecho de que los microplásticos puedan penetrar incluso en los sistemas de agua dulce más remotos y prístinos destaca la universalidad de este problema y subraya la urgente necesidad de abordarlo. Desde la perspectiva de la ingeniería agroindustrial, existen diversas medidas que pueden aplicarse para disminuir la presencia de microplásticos en los cuerpos de agua continentales. Estas estrategias engloban la gestión adecuada de los residuos plásticos, la reducción del uso de microplásticos en productos de cuidado personal y la implementación de tecnologías de tratamiento de agua capaces de filtrar los microplásticos [8].

Este estudio tiene como propósito proporcionar una revisión integral de los efectos de los microplásticos en los cuerpos de agua continentales y las estrategias para reducir su presencia, desde una perspectiva agroindustrial tuvo como objetivo. En primer lugar, la comprensión de los efectos negativos que los microplásticos tienen sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana. Estas diminutas partículas de plástico, generadas a partir de diversos productos y procesos, representan una amenaza para la vida en el agua y plantean preocupaciones de salud al integrarse en la cadena alimentaria. En segundo lugar, las estrategias de mitigación que abarcan desde la filtración de aguas residuales hasta la educación pública, incluyendo enfoques innovadores como la degradación biológica o química de los microplásticos. Además, se resalta la importancia de este tema para la ingeniería agroindustrial, subrayando su influencia en la producción de alimentos. Por último, se señala el potencial impacto de la monografía en la formulación de políticas y regulaciones efectivas, así como en la promoción de la colaboración interdisciplinaria, enriqueciendo de esta manera la comprensión y la búsqueda de soluciones sostenibles en el ámbito de la ingeniería agroindustrial.

2. Método y materiales

El método propuesto para este estudio fue de tipo cuantitativo a partir de datos cualitativos, para investigar los antecedentes y documentación técnica, se implementó la metodología que se fundamenta en la revisión exhaustiva de la literatura científica existente especializada en microplásticos y su impacto ambiental y estrategias de mitigación.

Para este propósito, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- 1) La inclusión de artículos que investigaran microplástico, independientemente de su tipo y composición;
- 2) La consideración de artículos que informaran acerca de su impacto en la cadena alimentaria, agua;
- 3) Se abordaron estudios de casos previos relacionados con la detección de micro plásticos; y
- 4) Se admitieron estudios de cualquier diseño, a excepción de los artículos de opinión. Se excluyeron los artículos publicados en idiomas distintos al inglés o español.

La revisión sistemática de la literatura se realizó a través de diferentes fuentes de información secundaria y terciaria (artículos de investigación, tesis de doctorado y maestría, Google académico), apoyándose en las bases de datos de Scopus, Web of Science y Scielo, contemplando que cuentan con una amplia gama de fuentes de información reconocidas en el contexto académico. En cada una de las bases de datos, se implementó una estrategia de búsqueda utilizando la ecuación *microplastic AND freshwater*, abarcando términos claves como: Transferencia trófica, Contaminantes, microplásticos, Impacto medioambiental, basura marina, aguas continentales, biorremediación, mitigación. Se recopiló información de investigaciones realizadas en el período comprendido entre 2010 y 2023.

Tabla 1. Proceso de búsqueda y selección de documentos.

Fuente: autora

Parámetro	Valor	Descripción
Ecuación de búsqueda	Microplastic AND fresh water	La ecuación de búsqueda se utiliza para encontrar artículos relevantes en las bases de datos.
Bases de datos	Scopus, Web of Science, Scielo, Google Académico	Las bases de datos son colecciones de artículos científicos que se pueden consultar electrónicamente.
Criterios de inclusión		
* Tipo de trabajo:	artículos científicos, revisiones, capítulos de libros, libros	Los artículos deben ser de tipo científico, revisión, capítulo de libro o libro.
* Año de publicación:	de 2014-2023	Los artículos deben haber sido publicados entre 2010 y 2023.
* Idioma:	español, inglés	Los artículos deben estar escritos en español o inglés.
Exclusiones		
* Palabras clave no relevantes	Los artículos que contienen palabras clave no relevantes se excluyen de la revisión.	
Total de documentos:	530	El total de documentos que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusiones fue de 530.

El diagrama de flujo muestra que, de las 530 publicaciones relevantes sobre microplásticos y prácticas agroindustriales, solo 50 cumplen con los criterios establecidos para este estudio.

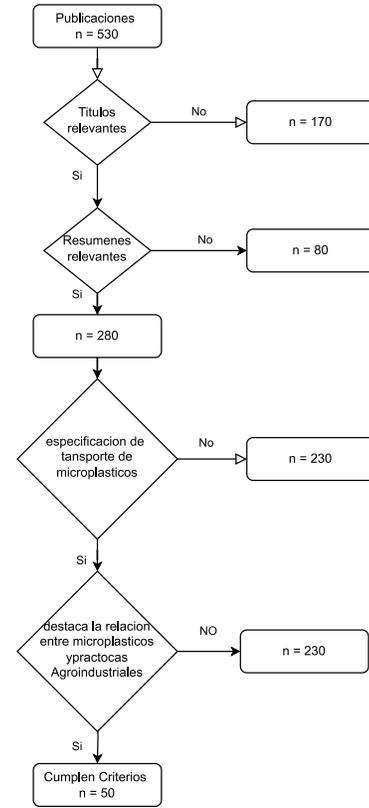


Figura1 Diagrama del flujo de trabajo para buscar y seleccionar documentos.

3. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la revisión sistemática.

3.1 Fuentes de liberación de microplásticos

Este tipo de liberación en cuerpos de agua continentales y su proceso físico y biológico que facilitan su transporte a lo largo de los ecosistemas acuáticos.

La Tabla 2 destaca diversas fuentes de emisión de microplásticos en sistemas de agua continentales y los procesos físicos y biológicos que facilitan su transporte a lo largo de los ecosistemas acuáticos, en este sentido a continuación se describe la acción de cada fuente (Figura 2).

Tabla 2. Fuentes de emisión de microplásticos en sistemas de agua continentales.

Fuente	Tipo de residuo	Impacto	Porcentaje	Medio ambiente	Referencia
Industria textil	Fibras sintéticas y microperlas	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, contaminación del medio ambiente terrestre, impacto en la salud humana	45%	Agua	Kosuth et al., 2018
Productos de cuidado personal y limpieza	Microperlas	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, contaminación del medio ambiente terrestre, impacto en la salud humana	10%	Agua	Browne, 2011
Películas plásticas de cobertura	Microplásticos	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, contaminación del medio ambiente terrestre	15%	Agua	Boots et al., 2019
Herramientas de riego	Partículas de plástico	Problemas de gestión de residuos, alteración de hábitats acuáticos	5%	Agua	Blasing, 2018
Desgaste de neumáticos	Microplásticos	Contaminación del aire, acumulación en el entorno terrestre y acuático	5%	Aire, agua, suelo	Kumar et al., 2020
Plantas de tratamiento de aguas residuales	Microplásticos	Efectos adversos en los organismos y en la cadena alimentaria	10%	Agua	Galafassi et al., 2019
Actividad turística	Envases de plástico, productos de cuidado personal, equipos de pesca y actividades acuáticas	Problemas de salud e incluso la muerte a la vida marina	10%	Agua	Barnes, 2009
Fragmentación de plásticos más grandes	Microplásticos	Afectación en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos	10%	Agua	Guo et al., 2020
Pesca	Equipos y redes de pesca	Liberación de sustancias químicas tóxicas, daño a la vida acuática	5%	Agua	Lusher et al., 2017
Agricultura	Microplásticos	Crecimiento y la producción de los cultivos	10%	Suelo	Jambeck et al., 2015
Procesos industriales	Microplásticos	Impacto negativo en la biodiversidad y la salud humana	10%	Aire, agua, suelo	Lassen et al., 2015
Residuos domésticos	Fragmentos de productos plásticos	Afecta la calidad del agua, salud humana, cadena alimentaria	10%	Agua	Barboza, et al., 2018

La industria textil es una fuente importante de microplásticos, que se liberan en los sistemas acuáticos a través de la liberación de fibras sintéticas y microperlas a partir de textiles y ropa cotidiana [9,10] han examinado esta emisión, destacando materiales como el poliéster, nylon y acrílico, comúnmente utilizados en prendas de vestir y otros textiles. Durante el uso y cuidado de estos productos, las fibras sintéticas se desprenden debido a la abrasión mecánica del lavado, secado y desgaste normal, ingresando a los cuerpos de agua a través de aguas residuales domésticas e industriales, contribuyendo así a la carga de microplásticos en los ecosistemas acuáticos.

Los productos de aseo personal, artículos de limpieza y cosméticos también liberan microplásticos en los sistemas acuáticos [11]. En este sentido las microperlas que son pequeñas partículas esféricas de plástico que se utilizan en una variedad de productos, como exfoliantes faciales, geles de ducha, productos para el cabello, detergentes para ropa y también pueden estar presentes en acabados especiales aplicados a ciertos tejidos para mejorar la resistencia al agua, la elasticidad o la suavidad.

Las herramientas de riego agrícola agitan y movilizan microplásticos presentes en el suelo, con el viento como otro factor de transporte [12]. Durante el proceso de riego, estas

herramientas pueden agitar y desplazar partículas de suelo, incluidos los microplásticos que se encuentran en la superficie o cerca de la capa superior del suelo. En el riego por aspersión, el agua se pulveriza sobre la superficie del suelo en forma de gotas finas a través de aspersores o rociadores. El impacto de estas gotas de agua sobre la superficie del suelo puede causar la agitación y la remoción de partículas de suelo, incluidos los microplásticos. Además, el flujo de agua durante el riego por aspersión puede transportar estos microplásticos suspendidos en el agua y redistribuirlos en áreas circundantes, incluidos los cuerpos de agua cercanos. En el riego por goteo, el agua se suministra directamente a las raíces de las plantas a través de un sistema de tuberías y emisores de goteo. Aunque el riego por goteo minimiza la agitación del suelo en comparación con el riego por aspersión, aún puede ocurrir cierta movilización de microplásticos debido al flujo de agua a través del suelo y la actividad de las raíces de las plantas. Además, el agua de riego puede disolver y transportar microplásticos adheridos a las partículas de suelo, lo que contribuye a su redistribución en el entorno agrícola.

La lluvia arrastra partículas de goma del desgaste de neumáticos, y el viento también puede transportarlas hacia cuerpos de agua [13], estas partículas pueden ser transportadas hacia cuerpos de agua a través de dos vías

principales: la escorrentía superficial durante eventos de lluvia y la erosión eólica.

-Las plantas de tratamiento de aguas residuales emiten microplásticos directa e indirectamente en ecosistemas acuáticos [14]. Esto puede deberse a que los microplásticos son demasiado pequeños para ser eliminados eficazmente por los procesos de sedimentación, flotación y filtración utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Como resultado, los microplásticos pueden pasar a través del proceso de tratamiento y ser liberados directamente en los cuerpos de agua receptores junto con el efluente tratado.

La actividad turística introduce microplásticos directamente a través del uso de productos de cuidado personal y contribuye con residuos plásticos que se transportan por el viento, la lluvia y cursos de agua naturales, [15] estudió esta fuente de emisión.

Los plásticos más grandes se fragmentan generando microplásticos que ingresan a través de la escorrentía pluvial y por el viento, [16] estudiaron este proceso. Así mismo, la pesca también libera microplásticos debido al desgaste de equipos y redes, así como la pérdida accidental de objetos y microfibras de la ropa de los pescadores, [17] estudiaron esta fuente de emisión. Por último, la agricultura es una fuente de microplásticos debido a la escorrentía y erosión desde campos agrícolas, así como a la liberación de microplásticos a través del uso de residuos agrícolas como fertilizantes, [3] estudiaron esta fuente de emisión.

Los procesos industriales contribuyen a la contaminación de los sistemas acuáticos a través de la liberación directa de aguas residuales industriales, la escorrentía de áreas industriales con productos de plástico y residuos plásticos, y la dispersión de microplásticos liberados en el aire por procesos industriales, [18] estudiaron esta fuente de emisión. Los residuos domésticos, cuando se gestionan de manera inadecuada, también pueden transportar microplásticos a los sistemas acuáticos a través de la escorrentía de aguas pluviales y la liberación de fragmentos de productos plásticos, [19] estudiaron esta fuente de emisión.

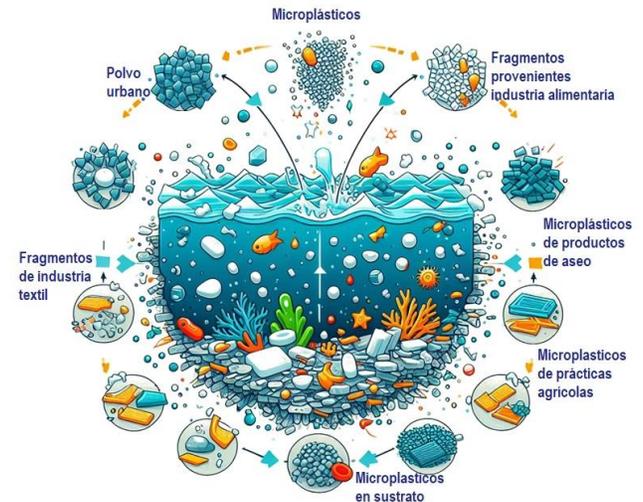


Figura 2. Algunas fuentes generadoras de microplásticos
Elaboro Margarita Salazar, 2024.

Los microplásticos producidos por estas actividades pueden tener una variedad de impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana [20]. Estos impactos incluyen:

- Contaminación del agua: los microplásticos pueden contaminar las aguas superficiales y subterráneas, lo que puede tener un impacto negativo en la vida acuática, la salud humana y los ecosistemas.
- Daño a la vida acuática: los microplásticos pueden ser ingeridos por la vida acuática, lo que puede causar daños físicos, como lesiones en el tracto digestivo, y también puede transmitir toxinas a los organismos que los consumen.
- Contaminación del medio ambiente terrestre: los microplásticos pueden contaminar el suelo y el aire, lo que puede tener un impacto negativo en la biodiversidad y la salud humana.
- Impacto en la salud humana: los microplásticos pueden ingresar a la cadena alimentaria humana a través de los alimentos y el agua, y se ha demostrado que pueden tener efectos nocivos en la salud humana, como problemas reproductivos, inmunológicos y neurológicos.

3.2 Tipos de impacto

Los impactos ambientales de los microplásticos en los ecosistemas acuáticos y en la cadena alimentaria, enfatizando las interacciones entre la contaminación plástica y las actividades agroindustriales. La Tabla 3 resume la información sobre las fuentes de emisión de microplásticos y sus impactos. El gráfico muestra que una amplia gama de actividades humanas contribuye a la contaminación por microplásticos. Los microplásticos producidos por estas actividades pueden tener una variedad de impactos negativos en el medio ambiente y la salud humana.

Tabla 3. Impactos de microplástico.

Fuente de emisión	Tipo de microplástico	Impactos
Industria textil	Fibras sintéticas y microperlas	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, contaminación del medio ambiente terrestre, impacto en la salud humana
Productos de cuidado personal y limpieza	Microperlas	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, impacto en la salud humana
Agricultura	Películas plásticas de cobertura, herramientas de riego, desgaste de neumáticos, erosión de suelos	Contaminación del agua, daño a la vida acuática, contaminación del medio ambiente terrestre
Pesca	Equipos y redes de pesca, microfibras de la ropa de los pescadores	Contaminación del agua, daño a la vida acuática
Actividad turística	Productos de cuidado personal, residuos plásticos	Contaminación del agua, daño a la vida acuática
Residuos domésticos	Fragmentos de productos plásticos	Contaminación del agua, daño a la vida acuática
Procesos industriales	Aguas residuales industriales, escorrentía de áreas industriales, dispersión de microplásticos en el aire	Contaminación del agua, daño a la vida acuática

De los impactos generados por procesos agroindustriales que generan microplásticos se destacan los siguientes:

3.2.1 Aguas Residuales Industriales (ARI):

Las Aguas Residuales Industriales se generan como subproducto de procesos industriales en una amplia variedad de sectores, como la industria química, farmacéutica, textil, alimentaria y manufacturera entre otros [21]. Estas aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes, incluidos los microplásticos, que provienen de actividades como la limpieza de maquinaria, el lavado de productos, la eliminación de residuos y el tratamiento de superficies con materiales plásticos [22]. Los microplásticos presentes en las Aguas Residuales Industriales pueden ser liberados directamente en cuerpos de agua receptores a través de los vertidos industriales, o pueden pasar inadvertidos a través de los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales y ser liberados junto con el efluente tratado [23]. Esta liberación directa o indirecta de microplásticos desde las Aguas Residuales Industriales contribuye significativamente a la contaminación por microplásticos en los ecosistemas acuáticos.

3.2.2 Escorrentía de Áreas Industriales:

La escorrentía de áreas industriales se refiere al flujo de agua superficial que se genera cuando llueve sobre áreas industriales, como parques industriales, plantas de fabricación y zonas de almacenamiento de materiales [24]. Durante eventos de lluvia, el agua puede arrastrar microplásticos y otros contaminantes presentes en el suelo, pavimento y áreas de almacenamiento, llevándolos hacia

sistemas de drenaje pluvial y cuerpos de agua cercanos. Además, los vertidos directos de materiales plásticos y productos de desecho en áreas industriales pueden contribuir a la contaminación por microplásticos en el entorno industrial y, posteriormente, en los ecosistemas acuáticos.

3.3.3 Dispersión de Microplásticos en el Aire:

La dispersión de microplásticos en el aire puede ocurrir como resultado de varias actividades industriales y urbanas, así como procesos naturales. Las operaciones industriales que implican la manipulación, procesamiento y transporte de materiales plásticos pueden generar partículas de microplásticos que pueden ser liberadas al aire [25]. Además, la degradación de plásticos expuestos a la intemperie, la abrasión de neumáticos de vehículos y la descomposición de productos plásticos desechados en el medio ambiente también pueden contribuir a la generación de microplásticos en el aire [26]. Estas partículas de microplásticos pueden ser transportadas por el viento a largas distancias antes de depositarse en el suelo, cuerpos de agua o áreas urbanas, lo que contribuye a la contaminación generalizada por microplásticos en el medio ambiente.

3.4 Tecnologías y enfoques

Las tecnologías y enfoques propuestos desde la ingeniería agroindustrial para la mitigación y remoción efectiva de microplásticos en cuerpos de agua continentales.

3.4.1 Reducción de la generación de microplásticos

Entre estas acciones se tienen la reducción de la generación de microplásticos como la estrategia más eficaz para mitigar la contaminación por microplásticos [27]. Desde la perspectiva de la ingeniería agroindustrial, se pueden implementar las siguientes medidas: Así mismo. La reducción del uso de plásticos de un solo uso: Los plásticos de un solo uso son una de las principales fuentes de microplásticos en la agroindustria. Se pueden sustituir estos plásticos por materiales alternativos, como el papel o el cartón.

También, la mejora de la gestión de los residuos plásticos, donde los residuos plásticos que no se gestionan adecuadamente pueden liberar microplásticos al medio ambiente. Se deben establecer sistemas de recogida y reciclaje de residuos plásticos eficientes [28]. Y la reducción del uso de productos cosméticos y de limpieza que contienen microplásticos ya que estos productos liberan microplásticos al medio ambiente a través del agua residual. Se deben promover alternativas que no contengan microplásticos.

3.4.2 Recuperación y reciclaje de microplásticos

La reducción de la generación de microplásticos es la estrategia más eficaz para mitigar la contaminación por microplásticos. Las siguientes medidas podrían implementarse desde la perspectiva de la ingeniería agroindustrial para reducir la generación de microplásticos

son: la sustitución de plásticos de un solo uso, debido a que los plásticos de un solo uso son una de las principales fuentes de microplásticos en la agroindustria. Se pueden sustituir por materiales alternativos, como el papel o el cartón, para los envases, embalajes y otros productos. Por ejemplo, los plásticos de invernadero se pueden sustituir por materiales biodegradables, como la madera o el bambú [29]. Los plásticos de mulching se pueden sustituir por materiales naturales, como la paja o el mantillo de corteza. Los plásticos de embalaje se pueden sustituir por materiales reciclados o compostables [30].

También, la optimización de la gestión de los residuos plástico, en la que los residuos plásticos que no se gestionan adecuadamente pueden liberar microplásticos al medio ambiente. Se deben establecer sistemas de recogida y reciclaje de residuos plásticos eficientes, o se pueden establecer sistemas de recogida puerta a puerta de residuos plásticos. Se pueden instalar contenedores de reciclaje de residuos plásticos en los centros de población. Se pueden establecer sistemas de compostaje de residuos orgánicos [31]. Y pueden plantearse la reducción del uso de productos cosméticos y de limpieza que contienen microplásticos, debido a que estos productos liberan microplásticos al medio ambiente a través del agua residual. Se deben promover alternativas que no contengan microplásticos. En lo que se plantear el uso productos cosméticos y de limpieza que se basan en ingredientes naturales [32]. Se pueden utilizar productos cosméticos y de limpieza que están envasados en materiales reciclables.

3.4.3 Recuperación y reciclaje de microplásticos

La recuperación y el reciclaje de microplásticos existentes también pueden contribuir a mitigar la contaminación por microplásticos [33]. Las siguientes medidas podrían implementarse para recuperar y reciclar microplásticos en la agroindustria, como el desarrollo de nuevos métodos de recuperación de microplásticos de los residuos, en el que se deben desarrollar métodos más eficientes para recuperar microplásticos de los residuos sólidos urbanos, los residuos agrícolas y los residuos industriales, o desarrollar métodos de recuperación de microplásticos a partir de aguas residuales. Se pueden desarrollar métodos de recuperación de microplásticos a partir de residuos agrícolas. Se pueden desarrollar métodos de recuperación de microplásticos a partir de residuos industriales.

Igualmente, plantear la mejora de la infraestructura para el reciclaje de microplásticos, para ello se deben establecer plantas de reciclaje de microplásticos que sean capaces de procesar grandes cantidades de material, o se pueden establecer plantas de reciclaje de microplásticos en las proximidades de las zonas urbanas [34, 35]. Se pueden establecer plantas de reciclaje de microplásticos en las zonas rurales.

3.4.4 Inmovilización de microplásticos

La inmovilización de microplásticos existentes puede ser una solución temporal para evitar que se dispersen en el medio ambiente. Las siguientes medidas podrían implementarse para inmovilizar microplásticos en la agroindustria, empezando por el uso de agentes coagulantes o floculantes para precipitar microplásticos del agua, estos agentes pueden utilizarse para eliminar microplásticos del agua de riego o del agua residual [36]. Entre ejemplos aplicados se pueden utilizar agentes coagulantes o floculantes para eliminar microplásticos del agua de riego antes de que se utilice para regar los cultivos [37, 38]. Se pueden utilizar agentes coagulantes o floculantes para eliminar microplásticos del agua residual antes de que se vierta en el medio ambiente.

También el uso de microorganismos para degradar los microplásticos: Los microorganismos pueden ser utilizados para degradar microplásticos en compuestos inocuos. Como el uso de microorganismos para degradar microplásticos en compost [39, 40]. Se pueden utilizar microorganismos para degradar microplásticos en biocombustibles.

3.4.5 Adopción de prácticas agrícolas sostenibles

En la cadena agrícola, la reducción de la labranza y minimizar el uso de agroquímicos mediante la rotación de cultivos, el mantenimiento de cobertura vegetal, el empleo de abonos orgánicos, el manejo integrado de plagas. Así como, la mejorar las prácticas agrícolas con el uso de sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, Se pueden emplear filtros de diferentes tamaños y materiales para atrapar partículas de microplásticos en el agua residual [41], implementando sistemas de tratamiento biológico, como lagunas de oxidación, biofiltros o sistemas de lodos activados [42], que aprovechen la actividad microbiana para descomponer los microplásticos en componentes menos dañinos.

4. Modelos de evaluación

Para evaluar la eficacia de las diferentes estrategias de mitigación, se pueden utilizar modelos matemáticos o simulaciones computacionales. Estos modelos pueden tener en cuenta factores como la cantidad de microplásticos generados, el tipo de microplásticos, el medio ambiente en el que se liberan y las condiciones climáticas.

Los modelos de evaluación son herramientas importantes para identificar las estrategias de mitigación más eficaces. Los siguientes factores podrían tenerse en cuenta en los modelos de evaluación de estrategias de mitigación de la contaminación por microplásticos: como la determinación de la cantidad de microplásticos generados [43]: para reconocer la magnitud del problema. También la caracterización del tipo de microplásticos, ya que los diferentes tipos de microplásticos pueden tener diferentes impactos ambientales. Por ejemplo, un modelo de evaluación podría estimar el impacto ambiental de los microplásticos de plástico de un

solo uso, los microplásticos de productos cosméticos y de limpieza.

5. Implementación

Para implementar las estrategias de mitigación, es necesario trabajar con agricultores y ganaderos. Estos actores pueden ayudar a promover las prácticas más sostenibles y a reducir la generación de microplásticos.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo se podrían implementar las estrategias de mitigación propuestas: reducción del uso de plásticos de un solo uso, en donde los agricultores y ganaderos podrían utilizar bolsas de papel o de tela para transportar los productos. También, los envases y embalajes de los productos agrícolas y ganaderos podrían estar hechos de materiales biodegradables. Se debería mejorar la gestión de los residuos plásticos. Los agricultores y ganaderos podrían establecer sistemas de recogida de residuos plásticos en sus explotaciones, los residuos plásticos podrían ser recogidos por empresas especializadas en su reciclaje. En el área de la cosmética se deben plantear reducciones del uso de productos cosméticos y de limpieza.

Estas estrategias de mitigación son solo algunas de las posibles soluciones. Se requieren más investigaciones para evaluar su eficacia y para desarrollar nuevas estrategias que sean más eficientes y sostenibles.

6. Conclusiones

Los microplásticos representan una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y la salud humana debido a su ubicuidad, persistencia y capacidad para ingresar a la cadena alimentaria. Su presencia en los cuerpos de agua continentales proviene de una variedad de fuentes, que incluyen la industria textil, productos de cuidado personal y limpieza, actividades agrícolas, procesos industriales, residuos domésticos, entre otros. Estos microplásticos pueden tener impactos devastadores, como la contaminación del agua, el daño a la vida acuática, la contaminación del medio ambiente terrestre y la afectación de la salud humana.

A diferencia de Estados Unidos, Japón, Alemania Canadá y, en general, muchos otros países en comparación con estudios de contaminación por microplásticos en cuerpos de agua continentales, Colombia tiene una cantidad muy limitada de estos. A nivel internacional, la etapa de investigación sobre microplásticos ha aliviado mucho las preocupaciones y, con ello una mayor comprensión de la fuente, distribución, efectos y enfoques de atenuación de las micropartículas emergentemente existentes. Sin embargo, en el caso de Colombia, se necesita poner en marcha una mayor investigación específica para abordar el problema ya emergente. Colombia, por lo tanto, necesita cerrar la brecha de conocimiento y acción urgente e inmediatamente. Esto implica la necesidad de estudios detallados de microplásticos que prueben la presencia y la concentración en cuerpos de

agua continentales en diferentes regiones del país, así como las principales fuentes emisoras. Para que el progreso llegue más rápido a Colombia, la transferencia de conocimientos y tecnología puede ser de ayuda para implementar soluciones efectivas y sostenibles. La participación de Colombia en consorcios internacionales de investigación sobre microplásticos también puede ser de ayuda para compartir información y cooperar en la lucha contra la contaminación. Aunque los países en desarrollo son los responsables del 60% de la producción y consumo de plásticos en todo el planeta, Yace en el rápido desarrollo de la población y la urbanización creciente, ya que se incrementa la necesidad de bienes de consumo plásticos. Aunque ha habido abundantes estudios de microplásticos en los países desarrollados, la aparición y los impactos en los países en desarrollo, en particular en las aguas residuales, no se comprenden. La polución de microplásticos en los países en desarrollo, más notablemente en las plantas de eliminación de aguas residuales. Esto se ve intensificado por los recursos escasos, la escasez de trabajadores capacitados y la insuficiente estructura.

Desde la ingeniería agroindustrial, se proponen diversas estrategias para mitigar la contaminación por microplásticos, que van desde la reducción de la generación de microplásticos hasta la recuperación y reciclaje de los existentes. Esto incluye acciones como la reducción del uso de plásticos de un solo uso, la mejora de la gestión de residuos plásticos, la optimización de la infraestructura para el reciclaje, la inmovilización de microplásticos y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles. Estas medidas no solo ayudarían a reducir la cantidad de microplásticos liberados en el medio ambiente, sino que también podrían contribuir a proteger la biodiversidad, mejorar la calidad del agua y promover la salud humana.

Además, la utilización de modelos de evaluación para estimar la eficacia de estas estrategias es fundamental para identificar las acciones más efectivas y orientar la toma de decisiones en políticas públicas y regulaciones ambientales.

Reconocimientos

Los autores a la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica por apoyar esta investigación en el marco del trabajo de grado de Ana Gamarra.

Referencias

- [1] Olivatto, GP, Carreira, R., Tornisielo, VL y Montagner, CC (2018). Microplásticos: contaminantes de preocupación mundial en el Antropoceno. *Revista Virtual de Química*.10(6),1968-1989. 10.21577/1984-6835.20180125
- [2] Sharma, S. y Chatterjee, S. (2017). La contaminación por microplásticos, una amenaza para el ecosistema marino y la salud humana: una breve reseña. *Investigación sobre ciencias ambientales y contaminación*, 24(27), 21530–21547. 10.1007/s11356-017-9910-8
- [3] Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. doi:10.1126/science.1260352.

- [4] Lebreton, L. C. van der Zwet, J. Damsteeg, J. W. Slat, B. Andrady, A. & Reisser, J. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature communications*, 8(1), 1-10.
- [5] Eriksen, M. Lebreton, L. C. Carson, H. S. Thiel, M. Moore, C. J. Borerro, J. C. & Reisser, J. (2014). Plastic pollution in the world's oceans: more than 5 trillion plastic pieces weighing over 250,000 tons afloat at sea. *PLoS One*, 9(12), e111913.
- [6] Bouwmeester, H., Hollman, PC, Peters, RJ, 2015. Impacto potencial en la salud de los micro y nanoplasticos liberados al medio ambiente en la cadena de producción de alimentos humanos: experiencias de la nanotoxicología. *Medio ambiente.Ciencia.Tecnología*. 49 (15), 8932–8947. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01090>.
- [7] Su, L. Xue, Y. Li, L. Yang, D. & Kolandhasamy, P. (2016). Microplastic pollution in freshwater ecosystems: a review and proposal of a monitoring and management framework. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(9), 8117-8131.
- [8] Duis, K., Coors, A., 2016. Microplásticos en el medio acuático y terrestre:fuentes (con un enfoque específico en productos de cuidado personal), destino y efectos. *Reina Ciencia. EUR*. 28, 1–25. <https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069>.
- [9] Kosuth, M., Mason, SA, Wattenberg, EV, 2018. Contaminación antropogénica del agua del grifo, la cerveza y la sal marina. *MÁS UNO* 13 (4), e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>.
- [10] Browne, MA; Crump, P.; Niven, SJ; Teuten, E.; Tonkín, A.; Galloway, T.; Thompson R., Acumulación de microplásticos en las costas de todo el mundo: fuentes y sumideros. *Ambiental Ciencia y Tecnología* 2011, 45, 9175-9179.
- [11] Boots, B., Russell, CW, Green, DS, 2019. Efectos de los microplásticos en los ecosistemas del suelo: por encima y por debajo del suelo. *Reinar. Ciencia. Tecnología*. 53, 11496–11506. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03304>.
- [12] Blasing, M., Amelung, W., 2018. Plásticos en el suelo: métodos analíticos y posibles fuentes. 1605. *Microbiol.* 9, 819. *Ciencia. Medio ambiente total*. 612, 422-435.
- [13] Kumar, M., Xiong, X., He, M., Tsang, DCW, Gupta, J., Khan, E., Harrad, S., Hou, D., Ok, YS, Bolan, NS, 2020. Microplásticos como contaminantes en suelos agrícolas. *Reinar*.
- [14] Galafassi, S., Nizzetto, L., Volta, P., 2019. Fuentes de plástico: un estudio de la literatura científica y gris sobre su inventario y contribución relativa a la contaminación por microplásticos en entornos naturales, con énfasis en las aguas superficiales. *Ciencia. Medio ambiente total*. 693, 133499.
- [15] Barnes, DK; Galgani, F.; Thompson, RC; Barlaz, M., Acumulación y fragmentación de desechos plásticos en entornos globales. *Transacciones filosóficas de la Royal Society de Londres. Serie B, Ciencias Biológicas* 2009, 364, 1985-1998.
- [16] Guo, J., Huang, X., Xiang, L., Wang, Y., Li, H., Cai, Q., 2020. Fuente, migración y toxicología de microplásticos en el suelo. *Reinar. En t.* 137, 105263. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105263>.
- [17] Lusher, A., Hollman, P., Mendoza-Hill, J., 2017. Microplásticos en la pesca y la acuicultura: estado del conocimiento sobre su aparición e implicaciones para los organismos acuáticos y la seguridad alimentaria. Documento técnico de pesca y acuicultura de la FAO. 615 <https://www.fao.org/3/i7677e/i7677e.pdf>
- [18] Lassen, C.; Hansen, SF; Magnusson, K.; Hartmann, NB; Rehne Jensen, P.; Nielsen, TG; Brinch, A. Presencia de microplásticos, efectos y fuentes de emisiones al medio ambiente en Dinamarca; Agencia Danesa de Protección Ambiental: Copenhagen, Dinamarca, 2015.
- [19] Barboza, LGA, Vethaak, AD, Lavorante, BRBO, Lundebye, AK, Guilhermino, L., 2018. Desechos microplásticos un problema emergente para la seguridad alimentaria, la inocuidad de los alimentos y la salud humana.
- [20] Rochman (2015) titulado "Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption.
- [21] Sol, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of the Total Environment*, 740, 140016.
- [22] Su, L. Xue, Y. Li, L. Yang, D. & Kolandhasamy, P. (2016). Microplastic pollution in freshwater ecosystems: a review and proposal of a monitoring and management framework. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(9), 8117-8131.
- [23] Bitter, H., & Lackner, S. (2020). First quantification of semi-crystalline microplastics in industrial wastewaters. *Chemosphere*, 258, 127388.
- [24] Tran-Nguyen, Q. A., Vu, T. B. H., Nguyen, Q. T., Nguyen, H. N. Y., Le, T. M., & Trinh-Dang, M. (2022). Urban drainage channels as microplastics pollution hotspots in developing areas: A case study in Da Nang, Vietnam. *Marine pollution bulletin*, 175, 113323.
- [25] Martina, M., & Castelli, S. T. (2023). Modelling the potential long-range dispersion of atmospheric microplastics reaching a remote site. *Atmospheric Environment*, 312, 120044.
- [26] Liao, J., & Chen, Q. (2021). Biodegradable plastics in the air and soil environment: Low degradation rate and high microplastics formation. *Journal of hazardous materials*, 418, 126329.
- [27] Onyena, A. P., Aniche, D. C., Ogbolu, B. O., Rakib, M. R. J., Uddin, J., & Walker, T. R. (2021). Governance strategies for mitigating microplastic pollution in the marine environment: a review. *Microplastics*, 1(1), 15-46.
- [28] Chen, J., Wu, J., Sherrell, P. C., Chen, J., Wang, H., Zhang, W. X., & Yang, J. (2022). How to build a microplastics-free environment: strategies for microplastics degradation and plastics recycling. *Advanced Science*, 9(6), 2103764.
- [29] Kumar, R., & Razdan, S. (2022). Biodegradable Plastics: New Challenges and Possibilities toward Green Sustainable Development. *Plastic and Microplastic in the Environment: Management and Health Risks*, 187-204.
- [30] Babaremu, K., Oladijo, O. P., & Akinlabi, E. (2023). Biopolymers: A suitable replacement for plastics in product packaging. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 6(4), 333-340.
- [31] Edo, C., Fernández-Piñas, F., & Rosal, R. (2022). Microplastics identification and quantification in the composted organic fraction of municipal solid waste. *Science of The Total Environment*, 813, 151902.
- [32] Piotrowska, A., Czerwińska-Ledwig, O., Serdiuk, M., Serdiuk, K., & Pilch, W. (2020). Composition of scrub-type cosmetics from the perspective of product ecology and microplastic content. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 12, 75-81.
- [33] Prata, J. C., Silva, A. L. P., Da Costa, J. P., Mouneyrac, C., Walker, T. R., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2019). Solutions and integrated strategies for the control and mitigation of plastic and microplastic pollution. *International journal of environmental research and public health*, 16(13), 2411.
- [34] Tang, K. H. D., & Hadibarata, T. (2021). Microplastics removal through water treatment plants: Its feasibility, efficiency, future prospects and enhancement by proper waste management. *Environmental Challenges*, 5, 100264.
- [35] Sasounian, R., Martinez, R. M., Lopes, A. M., Giarolla, J., Rosado, C., Magalhães, W. V., ... & Baby, A. R. (2024). Innovative Approaches to an Eco-Friendly Cosmetic Industry: A Review of Sustainable Ingredients. *Clean Technologies*, 6(1), 176-198.
- [36] Vigneswari, S., Noor, M. S. M., Amelia, T. S. M., Balakrishnan, K., Adnan, A., Bhubalan, K., ... & Ramakrishna, S. (2021). Recent advances in the biosynthesis of polyhydroxyalkanoates from lignocellulosic feedstocks. *Life*, 11(8), 807.

- [37] Raj, S., Mahanty, B., & Hait, S. (2024). Coagulative removal of polystyrene microplastics from aqueous matrices using FeCl₃-chitosan system: Experimental and artificial neural network modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 133818.
- [38] Enyoh, C. E., Fadare, O. O., Paredes, M., Wang, Q., Verla, A. W., Shafea, L., & Chowdhury, T. (2022). An overview of physical, chemical and biological methods for removal of microplastics. *Microplastics Pollution in Aquatic Media: Occurrence, Detection, and Removal*, 273-289.
- [39] Sun, Y., Ren, X., Rene, E. R., Wang, Z., Zhou, L., Zhang, Z., & Wang, Q. (2021). The degradation performance of different microplastics and their effect on microbial community during composting process. *Bioresource Technology*, 332, 125133.
- [40] Gui, J., Sun, Y., Wang, J., Chen, X., Zhang, S., & Wu, D. (2021). Microplastics in composting of rural domestic waste: abundance, characteristics, and release from the surface of macroplastics. *Environmental Pollution*, 274, 116553.
- [41] Simon, M., Vianello, A., & Vollertsen, J. (2019). Removal of >10 μm microplastic particles from treated wastewater by a disc filter. *Water*, 11(9), 1935.
- [42] Liu, F., Nord, N. B., Bester, K., & Vollertsen, J. (2020). Microplastics removal from treated wastewater by a biofilter. *Water*, 12(4), 1085.
- [43] Dong, H., Wang, X., Niu, X., Zeng, J., Zhou, Y., Suona, Z., ... & Chen, X. (2023). Overview of analytical methods for the determination of microplastics: Current status and trends. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 117261.