



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Identificación y eliminación de
microplásticos para la descontaminación de aguas residuales,
2021**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

López Velásquez, Amelia (ORCID: 0000-0001-9917-4710)

Quispe Bedoya, Manuel Fernando (ORCID: 0000-0002-6974-5276)

ASESOR:

Dr. Túllume Chavesta, Milton César (ORCID: 0000-0002-0432-2459)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Esta investigación se la dedicamos a Dios, a nuestras familias por darnos el apoyo y soporte fundamental para la realización de nuestra tesis y de esta manera ser profesionales de éxito para contribuir a nuestra sociedad.

Agradecimiento

Agradecer a nuestro asesor Dr. Túllume Chavesta, Milton César por su asesoramiento en el desarrollo de esta investigación. De igual manera, un agradecimiento a todas las personas que nos apoyaron y brindaron consejos para poder ser profesionales en materia ambiental.

Índice de contenidos

| | |
|---|------|
| Caratula | |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Índice de contenidos..... | iv |
| Índice de tablas | v |
| Índice de figuras | vi |
| Resumen..... | vii |
| Abstract | viii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| III. METODOLOGIA | 10 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación. | 10 |
| 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística. | 11 |
| 3.3. Escenario de estudio..... | 11 |
| 3.4. Participantes | 12 |
| 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 12 |
| 3.6. Procedimientos | 12 |
| 3.7. Rigor científico | 14 |
| 3.8. Método de análisis de información | 14 |
| 3.9. Aspectos éticos | 14 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 16 |
| V. CONCLUSIONES | 31 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 32 |
| REFERENCIAS..... | 33 |
| ANEXOS | |

Índice de tablas

| | |
|---|-----------|
| Tabla 1. <i>Propiedades y aplicaciones de los plásticos más importantes a nivel mundial.....</i> | 5 |
| Tabla 2. <i>Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística.....</i> | 11 |
| Tabla 3. <i>Resultados para la identificación y eliminación de microplásticos.....</i> | 16 |
| Tabla 4. <i>Resultados de artículos sobre métodos de caracterización e identificación de microplásticos en aguas residuales.....</i> | 17 |
| Tabla 5. <i>Resultados de artículos sobre tecnologías de eliminación de microplásticos en aguas residuales.....</i> | 25 |

Índice de figuras

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. <i>Fuentes y rutas de los microplásticos en el medio ambiente.....</i> | 4 |
| Figura 2. <i>Proceso de elaboración de una revisión sistemática.....</i> | 13 |
| Figura 3. <i>Describe los resultados de los distintos autores de los artículos científicos en relación a los principales tipos de microplásticos identificados y que tienen mayor presencia en las aguas residuales.</i> | 24 |
| Figura 4. <i>Describe las tecnologías usadas por los distintos autores para la eliminación de microplásticos en aguas residuales.....</i> | 29 |
| Figura 5. <i>Eficiencia de tecnologías para eliminación de microplásticos en aguas residuales.....</i> | 30 |

Resumen

Los microplásticos son partículas pequeñas de plástico con dimensiones inferiores a 5 mm, estos ingresan a las aguas receptoras a través de la escorrentía de aguas pluviales y las descargas de aguas residuales, las plantas de tratamiento de aguas residuales actúan como receptoras principales de las partículas de plástico presentes en las aguas residuales domésticas, las aguas residuales industriales, las aguas pluviales y los vertederos.

Esta investigación tiene como objetivo, determinar que la identificación y eliminación de microplásticos, mejoran la descontaminación de aguas residuales. Para ello se identificó los métodos para la recolección y caracterización de microplásticos, así como las tecnologías adecuadas para su eliminación. Se realizó una revisión sistemática, donde se hizo una recopilación de artículos científicos en ScieDirect, Scielo, Springer, MDPI, Springer, ACSpublications, Scopus, Water y ResearchGate, con la finalidad de obtener estudios confiables respecto a la identificación y eliminación de microplásticos en las aguas residuales. Con la información recopilada se pudo identificar que el 65% de estudios encontrados nos dicen que las fibras son los tipos de microplásticos dominantes en las aguas residuales y la tecnología más eficiente para la eliminación son los biorreactores de membrana según el 60% de autores que realizaron este estudio.

Palabras clave: Microplásticos, fibras, biorreactor, aguas residuales.

Abstract

Microplastics are small plastic particles with dimensions less than 5 mm, these enter the receiving waters through stormwater runoff and wastewater discharges, wastewater treatment plants act as the main receptors of the particles of plastic present in domestic wastewater, industrial wastewater, stormwater, and landfills.

This research aims to determine that the identification and elimination of microplastics improve the decontamination of wastewater. For this, the methods for the collection and characterization of microplastics were identified, as well as the appropriate technologies for their elimination. A systematic review was carried out, where a compilation of scientific articles was made in ScienceDirect, Scielo, Springer, MDPI, Springer, ACSpublications, Scopus, Water and ResearchGate, in order to obtain reliable studies regarding the identification and elimination of microplastics in the sewage water. With the information collected, it was possible to identify that 65% of the studies found tell us that fibers are the dominant types of microplastics in wastewater and the most efficient technology for disposal are membrane bioreactors, according to 60% of the authors who carried out this studio.

Keywords: Microplastics, fibers, bioreactor, wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, debido a las valiosas características de los plásticos como la durabilidad y el bajo costo, se ha incrementado la producción de materiales plásticos, los cuales pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales y de consumo diario (Correa, 2020, p. 2). Así mismo los microplásticos (PM) se han convertido en un gran desafío en la ciencia ambiental, la química analítica y la toxicología ambiental. Estos han atraído la atención mundial en su categoría de contaminantes que aparecen por su interacción y persistencia en el medio, además de la mala gestión de la disposición de residuos en los centros urbanos, las malas prácticas y el uso industrial indiscriminado. Los microplásticos existen en el medio ambiente en diversas formas, como esferas, perlas, partículas, escamas, fragmentos, y fibras. Estos tipos dependen de la forma original de los plásticos primarios, su proceso de degradación y las condiciones corrosivas a las que están expuestos. La mayoría de estos se vierten en aguas residuales en centros urbanos y ríos, y luego se dirigen a diferentes ecosistemas, donde eventualmente son absorbidos (ingeridos) por nutrientes e inevitablemente alcanzan un nivel que puede afectar la salud humana. (Castañeta *et al.* 2020, p. 161)

Los plásticos son difíciles de reciclar y de baja degradabilidad, por lo que se acumulan en el medio ambiente. Aunque estos son muy estables, están sujetos a cambios físicos y químicos, lo que resulta en fragmentos más pequeños: los microplásticos y los nanoplásticos. Aunque no existe una definición estándar para el concepto de microplásticos, se ha aceptado como estándar el límite máximo de 5 mm. Por otro lado, el uso de productos etiquetados como "biodegradables" o "oxo-degradables" (rápidamente fragmentados) no parece reducir significativamente, así como la cantidad de plástico que llega a las aguas o al medio acuático (océano) ni en el medio terrestre, donde su existencia también ha sido identificada (Bollaín *et al.* 2019, p.2).

El sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales es una vía que conecta los hogares y los desagües de aguas pluviales con los ríos. Por lo que se ha identificado que las alcantarillas combinadas son fuente de una amplia gama de

tamaños de partículas de plástico para los ríos durante los desbordes de alcantarillado combinados (Schmidt *et al.* 2020, p. 2). Los microplásticos se utilizan en diversos productos de cuidado personal como pastas de dientes, cremas y exfoliantes. También se encuentran en los textiles sintéticos, por lo que el proceso de lavado de estas prendas bajará hasta 100 fibras por litro de agua. En tanto por motivos relacionados con la exposición al medio ambiente, la temperatura o la radiación ultravioleta, los fragmentos de plástico pueden producir nuevos microplásticos. Por lo cual una de las fuentes más comunes de residuos plásticos son las aguas residuales, como origen terrestre (Marín Galvín, 2019, p. 343)

Existen diferentes tecnologías y métodos de tratamiento que pueden limitar la acumulación de microplásticos y evitar que sigan rompiéndose. El propósito de estos tratamientos, como la separación por densidad, la coagulación y la biodegradación, es evitar incidentes que reduzcan el rendimiento del equipo, la calidad final del agua y la descarga innecesaria de lodos durante el proceso de tratamiento. Por eso es necesario determinar una tecnología que pueda garantizar que los microplásticos se eliminen en grandes cantidades antes de que entren en el proceso de purificación. (Peláez Villa, 2020, p. 9).

Sobre la base de la realidad problemática se planteó el problema general ¿Cómo la Identificación y eliminación de microplásticos inciden en la descontaminación de aguas residuales, 2021?, así mismo, se plantea como problemas específicos, ¿Cuáles son los métodos para la recolección y caracterización de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021? y ¿Cuáles son las técnicas de tratamiento de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021?

El presente trabajo tiene como objetivo general: Determinar que la Identificación y eliminación de microplásticos mejoran la descontaminación de aguas residuales, 2021, y como objetivos específicos: Determinar los métodos para la recolección y caracterización de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021 y Establecer las técnicas de tratamiento de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021.

La justificación del presente estudio se plantea debido a que existe una necesidad en recopilar y sintetizar información, para determinar métodos o técnicas para la identificación y eliminación de microplásticos. Siendo este un problema constante en el medio ambiente. En más de un 80% la población de América Latina se encuentra concentrada en ciudades. Sin embargo, la provisión de agua es insuficiente. Más aún, el 70% de las aguas residuales no está tratada, lo que dificulta el proceso del ciclo del agua, especialmente cuando el agua se reutiliza debido a la contaminación. La contaminación del agua se produce en fuentes de agua primarias, secundarias y terciarias. Donde las sustancias que contaminan el agua son orgánicas e inorgánicas (Meoño, Taranco y Olivares 2016, p.10).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales son fuentes puntuales significativas que descargan microplásticos al medio ambiente, por lo que se requiere métodos o técnicas para la identificación y eliminación de los microplásticos de las aguas residuales (Mintenig *et al.* 2017, p. 365).

II. MARCO TEÓRICO

Los microplásticos incluyen partículas de plástico que no superan los 5 mm o 1/5 de pulgada de tamaño. Incluyen piezas producidas por la degradación de grandes piezas de plástico de polietileno (bolsas de plástico, botellas), poliestireno (recipientes para alimentos), nailon, polipropileno (tela) o cloruro de polivinilo (tubos de plástico). Y pequeñas bolas de plástico que se utilizan para hacer juguetes y almohadas blandas. Microesferas, añadidos a productos de cuidado personal (pasta de dientes) para proporcionarles color, brillo o como materiales de relleno. (Sarria y Gallo, 2016, p. 22-23).

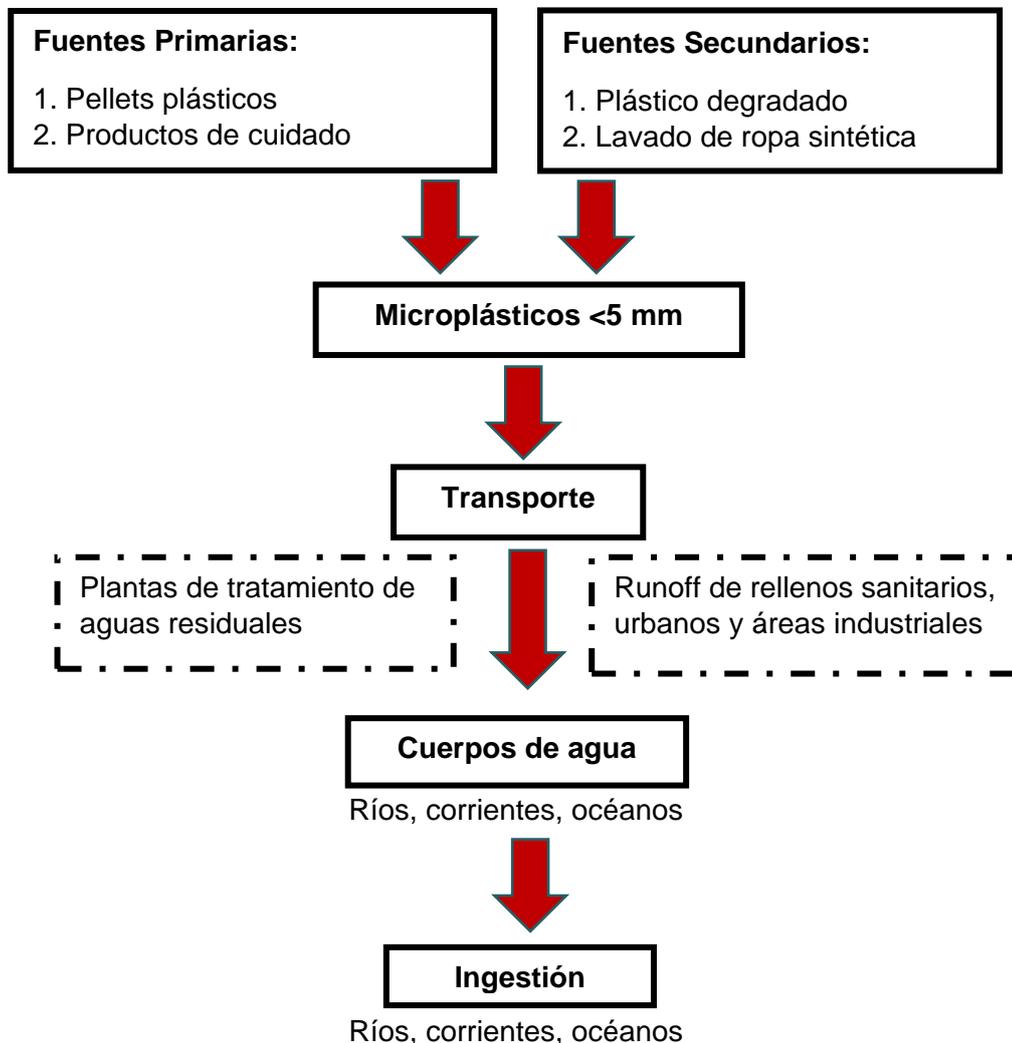


Figura 1. Fuentes y rutas de los microplásticos en el medio ambiente

“Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) son consideradas las principales receptoras de microplásticos terrestres antes de ingresar a los sistemas

acuáticos naturales, que convierten los microplásticos primarios en microplásticos secundarios. Los microplásticos que se encuentran en las aguas residuales municipales se originan comúnmente en las actividades de la vida humana diaria. Por ejemplo, los componentes de poliéster y poliamida se desprenden comúnmente de la ropa durante el proceso de lavado, y productos de cuidado personal como pasta de dientes, limpiadores y gel de ducha ingresan a las EDAR como resultado de nuestro uso diario” (Liu et al. 2021, p. 1).

Tabla 1. *Propiedades y aplicaciones de los plásticos más importantes a nivel mundial.*

| PLÁSTICOS | PROPIEDADES | APLICACIONES |
|-------------------------------------|---|---|
| Polietileno de baja densidad (LDPE) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 0.91 - 0.94 g/cm³. No reacciona a temperatura ambiente. ● Reacciona con algunos disolventes y fuertes agentes oxidantes ● Soporta temperaturas continuas de 80 - 95°C durante breves plazos de tiempo. ● Puede ser opaco o translúcido. ● Bastante flexible y duro. | Film agrícola, bandejas y recipientes, film para envasado de alimentos, entre otros y bolsas reutilizables |
| Polietileno de alta densidad (HDPE) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 0.93 - 0.97 g/cm³. ● Buena relación fuerza/densidad. ● Es de baja ramificación, tensión de rotura que el LDPE y presenta mayor fuerza intermolecular. ● Es más duro y opaco que el LDPE. ● Soporta temperaturas más elevadas (120°C en periodos cortos) que el LDPE. | Botellas de leche, juguetes, tuberías, botes de shampoo, menaje, entre otros. |
| Polipropileno (PP) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 0.89 - 0.92 g/cm³. ● Excelentes propiedades mecánicas. ● Resistencia térmica. ● Resistencia química menor que el LDPE Y EL HDPE. ● Es duro y flexible. | Envoltorios de caramelos y aperitivos, envases de alimentos, piezas de automóvil, tapones bisagra, recipientes aptos para microondas, billete, tuberías, entre otros. |
| Policloruro de vinilo (PVC) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 1.16 - 1.58 g/cm³. ● Duradero, ligero y fuerte. | Marcos de ventanas, revestimientos de suelos y paredes, aislamiento de |

| | | |
|--|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ● Excelentes propiedades aislantes y resistente al fuego. ● Baja permeabilidad. ● La rigidez, la fuerza, la transparencia y el color se pueden adecuar para satisfacer necesidades específicas, en función del aditivo que se utilice. | cables, tuberías, mangueras de riego, piscinas hinchables, mangueras de riego, entre otros. |
| Tereftalato de polietileno (PET) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 1.37 - 1.45 g/cm³. ● Bastante duro y ligero. ● Transparente. ● Fácilmente reciclable. ● No es necesario añadir aditivos para mejorar sus propiedades. | Botellas de agua, refrescos, zumos, productos de limpieza, entre otros. |
| Poliuretano (PUR) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 1.20 g/cm³. ● Resiliente, flexible y duradero. ● Asequibles, seguros y fácilmente reciclables. ● Gran adaptabilidad y versatilidad. | Espumas aislantes para frigoríficos, aislamientos para la construcción, colchones y almohadas, calzado, revestimientos y adhesivos, entre otros. |
| Poliestireno (PS)/Poliestireno expandido (EPS) | <ul style="list-style-type: none"> ● Densidad: 1.20 g/cm³. ● Resiliente, flexible y duradero. ● Asequibles, seguros y fácilmente reciclables. ● Gran adaptabilidad y versatilidad. | Recubrimiento interior para frigoríficos, envases de alimentos (lácteos, pescado), equipos eléctricos y electrónicos, protección de productos frágiles, montura de gafas, aislamientos para la construcción de carreteras, entre otros. |

Fuente:(Pérez y Rancaño, 2020)

Cuando se fabricaban inicialmente en tamaños pequeños para uso directo o como precursores de otros productos como fibras sintéticas, partículas industriales y micro perlas (micro perlas) añadidas a los cosméticos, se denominaron microplásticos primarios. El segundo son los fragmentos de otros productos plásticos de mayor tamaño, principalmente representados por hilos de microfibras sintéticas o fragmentos de forma irregular. (Rios et al. 2020).

Doyeon Park et al. (2021), en su estudio, “utilizaron semillas de chía para mejorar significativamente la eficiencia de separación de microplásticos de cloruro de polivinilo (PVC) de muestras de agua mediante centrifugación. Usando

configuraciones de operación nominal a 10 min y 1000 rpm con 100 mg de semillas de chía, la eficiencia de separación podría mejorarse 5 veces (500%) en comparación con la ausencia de semillas de chía. Por otro lado, las semillas de chía también eran compatibles con muestras de aguas residuales sintéticas simuladas. Más importante aún, el uso de semillas de chía no interfirió con el protocolo y la precisión de cuantificación de Cromatografía de gases-espectrometría de masas (GC-MS). El resultado sugirió que el método propuesto se puede utilizar como una simple herramienta de detección de microplásticos que ingresan a la planta de tratamiento de aguas residuales, aunque se necesitan una serie de estudios de seguimiento en el futuro” (p. 1-9).

Bretas Alvim, Bes-Piá y Mendoza-Roca (2020), “investigaron tres protocolos de digestión química, previo al análisis de microplásticos, uno dirigido a los efluentes, mediante peroxidación, y dos para lodos activados (peroxidación y Fenton). Donde el análisis mostró que el uso de H₂ O₂ no compromete la identificación de los polímeros evaluados por Espectroscopía Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y también redujo significativamente la concentración de sólidos en suspensión, resultando en una separación visual eficiente de las micropartículas. Una vez separadas adecuadamente, las micropartículas se caracterizaron según su tamaño, color y forma, y una fracción se sometió a identificación por μ -ATR-FTIR / ATR-FTIR. En todas las muestras se observó una alta presencia de microfibras (MF), correspondiente a más del 90% de las micropartículas. Sin embargo, en relación a los efluentes secundarios, solo el 9% de estos MF fueron identificados como plásticos, los restantes corresponden al algodón. Los fragmentos encontrados en las muestras se clasificaron como de origen secundario, y fueron principalmente polietileno tereftalato (PET) y polipropileno (PP), de tamaño inferior a 1 mm” (p. 1-8).

Para Shen et al. (2021) en su investigación de “Eliminación de microplásticos con medio filtrantes de aluminosilicatos y productos modificados con tensioactivos, precisa que los medios filtrantes de aluminosilicatos modificados por tensioactivo catiónica tenía una capacidad significativa de eliminación (>96%) y fijación de PE y PA, que es mucho mayor que la del filtro de arena rápido (63%). Las imágenes

obtenidas de microscopia electrónica de barrido (SEM) mostraron tres mecanismos de retención morfológica: capturado, atrapado y enredado” (p. 6-9).

Cunha et al. (2020) en su investigación de biopolímeros a base de microalgas para la eliminación de nano y microplásticos, se evaluó la capacidad biofloculante del biopolímero producido por *Cyanothece sp* de agua dulce. Como resultado muestra que la sustancia polímera extracelular producido (EPS) por *Cyanothece sp*, exhibe una alta actividad biofloculante en bajas concentraciones. Estos resultados resaltan el potencial de los biopolímeros basados en micro algas para reemplazar los floculantes sintéticos utilizados en el tratamiento de aguas residuales (p.4-5).

Zhang et al. (2020) En este artículo, el estudio centrado en los microplásticos en las aguas residuales se ha evaluado con VOSviewer. Se encontró que el mayor interés estaba en la identificación, cuantificación y contaminación de los microplásticos en las aguas residuales, y su transporte y destino final durante los procesos de tratamiento de aguas residuales. Se revisaron los principales microplásticos y sus formas en las aguas residuales. Los resultados de nuestra evaluación fueron consistentes con otros reportados que las fibras y el fragmento fueron la mayoría en términos de forma y Tereftalato de Polietileno (PET), Polietileno (PE), Polipropileno (PP), y el Poliestireno (PS) son los microplásticos más presentados en las aguas residuales. Durante el tratamiento de aguas residuales, la ruta de eliminación de microplásticos de las aguas residuales incluye sedimentación, adsorción, atrapamiento, interceptación, etc. Confirma que los microplásticos simplemente se transfieren de las aguas residuales al lodo. Entonces podría traer problemas a la digestión anaeróbica, ya que los microplásticos son un gran vector de sustancias tóxicas como los antibióticos y los contaminantes orgánicos persistentes. La clave para determinar el efecto de los microplásticos sobre la digestión anaeróbica es el comportamiento de desorción de las sustancias tóxicas como los antibióticos, los contaminantes orgánicos persistentes y los metales pesados de los microplásticos en condiciones de digestión. Los compuestos tóxicos que se presentan comúnmente en los lodos han mostrado tendencia a liberarse de los microplásticos (p. 3-10).

Li et al. (2018) en su estudio Membrana dinámica para la eliminación de microplásticos en el tratamiento de aguas residuales, menciona las membranas

dinámicas son una tecnología prometedora para la eliminación de micropartículas no degradables de baja densidad, como los plásticos, que son un contaminante de aguas residuales cada vez más frecuente. Estas micropartículas no se eliminan fácilmente mediante la sedimentación convencional y resultan en mayores costos de operación y mantenimiento en los procesos unitarios posteriores. En este estudio, los DM se formaron sobre una malla de soporte de 90 μm mediante la filtración de un agua residual sintética. Se investigó el impacto del flujo del influente (flujo sólido) y la concentración de partículas del influente en el desempeño de la DM. La turbidez del efluente se redujo a <1 NTU después de 20 minutos de filtración. Verificando la efectiva remoción de micropartículas por el DM. La presión transmembrana (TMP) y la resistencia a la filtración total aumentaron linealmente con el tiempo de filtración y estaban altamente correlacionadas ($R^2 > 0,998$). La TMP varió de 80 a 180 mm de altura de agua, y la resistencia a la filtración total varió de $2,89 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ a $6,52 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ durante la filtración de MS. En general, un aumento en el flujo del afluente y la concentración de partículas del afluente se corresponde con un aumento de la TMP y la resistencia a la filtración, así como una rápida reducción de la turbidez del efluente debido a la rápida formación de un DM en la malla de soporte (p.2-5).

Wolff et al. (2021), investigaron la eliminación de partículas microplásticas (MPP) y fibras microplásticas (MPF) en la etapa final de tratamiento (filtración de arena) en dos plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (EDAR) y la etapa final de tratamiento (filtración de arena) en una EDAR de proceso de un fabricante de cloruro de polivinilo (PVC). En cada sitio de muestreo, se tomaron tres muestras en tres días diferentes. (antes / después de la filtración con arena). Las muestras se filtraron a través de un cartucho de acero inoxidable de 10 m. filtro que utiliza una bomba centrífuga de acero inoxidable. Los microplásticos (MP) se separaron de la matriz de aguas residuales por tratamiento oxidativo y separación por densidad y analizada por microspectroscopia Raman. Debido a las medidas cautelares, los espacios en blanco procesales fueron muy bajos con un número medio de 4.3 ± 2.7 MPP y 0.88 ± 0.56 MPF dentro de ocho muestras en blanco. Las EDAR municipales pudieron eliminar $99.2\% \pm 0.29\%$ y $99.4\% \pm 0.15\%$ de MP en la etapa de filtración de arena. La filtración de arena de un fabricante de PVC eliminó entre un $99,2\%$ y un $99,9\%$ (p. 1-18).

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo y diseño de investigación.

Esta investigación es una investigación aplicada porque tiene como objetivo resolver los problemas que surgen en la producción, distribución, circulación y consumo de bienes y servicios de cualquier actividad humana (Nieto, 2018, p.3).

Respecto al diseño de investigación es cualitativa según Sánchez y Cortez (2017), quienes manifiestan que este es un procedimiento de investigación direccional dinámico y sistemático que toma decisiones con base en el contenido de la investigación, es decir, el investigador inicia su investigación con una orientación teórica consciente de las ciencias sociales, y al interactuar con la pregunta de investigación, orienta la investigación. El problema del proceso se mostrará. Por tanto, existe una influencia mutua entre el investigador y la pregunta de investigación. (p.43).

Se realizó una recopilación de información de la identificación y eliminación de microplásticos para la descontaminación de aguas residuales, que ayudará a resolver el problema a través de la información obtenida, que contribuye con el conocimiento teórico científico sobre los microplásticos en aguas residuales.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística.

Objetivo General: Determinar que la Identificación y eliminación de microplásticos mejoran la descontaminación de aguas residuales, 2021.

Problema General: ¿Cómo la Identificación y eliminación de microplásticos inciden en la descontaminación de aguas residuales, 2021?

Tabla 2. Categorías, subcategorías y matriz de caracterización apriorística

| Objetivos Específicos | Problemas Específicos | Categoría | Sub Categoría | Unidad de Análisis |
|---|--|---|--|--|
| Determinar los métodos para la recolección y caracterización de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021. | ¿Cuáles son los métodos para la recolección y caracterización de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021? | Métodos de recolección y caracterización | Espectroscopía, tinción y FTIR | Lares et al. (2019) Hamidian et al. (2021) |
| Establecer las técnicas de tratamiento de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021 | ¿Cuáles son las técnicas de tratamiento de microplásticos que inciden en descontaminar aguas residuales, 2021? | Técnicas de eliminación o reducción de microplásticos en las aguas residuales | Flotación por aire disuelto/ Coagulación/ Filtro de arena rápido/ Filtro de disco de membrana/ Biorreactor de membrana | Bayo et al. (2020) Talvite et al. (2017) Bui et al. (2020) |

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio está relacionado con una revisión sistemática de los argumentos de un número seleccionado de artículos científicos y documentos de orientación, y tiene como objetivo analizar diferentes métodos de identificación y eliminación de microplásticos para depurar aguas residuales.

3.4. Participantes

Para esta investigación se recopiló información por medio de artículos científicos, libros, informes y entre otras investigaciones de nivel nacional e internacional, los cuales se pueden mencionar: ScienceDirect, SciELO, Scopus, MDPI, Springer, ACSpublications, ResearchGate y Water. Donde se escogieron artículos con información que se relacionaban con identificación y eliminación de microplásticos para la descontaminación de las aguas residuales.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según la revisión de la literatura como metodología de investigación, se aplicó la técnica de revisión sistemática, que se puede explicar como un método y proceso de investigación para identificar y evaluar críticamente investigaciones relevantes, así como para recolectar y analizar datos de esa investigación, con el objetivo de identificar cualquier evidencia empírica que cumpla con los criterios de inclusión preestablecidos con el fin de responder a una pregunta o hipótesis de investigación específica. Mediante el uso de métodos explícitos y sistemáticos en la revisión de artículos y toda la evidencia disponible, se puede minimizar el sesgo, así como resultados confiables de los cuales extraer conclusiones y tomar decisiones (Snyder 2019, p. 334).

3.6. Procedimientos

Para la búsqueda de información se tomó en cuenta las palabras claves en inglés y español, así como el planteamiento del problema general para recopilar artículos en las diferentes plataformas de información que tengan relación en cuanto a la identificación y eliminación de microplásticos para la descontaminación de aguas residuales, siendo: ScienceDirect, SciELO, Scopus donde se encontraron mayor parte de la información.

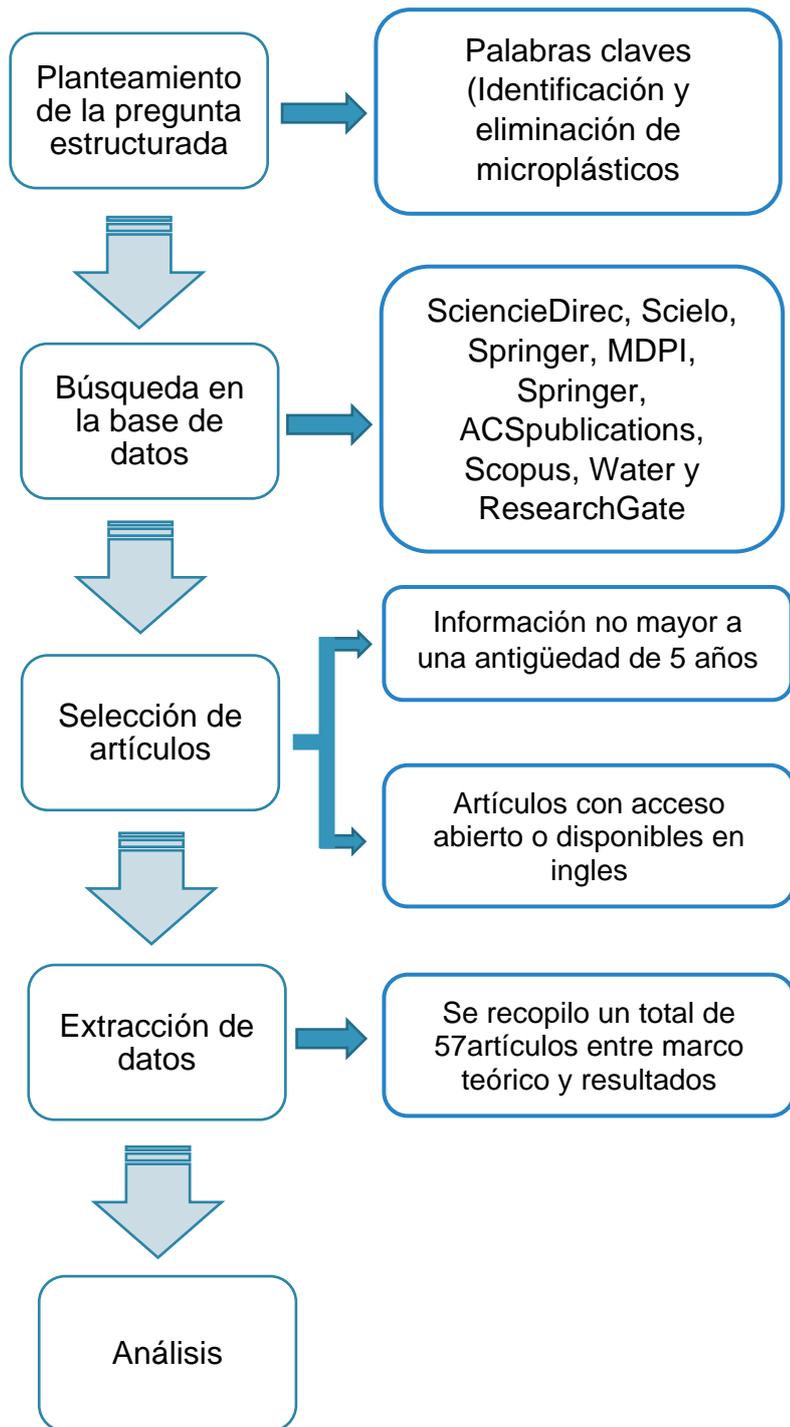


Figura 2. Proceso de elaboración de una revisión sistemática.

3.7. Rigor científico

Según (Cruz 2017), el rigor es la insistencia en la verdad. En la producción de nuevo conocimiento científico, es metódico, sistemático y, lo más importante, objetivo. La única subjetividad de los investigadores es producir y socializar real, verificable y verificable. Conocimiento refutable y reproducible, lo más importante, proviene de una posición sustentada en la teoría crítica, la utilidad profesional (p. 43). El siguiente trabajo tiene suficiente rigor científico, el cual garantiza confianza y autenticidad. Con criterios de fiabilidad y validez. Por lo que Espinoza Freire (2020), nos dice que la confiabilidad es la posibilidad de obtener resultados similares en diferentes investigaciones realizadas por diferentes investigadores con el mismo propósito y utilizando los mismos métodos, procedimientos, instrumentos y métodos de recolección de datos. La validez de los resultados de la encuesta depende de la correcta interpretación de los mismos por parte de los investigadores, por lo que el método de recolección de los datos, el método de interpretarlos desde diferentes ángulos, sistematiza y presta atención a los resultados de la investigación y al patrimonio científico, teórico e investigativo que posee. por los investigadores Revisar, brindar seguridad y validez a los resultados de la investigación y brindarles confiabilidad (p.106).

3.8. Método de análisis de información

La investigación cualitativa es particularmente adecuada cuando desea comprender u obtener una perspectiva personal sobre eventos o experiencias humanas. Esto significa el uso y recopilación de diversas técnicas de recopilación de información, como entrevistas en profundidad, observaciones de los participantes, diarios de campo, revisión de fotografías, registros y otras técnicas, para proporcionar a los investigadores diversos materiales de experiencia para explicar las razones y por qué las personas hacen ciertas cosas. (Ramírez y Arbesú, 2019, pp. 426).

3.9. Aspectos éticos

Carcausto y Morales (2017), nos dicen que la ética es una investigación sistemática de cuestiones sobre el bien y el mal, el bien y el mal. Reflexiona sobre diferentes principios morales y los evalúa críticamente. Además de ser un acto reflexivo,

también es un ente moderador en la conciencia de los investigadores, buscando conocimiento o resolviendo problemas no resueltos a través de métodos científicos, indicando el camino a seguir en la búsqueda, y acompañado de viajes técnicos (p. 167).

Esta investigación contiene artículos de fuentes confiables, es el resultado de la compilación y recaudación de datos obtenidos de distintos autores sobre los métodos de Identificación y Eliminación de Microplásticos para la Descontaminación de Aguas Residuales, esta correctamente citadas, respetando a los autores, de acuerdo al manual de la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para los resultados para la identificación y eliminación de microplásticos para la descontaminación de aguas residuales se recopilaron 35 artículos científicos. Los artículos se separaron por métodos para la identificación y la eliminación de microplásticos.

Tabla 3. *Resultados para la identificación y eliminación de microplásticos*

| | MÉTODOS | CANTIDAD DE ARTÍCULOS |
|-------------------------------------|--|------------------------------|
| De caracterización e identificación | Tamiz, separación por densidad, clasificación visual bajo estereomicroscopio y análisis FTIR | 20 |
| De eliminación | Flotación por aire disuelto/ Coagulación/ Filtro de arena rápido/ Filtro de disco de membrana/ Biorreactor de membrana | 15 |
| | TOTAL | 35 |

Tabla 4. Resultados de artículos sobre métodos de caracterización e identificación de microplásticos en aguas residuales.

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|----------------------------|---|--------|--|-----------------------|
| Franco et al. (2021) | Contaminación por microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cádiz: abundancia, eficiencia de remoción y presencia en cuerpo de agua receptor | España | Caracterización morfológica y química /FTIR | SciencieDirec |
| Bayo, Olmos y López (2021) | Evaluación de microplásticos en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales con tratamiento terciario: eficiencias de remoción y carga por día al medio ambiente | España | Tamiz, separación por densidad, clasificación visual bajo estereomicroscopio y análisis FTIR | Water |
| Hamidian et al. (2021) | Una revisión sobre las características de los microplásticos en las plantas de tratamiento de aguas residuales: una fuente de productos químicos tóxicos | Irán | Tamiz, separación por densidad y análisis FTIR | SciencieDirec |
| Ben-David et al. (2021) | Distribuciones de microplásticos en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas: eficiencia de remoción, variación estacional e influencia de la técnica de muestreo | Israel | Tinción, microspectroscopia Raman | SciencieDirec |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|----------------------|---|----------------|--|-----------------------|
| Gies et al. (2018) | Retención de microplásticos en una importante planta secundaria de tratamiento de aguas residuales en Vancouver, Canadá | Canadá | FTIR | SciencieDirec |
| Lares et al. (2019) | Estudio de Inter comparación de métodos comúnmente utilizados para determinar microplásticos en muestras de aguas residuales y lodos | Finlandia | Tinción | Springer |
| Tagg et al. (2015) | Identificación y cuantificación de microplásticos en aguas residuales mediante el uso de imágenes de reflectancia micro-FT-IR basadas en matrices de plano foca | Estados Unidos | FTIR | ACSPublications |
| Hamzah et al. (2021) | Síntesis, caracterización y evaluación del rendimiento de ferrofluidos para la eliminación de microplásticos de aguas residuales sintéticas y reales | Malasia | Filtración, FTIR | SciencieDirec |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|-------------------------------|---|----------------|--|-----------------------|
| Fortin, Song y Burbage (2019) | Cuantificación e identificación de microplásticos en el efluente de sistemas avanzados de tratamiento de aguas residuales mediante microspectroscopia Raman | Estados Unidos | Filtración, Microspectroscopia Raman | SciencieDirec |
| Nguyen et al. (2021) | Análisis espectroscópico de contaminantes microplásticos en una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de Seúl, Corea del Sur | Corea de Sur | Tinción, FTIR | SciencieDirec |
| Zhang et al. (2021) | Aparición y eliminación de microplásticos de plantas de tratamiento de aguas residuales en una ciudad turística típica de China | China | Filtración, densidad, FTIR | SciencieDirec |
| Tang, Liu y Xing (2020) | Microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales de Wuhan, China central: abundancia, eliminación y fuente potencial en las aguas residuales domésticas | China | Filtración | SciencieDirec |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|---|--|-----------|--|-----------------------|
| Bretas Alvim, Bes Piá y Mendoza-Roca (2020) | Separación e identificación de microplásticos de efluentes primarios y secundarios y lodos activados de plantas de tratamiento de aguas residuales | España | Densidad, Filtración | SciencieDirec |
| Ziajahromi et al. (2021) | Una auditoría de la abundancia de microplásticos en tres plantas de tratamiento de aguas residuales australianas | Australia | Densidad, Filtración | SciencieDirec |
| Hongprasith et al. (2020) | Identificación microspectroscópica IR de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales | Tailandia | Microspectroscópica IR | Springer |
| Ziajahromi et al. (2017) | Plantas de tratamiento de aguas residuales como vía para los microplásticos: desarrollo de un nuevo enfoque para muestrear microplásticos a base de aguas residuales | Australia | Densidad, FTIR | SciencieDirec |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | MÉTODOS DE RECOLECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|---|---|-------------|--|-----------------------|
| Blair, Waldron y Gauchotte-Lindsay (2019) | Flujo diario promedio de microplásticos a través de una planta terciaria de tratamiento de aguas residuales durante un período de diez meses | Reino Unido | FTIR | SciencieDirec |
| Raju et al. (2020) | Metodología mejorada para determinar el destino y el transporte de microplásticos en una planta secundaria de tratamiento de aguas residuales | Australia | Densidad, FTIR | SciencieDirec |
| Franco et al. (2020) | Mapeo de microplásticos en Cádiz (España): presencia de microplásticos en aguas residuales municipales e industriales | España | Filtración, FTIR | SciencieDirec |
| Bakaraki Turan, Sari Erkan y Onkal Engin (2021) | Microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales: ocurrencia, destino e identificación | Turquía | FTIR | SciencieDirec |

Fuente: Elaboración propia

Se recopilaron 20 artículos para la recolección y caracterización de microplásticos en aguas residuales. Franco et al. (2021), para la caracterización de MP lo hicieron por las características morfológicas y químicas, para la identificación utilizaron la espectroscopía FTIR (Espectroscopía de infrarrojos por transformada de Fourier). Hamidian et al. (2021) también es su estudio nos dicen que para la caracterización de microplásticos el análisis se puede clasificar en físico y químico, además que los métodos de espectroscopia vibratoria (FTIR o espectroscopía Raman) se encuentran entre las técnicas más conocidas para la detección y cuantificación de microplásticos y que es la mejor opción para identificar MP en muestras de EDAR porque brindan información sobre la composición química, número y tamaño de las partículas analizadas en las muestras. Hamzah et al. (2021), complementan que el método de análisis FTIR produce un espectro de absorción de infrarrojos para permitir la identificación de enlaces químicos en una molécula, así como, Nguyen et al. (2021) nos dicen que la FTIR se considera uno de los métodos más populares para el análisis de identificación molecular y recuento de números.

Bayo, Olmos y López (2021), en su evaluación de microplásticos en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales con tratamiento terciario utilizo la clasificación visual bajo estereomicroscopio y análisis FTIR para identificación de polímeros. Tagg et al. (2015) refuta que con las imágenes FTIR logran obtener imágenes e identificar con éxito diferentes tipos de microplásticos.

Ben-David et al. (2021), para la Cuantificación y caracterización de MP utilizaron el método de tinción para determinar qué partículas eran MP, así mismo nos dicen que para la identificación de la composición polimérica de los MP menores de 500 μm requiere la aplicación de métodos de caracterización diagnóstica como FTIR o espectroscopia Raman. Lares et al. (2019) refutan que los métodos de tinción podrían ser útiles para separar MP de otros materiales, pero que, según el estudio actual, la rosa de Bengala no es adecuada para separar fibras de celulosa y de plástico. Bakaraki Turan, Sari Erkan y Onkal Engin (2021) refutan que la FTIR y Raman son técnicas espectroscópicas vibracionales comúnmente utilizadas para la identificación química de MP, los que tienen un tamaño superior a 300 μm se identifican comúnmente dentro de un período de análisis de 1 min mediante la reflexión total atenuada (ATR) de FTIR, pero las partículas de plástico oscuras,

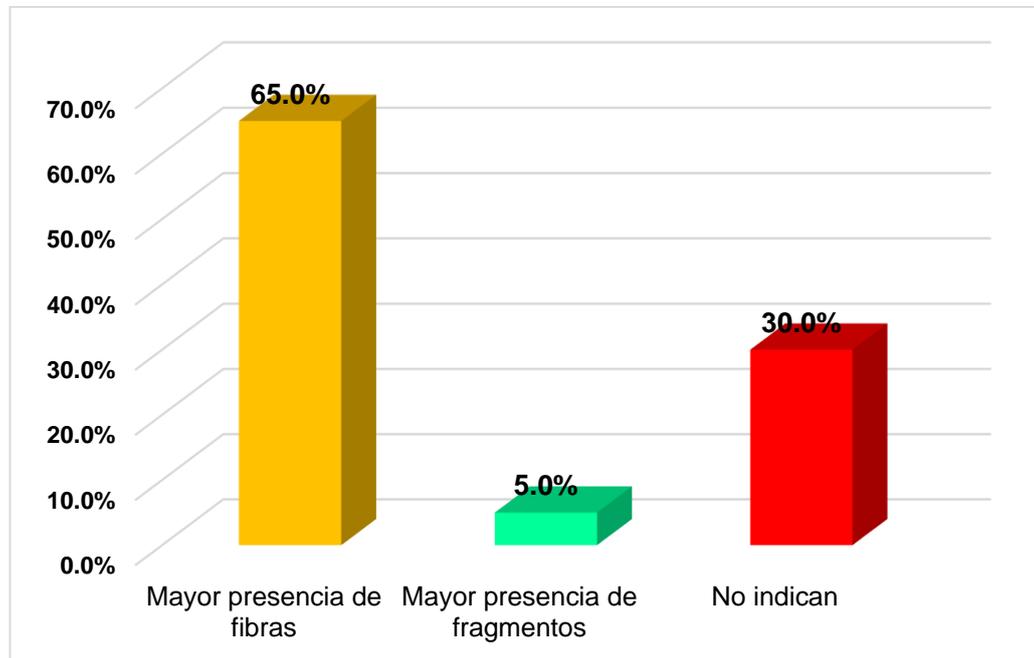
opacas y humidificadas <20 mm no pueden ser identificadas por FTIR. Por otro lado, la espectroscopia Raman puede detectar muestras con un tamaño de partícula > 1 mm según la polaridad del enlace químico. Por consiguiente, se sugiere que los dos métodos de espectrometría funcionen de manera complementaria, ya que ambas son métodos de obtención imágenes químicas no destructivas y sin contacto capaces de proporcionar una caracterización en cuatro dimensiones de MP que cubre la composición química, la forma y el tamaño de la partícula.

Gies et al. (2018) nos dicen que, para discriminar entre plástico y no plástico en la evaluación microscópica, se aplicaron tres reglas descritas por: (1) el objeto no debe tener estructuras celulares u orgánicas, (2) las fibras deben ser igualmente gruesas en toda su longitud, (3) el color de las partículas debe ser claro y homogéneo en todas partes.

Fortin, Song y Burbage (2019), en su estudio determinaron el límite de detección de partículas microplásticas mediante microspectroscopía Raman era de 1 µm. Esta metodología presentada es una mejora con respecto a los métodos anteriores por varias razones, permite la identificación de la mayoría de las partículas restantes y es una mejora con respecto a la clasificación visual porque los microplásticos se pueden identificar con confianza y se pueden obtener recuentos de microplásticos más precisos.

De acuerdo a los resultados obtenidos por los artículos y sus metodologías utilizadas, se pudieron identificar qué tipos microplásticos fueron encontrados en gran cantidad en las aguas residuales.

Figura 3. Describe los resultados de los distintos autores de los artículos científicos en relación a los principales tipos de microplásticos identificados y que tienen mayor presencia en las aguas residuales.



En la figura 3, el 65% de los artículos seleccionados para recolección y caracterización, en sus resultados indicaron que el tipo de microplástico con mayor presencia en las aguas residuales son fibras, esto se debería a que las fibras son liberadas en el lavados domésticos y componentes sintéticos de productos de cuidado personal. EL 5.0% indican que los fragmentos son los que tienen mayor presencia y el 30.0% no indico un porcentaje para estos. Siendo así las fibras y fragmentos los principales tipos de microplásticos más encontrados en las aguas residuales.

Tabla 5. Resultados de artículos sobre tecnologías de eliminación de microplásticos en aguas residuales.

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|------------------------------|---|--------------|--|-----------------------|
| Hidayaturrahman y Lee (2019) | Un estudio sobre las características de los microplásticos en las aguas residuales de Corea del Sur: identificación, cuantificación y destino de los microplásticos durante el proceso de tratamiento | Corea de Sur | Filtro de disco de membrana/ Filtración rápida con arena | SciencieDirect |
| Bui et al. (2020) | Contaminación por microplásticos en aguas residuales: características, presencia y tecnologías de eliminación | Vietnam | Flotación por aire disuelto/ Coagulación/ Filtro de arena rápido/ Filtro de disco de membrana/ Biorreactor de membrana | SciencieDirect |
| Xu, Bai y Ye (2021) | Eliminación y generación de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales: una revisión | China | Biorreactores de membrana/Filtración rápida de arena/Coagulación/ Filtro de disco de membrana/ | SciencieDirect |
| Zhou et al. (2021) | Eliminación de microplásticos de poliestireno y polietileno mediante coagulación con PAC y FeCl 3: rendimiento y mecanismo | China | Coagulación | SciencieDirect |
| Ngo et al. (2019) | Ruta, clasificación y eficiencia de eliminación de microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales | Vietnam | Biorreactor de membrana/ Filtración rápida de arena | SciencieDirect |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|----------------------------|---|-----------|--|-----------------------|
| Esfandiari y Mowla (2021) | Investigación de la eliminación de microplásticos de aguas grises por coagulación y flotación por aire disuelto | Irán | Coagulación/ Flotación por aire disuelto | SciencieDirect |
| Rajala et al. (2020) | Eliminación de microplásticos del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales secundarias mediante coagulación / floculación con productos químicos a base de hierro, aluminio y poliamina | Finlandia | Coagulación | SciencieDirect |
| Bayo, López y Olmos (2020) | Biorreactor de membrana y filtración rápida de arena para la eliminación de microplásticos en una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas | España | Biorreactor de membrana/Filtración rápida de arena | SciencieDirect |
| Talvitie et al. (2017) | Soluciones a la contaminación por microplásticos: eliminación de microplásticos de efluentes de aguas residuales con tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales | Finlandia | Biorreactor de membrana/Filtración rápida de arena/Flotación por aire disuelto | SciencieDirect |
| Lares et al. (2018) | Ocurrencia, identificación y eliminación de partículas y fibras microplásticas en procesos convencionales de lodos activados y tecnología MBR avanzada | Finlandia | Biorreactor de membrana | SciencieDirect |

| AUTOR Y AÑO | ARTÍCULO | LUGAR | TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN DE MICROPLÁSTICOS | FUENTE DE INFORMACIÓN |
|-------------------------------------|---|--------------|--|------------------------------|
| Sembiring, Fajar y Handajani (2021) | Rendimiento del filtro de arena rápido: medio único para eliminar los microplásticos | Indonesia | Filtro de arena rápido | ResearchGate |
| Pramanik, Pramanik y Monira (2021) | Comprender la fragmentación de los microplásticos, nanoplásticos y la eliminación de nano / microplásticos de las aguas residuales mediante procesos de membrana, flotación por aire y nano-ferrofluidos. | Malasia | Flotación por aire disuelto/ Filtro de disco de membrana | SciencieDirect |
| Zhang, Chen y Li (2020) | La eliminación de microplásticos en el proceso de tratamiento de aguas residuales y su impacto potencial en la digestión anaeróbica debido a la asociación de contaminantes. | China | Biorreactor de membrana | SciencieDirect |
| Sun et al. (2019) | Microplásticos en plantas de tratamiento de aguas residuales: detección, aparición y eliminación | China | Filtro de disco/ Filtración rápida de arena/ Flotación por aire disuelto/ Biorreactor de membrana | SciencieDirect |
| Cristaldi et al. (2020) | Eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para la eliminación de microplásticos: una revisión sistemática | Italia | Biorreactores de membrana/ Filtración rápida de arena | MDPI |

Fuente: Elaboración Propia

Para la eliminación de microplásticos de aguas residuales se recopilaron 15 artículos científicos. Bui et al. (2020), en su estudio aplicaron las tecnologías de flotación por aire disuelto, coagulación, filtro de arena rápido, filtro de disco de membrana y biorreactor de membrana. Siendo el biorreactor de membrana el más efectivo con 99.4%, siguiendo flotación con aire disuelto con 95%, coagulación con 81.6%, filtro de disco de membrana con 79% y filtración rápida de arena con 74%. Así mismo Xu, Bai y Ye (2021); Sun et al. (2019); Talvitie et al. (2017) y Lares et al. (2018), aplicaron las mismas tecnologías donde refutan que el biorreactor de membrana sigue siendo la tecnología más efectiva con más del 99% de eliminación.

Bayo, López y Olmos (2020); Ngo et al. (2019), en sus estudios compararon las tecnologías de biorreactor de membrana y filtración rápida de arena, siendo el biorreactor de membrana es el más efectivo. Zhang, Chen y Li (2020), en su estudio nos dicen que el biorreactor de membrana es uno de los procesos más empleados en la mejora del tratamiento de aguas residuales y que la membrana utilizada en el sistema MBR es normalmente una membrana de microfiltración y una membrana de ultrafiltración.

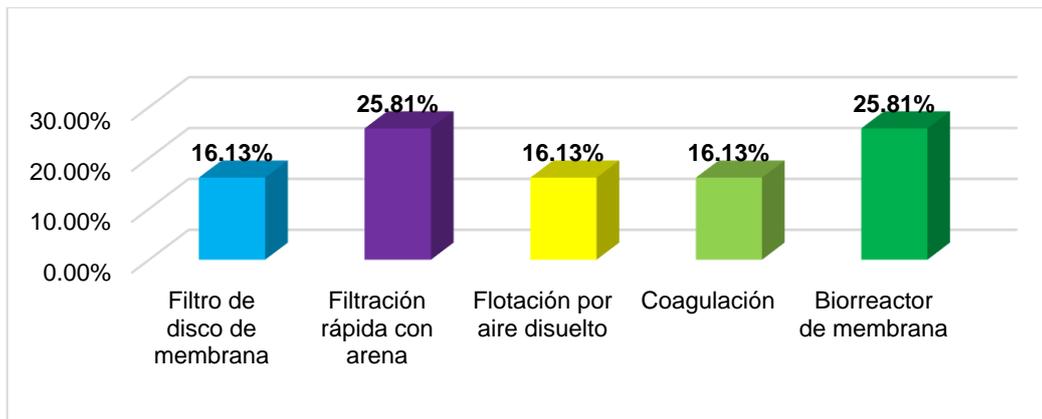
Sembling, Fajar y Handajani (2021), indica que el filtro rápido de arena (RSF) es uno de los tratamientos de agua que puede ser un tratamiento alternativo en la remoción de MP, que puede retirar 85% al 97% de MP que en su mayoría si tienen un tamaño superior a 200 μ m.

Esfandiari y Mowla (2021), en su estudio utilizaron coagulantes a base de Al y Fe en una celda de flotación por aire disuelto (DAF) como tecnología avanzada de tratamiento de aguas residuales para eliminar el polietileno (PE) de aguas grises, donde se observó una reducción de PE de hasta 96,10% y 70,56%. Zhou et al. (2021); Rajala et al. (2020), también utilizaron esta tecnología, donde el aumento de la velocidad de agitación podría mejorar la eficiencia de eliminación de microplásticos y sugieren que la coagulación química juega un papel clave en la eliminación de MP, y el proceso se puede optimizar seleccionando el coagulante, la dosis y el pH correctos.

Hidayaturrahman y Lee (2019), en su estudio obtuvieron como resultado que el filtro de disco de membrana eliminó el 79,4% y la filtración rápida con arena el 73,8%.

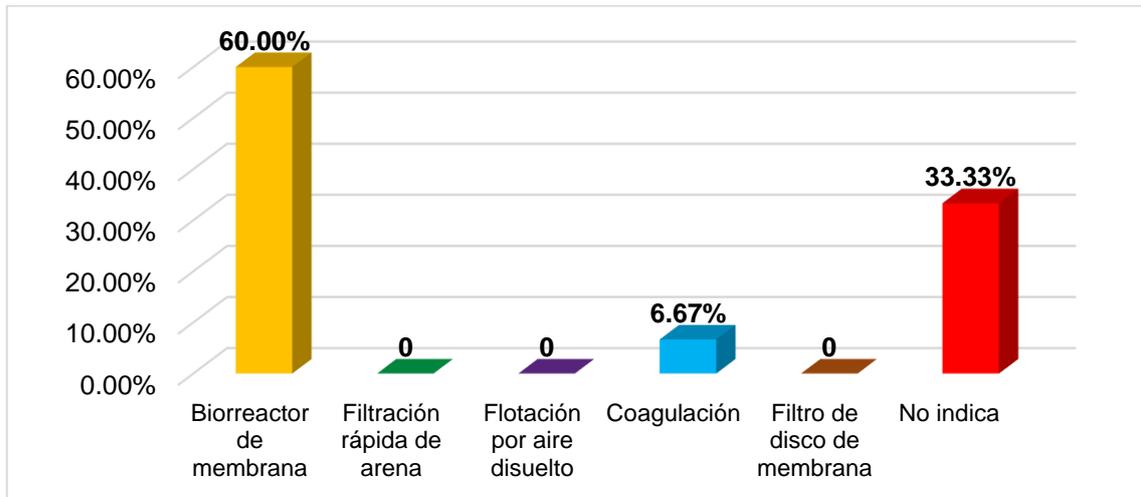
De acuerdo a los resultados obtenidos por los artículos, se pudo identificar las distintas tecnologías para la eliminación de microplásticos en las aguas residuales, así como el grado de eficacia que tiene cada tecnológica.

Figura 4. Describe las tecnologías usadas por los distintos autores para la eliminación de microplásticos en aguas residuales.



Según la figura 4, las tecnologías más empleadas por los autores son la filtración rápida con arena y el biorreactor de membrana principalmente con el 25.81% a diferencia de las demás tecnologías. Así mismo se pudo identificar que el biorreactor de membrana es las más eficiente en la eliminación de microplásticos según los estudios por los autores como se muestra en la figura 5. Esto se debería a que utilizan tecnologías de ultrafiltración por membranas y debido a esta filtración produce agua de muy alta calidad apta para su reutilización.

Figura 5. Eficiencia de tecnologías para eliminación de microplásticos en aguas residuales.



Según la figura 5, el 60% indica que la tecnología más eficiente para la eliminación de microplásticos en aguas residuales es el Biorreactor de membrana seguido por la tecnología de Coagulación con el 6,67%

V. CONCLUSIONES

1. La identificación de los distintos tipos de microplásticos (MP) contribuye para su eliminación, al identificarlos se puede aplicar la tecnología adecuada para una mejor eliminación y de esta manera contribuir significativamente en la descontaminación de aguas residuales, debido a que se tendría una mejor claridad sobre los tipos de MP presentes en las aguas residuales.
2. Se pudo determinar los métodos para la recolección y caracterización de MP. El método microspectroscopía FTIR uno de los más utilizados para la identificación de MP debido a que tiene la capacidad de proporcionar una caracterización que cubre la composición química, la forma y el tamaño de la partícula de MP, asimismo tenemos el método de tinción para la identificación y cuantificación. Con los métodos identificados se pudo determinar que la mayor presencia de tipos de MP presentes en las aguas residuales fueron las fibras. Es importante saber qué tipos de MP están presentes en las aguas residuales para determinar la mejor alternativa de eliminación.
3. Las tecnologías para la eliminación de MP son un gran aporte para la descontaminación de las aguas residuales y se pudo ver que tienen una gran eficiencia, la tecnología más destacada fue el biorreactor de membrana, el 60.00% de los autores según sus estudios indican que tiene una alta efectividad en la eliminación de MP. Se debe tener en cuenta que los MP están en distintos tipos y tamaños y de acuerdo a ello también aplicar las tecnologías.
4. Los artículos científicos revisados denotan que el 65% (fig. 3) señalan que la mayor presencia de microplásticos se encuentra en aguas residuales en tipo de fibras. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) se consideran las principales receptoras de microplásticos terrestres (Liu et al. 2021, p. 1) Las plantas de tratamiento de aguas residuales son las principales fuentes de descarga de microplásticos al medio ambiente (Mintenig et al. 2017, p. 365).

VI. RECOMENDACIONES

1. Establecer un estándar para el proceso de muestreo y detección de microplásticos, ya que puede afectar significativamente en los resultados obtenidos de caracterización y cuantificación.
2. La Universidad y grupos ambientales deben organizar seminarios talleres para fortalecer el conocimiento y aplicación sobre los métodos de identificación y eliminación para determinar la mejora alternativa.
3. Las Escuelas Profesionales de Ingeniería Ambiental del País deben gestionar el equipamiento tecnológico e incluir en sus electivos del Plan de Estudios cursos que promuevan en el estudiante universitario la actualización teórica científica respecto a la identificación de microplásticos, y los métodos y técnicas para su eliminación en aguas residuales.
4. Considerando que las tecnologías más empleadas para la eliminación de microplásticos en aguas residuales según la los artículos científicos revisados, son; la filtración rápida con arena y el biorreactor de membrana señalada como la más eficiente; se recomienda que el Estado a través del Ministerio del Ambiente debe implementar políticas de eliminación de microplásticos en aguas residuales municipales, legislando al respecto para que los gobiernos locales implementen ésta tarea de descontaminación del medio ambiente.

REFERENCIAS

1. BAKARAKI TURAN, N., SARI ERKAN, H. y ONKAL ENGIN, G., 2021. Microplastics in wastewater treatment plants: Occurrence, fate and identification. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 146, pp. 77-84. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/j.psep.2020.08.039. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582020317080>.
2. BAYO, J., LÓPEZ-CASTELLANOS, J. y OLMOS, S., 2020. Membrane bioreactor and rapid sand filtration for the removal of microplastics in an urban wastewater treatment plant. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 156, pp. 111211. ISSN 0025-326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2020.111211. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20303295>.
3. BAYO, J., OLMOS, S. y LÓPEZ-CASTELLANOS, J., 2021. Assessment of Microplastics in a Municipal Wastewater Treatment Plant with Tertiary Treatment: Removal Efficiencies and Loading per Day into the Environment. *Water*, vol. 13, no. 10, pp. 1339. DOI 10.3390/w13101339. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/10/1339>.
4. BEN-DAVID, E.A., HABIBI, M., HADDAD, E., HASANIN, M., ANGEL, D.L., BOOTH, A.M. y SABBAH, I., 2021. Microplastic distributions in a domestic wastewater treatment plant: Removal efficiency, seasonal variation and influence of sampling technique. *Science of The Total Environment*, vol. 752, pp. 141880. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141880. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720354097>.
5. BLAIR, R.M., WALDRON, S. y GAUCHOTTE-LINDSAY, C., 2019. Average daily flow of microplastics through a tertiary wastewater treatment plant over a ten-month period. *Water Research*, vol. 163, pp. 114909. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2019.114909. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135419306839>.
6. BOLLAÍN PASTOR, C., VICENTE AGULLÓ, D., BOLLAÍN PASTOR, C. y VICENTE AGULLÓ, D., 2019. Presencia de microplásticos en aguas y su

- potencial impacto en la salud pública. Revista Española de Salud Pública, vol. 93. ISSN 1135-5727. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1135-57272019000100012&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
7. BRETAS ALVIM, C., BES-PIÁ, M.A. y MENDOZA-ROCA, J.A., 2020a. Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants. Chemical Engineering Journal, vol. 402, pp. 126293. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2020.126293. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894720324219>.
 8. BRETAS ALVIM, C., BES-PIÁ, M.A. y MENDOZA-ROCA, J.A., 2020b. Separation and identification of microplastics from primary and secondary effluents and activated sludge from wastewater treatment plants. Chemical Engineering Journal, vol. 402, pp. 126293. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2020.126293. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894720324219>.
 9. BRETAS ALVIM, C., MENDOZA-ROCA, J.A. y BES-PIÁ, A., 2020. Wastewater treatment plant as microplastics release source – Quantification and identification techniques. Journal of Environmental Management, vol. 255, pp. 109739. ISSN 0301-4797. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109739. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719314574>.
 10. BUI, X.-T., VO, T.-D.-H., NGUYEN, P.-T., NGUYEN, V.-T., DAO, T.-S. y NGUYEN, P.-D., 2020. Microplastics pollution in wastewater: Characteristics, occurrence and removal technologies. Environmental Technology & Innovation, vol. 19, pp. 101013. ISSN 2352-1864. DOI 10.1016/j.eti.2020.101013. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186420308245>.
 11. CASTAÑETA, G., GUTIÉRREZ, A.F., NACARATTE, F. y MANZANO, C.A., 2020. Microplastics: a contaminant that grows in all environmental areas, its characteristics and possible risks to public health from exposure. Revista

- Boliviana de Química, vol. 37, no. 3, pp. 142-157. ISSN 0250-5460. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-54602020000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
12. CRISTALDI, A., FIORE, M., ZUCCARELLO, P., OLIVERI CONTI, G., GRASSO, A., NICOLOSI, I., COPAT, C. y FERRANTE, M., 2020. Efficiency of Wastewater Treatment Plants (WWTPs) for Microplastic Removal: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 21, pp. 8014. DOI 10.3390/ijerph17218014. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/17/21/8014>.
13. CRUZ, Y.C. de la, 2017. EL RIGOR CIENTÍFICO: UNA NECESIDAD DE LAS INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria*. e-ISSN 2528-7842, vol. 3, no. 2, pp. 41-50. ISSN 2528-7842. Disponible en: <http://45.238.216.13/ojs/index.php/mikarimin/article/view/414>.
14. CUNHA, C., SILVA, L., PAULO, J., FARIA, M., NOGUEIRA, N. y CORDEIRO, N., 2020. Microalgal-based biopolymer for nano- and microplastic removal: a possible biosolution for wastewater treatment. *Environmental Pollution*, vol. 263, pp. 114385. ISSN 0269-7491. DOI 10.1016/j.envpol.2020.114385. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974911936628X>.
15. ESFANDIARI, A. y MOWLA, D., 2021. Investigation of microplastic removal from greywater by coagulation and dissolved air flotation. *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 151, pp. 341-354. ISSN 0957-5820. DOI 10.1016/j.psep.2021.05.027. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582021002676>.
16. ESPINOZA FREIRE, E.E. y ESPINOZA FREIRE, E.E., 2020. La investigación cualitativa, una herramienta ética en el ámbito pedagógico. *Conrado*, vol. 16, no. 75, pp. 103-110. ISSN 1990-8644. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1990-86442020000400103&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

17. FORTIN, S., SONG, B. y BURBAGE, C., 2019. Quantifying and identifying microplastics in the effluent of advanced wastewater treatment systems using Raman microspectroscopy. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 149, pp. 110579. ISSN 0025-326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2019.110579. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X19307271>.
18. FRANCO, A.A., ARELLANO, J.M., ALBENDÍN, G., RODRÍGUEZ-BARROSO, R., QUIROGA, J.M. y COELLO, M.D., 2021. Microplastic pollution in wastewater treatment plants in the city of Cádiz: Abundance, removal efficiency and presence in receiving water body. *Science of The Total Environment*, vol. 776, pp. 145795. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.145795. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721008627>.
19. FRANCO, A.A., ARELLANO, J.M., ALBENDÍN, G., RODRÍGUEZ-BARROSO, R., ZAHEDI, S., QUIROGA, J.M. y COELLO, M.D., 2020. Mapping microplastics in Cadiz (Spain): Occurrence of microplastics in municipal and industrial wastewaters. *Journal of Water Process Engineering*, vol. 38, pp. 101596. ISSN 2214-7144. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101596. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420304748>.
20. GIES, E.A., LENOBLE, J.L., NOËL, M., ETEMADIFAR, A., BISHAY, F., HALL, E.R. y ROSS, P.S., 2018. Retention of microplastics in a major secondary wastewater treatment plant in Vancouver, Canada. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 133, pp. 553-561. ISSN 0025-326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2018.06.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X18304053>.
21. HAMIDIAN, A.H., OZUMCHELOUEI, E.J., FEIZI, F., WU, C., ZHANG, Y. y YANG, M., 2021. A review on the characteristics of microplastics in wastewater treatment plants: A source for toxic chemicals. *Journal of Cleaner Production*, vol. 295, pp. 126480. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.126480. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621007009>.

22. HAMZAH, S., YING, L.Y., AZMI, A.A.Abd.R., RAZALI, N.A., HAIROM, N.H.H., MOHAMAD, N.A. y HARUN, M.H.C., 2021. Synthesis, characterisation and evaluation on the performance of ferrofluid for microplastic removal from synthetic and actual wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 5, pp. 105894. ISSN 2213-3437. DOI 10.1016/j.jece.2021.105894. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334372100871X>.
23. HIDAYATURRAHMAN, H. y LEE, T.-G., 2019. A study on characteristics of microplastic in wastewater of South Korea: Identification, quantification, and fate of microplastics during treatment process. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 146, pp. 696-702. ISSN 0025-326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2019.06.071. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X1930517X>.
24. HONGPRASITH, N., KITTIMETHAWONG, C., LERTLUKSANAPORN, R., EAMCHOTCHAWALIT, T., KITTIPONGVISES, S. y LOHWACHARIN, J., 2020. IR microspectroscopic identification of microplastics in municipal wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 15, pp. 18557-18564. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-020-08265-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08265-7>.
25. LARES, M., NCIBI, M.C., SILLANPÄÄ, Markus y SILLANPÄÄ, Mika, 2018. Occurrence, identification and removal of microplastic particles and fibers in conventional activated sludge process and advanced MBR technology. *Water Research*, vol. 133, pp. 236-246. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2018.01.049. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418300630>.
26. LARES, M., NCIBI, M.C., SILLANPÄÄ, Markus y SILLANPÄÄ, Mika, 2019. Intercomparison study on commonly used methods to determine microplastics in wastewater and sludge samples. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 12, pp. 12109-12122. ISSN 1614-7499. DOI 10.1007/s11356-019-04584-6. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04584-6>.

27. LI, L., XU, G., YU, H. y XING, J., 2018. Dynamic membrane for micro-particle removal in wastewater treatment: Performance and influencing factors. *Science of The Total Environment*, vol. 627, pp. 332-340. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.01.239. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971830281X>.
28. LIU, W., ZHANG, J., LIU, H., GUO, X., ZHANG, X., YAO, X., CAO, Z. y ZHANG, T., 2021. A review of the removal of microplastics in global wastewater treatment plants: Characteristics and mechanisms. *Environment International*, vol. 146, pp. 106277. ISSN 0160-4120. DOI 10.1016/j.envint.2020.106277. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020322327>.
29. MAYO, T., STURM, B. y HIRIPITIYAGE, Y., 2019. Reliable quantification of microplastics in a municipal wastewater matrix. *WEFTEC 2019 - 92nd Annual Water Environment Federation's Technical Exhibition and Conference*. S.I.: s.n., pp. 3989-4018. Scopus
30. MEOÑO, J.F.L.-, TARANCO, C.G. y OLIVARES, Y.M., 2015. LAS AGUAS RESIDUALES Y SUS CONSECUENCIAS EN EL PERÚ., vol. 2, pp. 18. ISSN 2311-7613. Disponible en: <https://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>.
31. MINTENIG, S.M., INT-VEEN, I., LÖDER, M.G.J., PRIMPKE, S. y GERDTS, G., 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research*, vol. 108, pp. 365-372. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2016.11.015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135416308600>.
32. NGO, P.L., PRAMANIK, B.K., SHAH, K. y ROYCHAND, R., 2019. Pathway, classification and removal efficiency of microplastics in wastewater treatment plants. *Environmental Pollution*, vol. 255, pp. 113326. ISSN 0269-7491. DOI 10.1016/j.envpol.2019.113326. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119337169>.

33. NGUYEN, N.B., KIM, M.-K., LE, Q.T., NGO, D.N., ZOH, K.-D. y JOO, S.-W., 2021. Spectroscopic analysis of microplastic contaminants in an urban wastewater treatment plant from Seoul, South Korea. *Chemosphere*, vol. 263, pp. 127812. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.127812. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520320075>.
34. PARK, D., KIM, D., LIM, H.J., PARK, C., CHUA, B., LEE, J.W., YOON, Y. y SON, A., 2021. Chia seed-assisted separation and detection of polyvinyl chloride microplastics in water via gas chromatography mass spectrometry. *Chemosphere*, vol. 273, pp. 129599. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.129599. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521000692>.
35. PELÁEZ VILLA, S., 2020. Uso de la electrocoagulación como alternativa para la eliminación de microplásticos presentes en las aguas residuales urbanas. En: Accepted: 2020-10-15T07:54:07Z, Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109730>.
36. PRAMANIK, B.K., PRAMANIK, S.K. y MONIRA, S., 2021. Understanding the fragmentation of microplastics into nano-plastics and removal of nano/microplastics from wastewater using membrane, air flotation and nano-ferrofluid processes. *Chemosphere*, vol. 282, pp. 131053. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.131053. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521015253>.
37. RAFAEL, M.G., 2019. Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas. S.I.: Ediciones Díaz de Santos. ISBN 978-84-9052-264-6. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=jmzWDwAAQBAJ&lpg=PA343&dq=microplasticos%20en%20las%20aguas&hl=es&pg=PA343#v=onepage&q=microplasticos%20en%20las%20aguas&f=false>.
38. RAJALA, K., GRÖNFORS, O., HESAMPOUR, M. y MIKOLA, A., 2020. Removal of microplastics from secondary wastewater treatment plant effluent by

- coagulation/flocculation with iron, aluminum and polyamine-based chemicals. *Water Research*, vol. 183, pp. 116045. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2020.116045. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420305820>.
39. RAJU, S., CARBERY, M., KUTTYKATTIL, A., SENTHIRAJAH, K., LUNDMARK, A., ROGERS, Z., SCB, S., EVANS, G. y PALANISAMI, T., 2020. Improved methodology to determine the fate and transport of microplastics in a secondary wastewater treatment plant. *Water Research*, vol. 173, pp. 115549. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2020.115549. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135420300853>.
40. RIOS, M.F., MARQUEZ, F., GATTI, M., GALVAN, D.E., BRAVO, G., BIGATTI, G. y BROGGER, M.I., 2020. Microplásticos: macroproblemas. S.I.: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 16. ISBN 978-987-41-1115-9. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/129919>.
41. SARRIA-VILLA, R.A. y GALLO-CORREDOR, J.A., 2016. La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, vol. 8, pp. 21-27. ISSN 2145-2628. Disponible en: <https://jci.uniautonoma.edu.co/2016/2016-3.pdf>.
42. SCHMIDT, C., KUMAR, R., YANG, S. y BÜTTNER, O., 2020. Microplastic particle emission from wastewater treatment plant effluents into river networks in Germany: Loads, spatial patterns of concentrations and potential toxicity. *Science of The Total Environment*, vol. 737, pp. 139544. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139544. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720330618>.
43. SEMBIRING, E., FAJAR, M. y HANDAJANI, M., 2021. Performance of rapid sand filter – single media to remove microplastics. *Water Supply*, vol. 21. DOI 10.2166/ws.2021.060.
44. SHEN, M., HU, T., HUANG, W., SONG, B., ZENG, G. y ZHANG, Y., 2021. Removal of microplastics from wastewater with aluminosilicate filter media and

- their surfactant-modified products: Performance, mechanism and utilization. *Chemical Engineering Journal*, vol. 421, pp. 129918. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/j.cej.2021.129918. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894721015023>.
45. SIMON, M., VAN ALST, N. y VOLLERTSEN, J., 2018. Quantification of microplastic mass and removal rates at wastewater treatment plants applying Focal Plane Array (FPA)-based Fourier Transform Infrared (FT-IR) imaging. *Water Research*, vol. 142, pp. 1-9. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2018.05.019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418303877>.
46. SNYDER, H., 2019. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, vol. 104, pp. 333-339. ISSN 0148-2963. DOI 10.1016/j.jbusres.2019.07.039. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296319304564>.
47. SUN, J., DAI, X., WANG, Q., VAN LOOSDRECHT, M.C.M. y NI, B.-J., 2019. Microplastics in wastewater treatment plants: Detection, occurrence and removal. *Water Research*, vol. 152, pp. 21-37. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2018.12.050. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135418310686>.
48. TAGG, A.S., SAPP, M., HARRISON, J.P. y OJEDA, J.J., 2015. Identification and Quantification of Microplastics in Wastewater Using Focal Plane Array-Based Reflectance Micro-FT-IR Imaging. *Analytical Chemistry*, vol. 87, no. 12, pp. 6032-6040. ISSN 0003-2700. DOI 10.1021/acs.analchem.5b00495. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.5b00495>.
49. TALVITIE, J., MIKOLA, A., KOISTINEN, A. y SETÄLÄ, O., 2017. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies. *Water Research*, vol. 123, pp. 401-407. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2017.07.005. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417305687>.

50. TANG, N., LIU, X. y XING, W., 2020. Microplastics in wastewater treatment plants of Wuhan, Central China: Abundance, removal, and potential source in household wastewater. *Science of The Total Environment*, vol. 745, pp. 141026. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141026. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720345551>.
51. WOLFF, S., WEBER, F., KERPEN, J., WINKLHOFER, M., ENGELHART, M. y BARKMANN, L., 2021. Elimination of Microplastics by Downstream Sand Filters in Wastewater Treatment. *Water*, vol. 13, no. 1, pp. 33. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/w13010033. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/33>.
52. XU, Z., BAI, X. y YE, Z., 2021. Removal and generation of microplastics in wastewater treatment plants: A review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 291, pp. 125982. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.125982. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262100202X>.
53. ZHANG, L., LIU, J., XIE, Y., ZHONG, S. y GAO, P., 2021. Occurrence and removal of microplastics from wastewater treatment plants in a typical tourist city in China. *Journal of Cleaner Production*, vol. 291, pp. 125968. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.125968. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621001888>.
54. ZHANG, X., CHEN, J. y LI, J., 2020. The removal of microplastics in the wastewater treatment process and their potential impact on anaerobic digestion due to pollutants association. *Chemosphere*, vol. 251, pp. 126360. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126360. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520305531>.
55. ZHOU, G., WANG, Q., LI, J., LI, Q., XU, H., YE, Q., WANG, Y., SHU, S. y ZHANG, J., 2021. Removal of polystyrene and polyethylene microplastics using PAC and FeCl₃ coagulation: Performance and mechanism. *Science of The Total Environment*, vol. 752, pp. 141837. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.141837. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720353663>.

56. ZIAJAHROMI, S., NEALE, P.A., RINTOUL, L. y LEUSCH, F.D.L., 2017. Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics. *Water Research*, vol. 112, pp. 93-99. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/j.watres.2017.01.042. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417300489>.
57. ZIAJAHROMI, S., NEALE, P.A., TELLES SILVEIRA, I., CHUA, A. y LEUSCH, F.D.L., 2021. An audit of microplastic abundance throughout three Australian wastewater treatment plants. *Chemosphere*, vol. 263, pp. 128294. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.128294. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520324899>.