

**Aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable. Monografía.**

**Jhon Jairo Collazos Reina**

**Director (a)  
Jimmy Alexander Morales Morales**

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Química  
Cali, Colombia  
2025**

**Aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable. Monografía.**

**Jhon Jairo Collazos Reina**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Químico.**

**Director (a)  
Jimmy Alexander Morales Morales Director**

**Grupo de Investigación: QUIBIO**

**Línea de Investigación: Grupo de investigación en Química y biotecnología.**

**Concientizar a la comunidad sobre la presencia de microplásticos en el agua potable para fomentar estrategias preventivas y proteger la salud y el recurso hídrico.**

**Universidad Santiago de Cali  
Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Química  
Ciudad, Colombia  
2025**

## IMPACTOS

Relacione el (los) impacto(s) que presentó el Trabajo de Grado según los siguientes criterios:

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
<b>Económico</b>	Reducción de costos con el uso de espectroscopia Raman a comparación de otras técnicas de mayor complejidad.	Empresas de análisis de agua, instituciones académicas y universitarias, entidades de control sanitario
<b>Responsabilidad social</b>	Dejar en evidencia la presencia de microplásticos en agua de la llave y sus posibles riesgos por su consumo	Ciudadanos, pobladores, habitantes y consumidores en general
<b>Científico</b>	Demostrar recursos investigativos sobre la identificación y cuantificación de microplásticos en agua de la llave	Instituciones y comunidades académicas, científicas e investigadoras y áreas interesadas
<b>Indicadores de Gestión</b>	Muestra de datos y resultados que pueden propiciar nuevas normativas para la calidad del agua	Empresas encargadas del tratamiento de aguas, instituciones y organizaciones políticas
<b>Tecnológico</b>	Uso de espectroscopia Raman para realizar análisis de microplásticos en muestras de agua potable	Laboratorios, instituciones de investigación y universidades
<b>Técnico</b>	Aplicación de un método de análisis no destructivo, con alta especificidad para la determinación de microplásticos	Profesionales y tecnólogos en análisis químicos
<b>Ambiental</b>	Identificación de contaminantes microplásticos en agua potable e identificación de sus efectos	Autoridades ambientales pertinentes, entidades gubernamentales y de salud
<b>Social</b>	Promover y garantizar consumo de agua sin contaminantes o con niveles mínimos que sean permitidos	Comunidades en general y entidades encargadas de su distribución
<b>Cultural</b>	Propiciar un adecuado manejo y cuidado en los afluentes hídricos	Comunidades, pobladores, habitantes, familiares, medios de comunicación e instituciones

# Aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable

Jhon Jairo Collazos Reina<sup>1</sup> jhon.collazos03@usc.edu.co

<sup>1</sup>Grupo de Investigación QUIBIO, Programa de Química. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

La presencia de microplásticos en el ambiente representa una problemática de carácter químico, ambiental y social que ha ido en aumento durante las últimas décadas. En esta monografía se aborda esta situación, enfocándose particularmente en la detección de microplásticos en el agua potable y de grifo en distintas ciudades y países, evidenciando así su presencia en los sistemas hídricos de las ciudades en los distintos países.

Se otorga especial atención a la técnica de espectroscopía Raman y sus variantes ( $\mu$ Raman), este método analítico resulta ser selectivo y no destructivo, permite identificar y cuantificar de forma eficiente distintos tipos de microplásticos, en tamaños microscópicos e incluso nanométricos. Gracias a su sensibilidad y especificidad, esta técnica se ha posicionado como una herramienta clave en el análisis de contaminantes emergentes, superando algunas limitaciones de otras metodologías como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o la microscopía electrónica de barrido (SEM/EDX).

Diversos estudios recientes han reportado concentraciones variables de microplásticos en muestras de agua potable, utilizando espectroscopía Raman como método de identificación. Estos resultados no solo validan la efectividad de la técnica, sino que también alertan sobre la necesidad de implementar sistemas de monitoreo y control que prevengan su ingreso a las redes de distribución de agua.

Aunque la presencia de microplásticos en el agua de consumo humano ya ha sido ampliamente documentada, los efectos concretos sobre la salud aún no son concluyentes. Sin embargo, su persistencia, bioacumulación y potencial toxicidad hacen que su estudio continúe siendo una prioridad para la comunidad científica, desde un enfoque preventivo.

**Palabras clave:** Agua potable; espectroscopia Raman; microplásticos; polímeros

# Application of Raman Spectroscopy for the determination of microplastics in drinking water

## ABSTRACT

The presence of microplastics in the environment represents a chemical, environmental, and social issue that has been increasing over the past few decades. This monograph addresses this situation, focusing particularly on the detection of microplastics in tap and drinking water across various cities and countries, thus evidencing their presence in urban water systems worldwide.

Special attention is given to the Raman spectroscopy technique and its variants ( $\mu$ Raman). This analytical method is selective and non-destructive, allowing for the efficient identification and quantification of various types of microplastics at microscopic and even nanometric scales. Due to its high sensitivity and specificity, this technique has become a key tool in the analysis of emerging pollutants, surpassing some limitations of other methodologies such as Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX).

Several recent studies have reported varying concentrations of microplastics in drinking water samples using Raman spectroscopy as the method of identification. These results not only validate the effectiveness of the technique but also highlight the need to implement monitoring and control systems to prevent microplastics from entering water distribution networks.

Although the presence of microplastics in drinking water has been widely documented, their specific effects on human health remain inconclusive. However, their persistence, bioaccumulation potential, and toxicity make their study a continued priority for the scientific community from a preventive perspective.

**Keywords:** *Drinking water; Raman spectroscopy; microplastics; polymers*

## HIGHLIGHTS

- Se identificaron microplásticos de polietileno de tamaños de 15  $\mu$ m y microplásticos de tereftalato de polietileno de 31 $\mu$ m en muestras de agua potable en ciudades de China.
- Se cuantificaron  $440 \pm 275$  MP/L (microplásticos por litro) e identificando más de 14 plásticos diferentes, incluyendo el polipropileno y el polietileno en muestras de agua de llave en ciudades de China.
- Se evidencio en las investigaciones consultadas que al emplear la técnica de espectroscopia Raman para determinar y cuantificar microplásticos hay una selectividad para identificar distintos plásticos y no hay destrucción de las muestras

## 1. INTRODUCCIÓN

Una de las problemáticas abordadas actualmente en los ámbitos ambiental, químico y social, especialmente en esta década y en el año 2025 es la contaminación por plásticos, la cual ha venido aumentando drásticamente, superando las 8.300 millones de toneladas en las últimas décadas (Jaikumar et al., 2025). De esta elevada producción se derivan subproductos como los microplásticos (Corradini et al., 2024), que pueden llegar a contaminar el medio ambiente, afectando fuentes de agua dulce como ríos, sistemas de aguas subterráneas y superficiales, que abastecen a comunidades y ciudades de muchas naciones.

Esta monografía tiene como eje central evidenciar la problemática ambiental asociada a la presencia de microplásticos en el agua potable, su detección y cuantificación mediante la técnica de espectroscopía Raman. El objetivo general es presentar de manera escrita y expositiva información crítica y objetiva sobre la aplicación de esta técnica en la determinación de microplásticos en el agua potable, considerando si representan un riesgo para la salud. Para ello, se realizó una revisión de alcance en plataformas y bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect y Google Scholar, con el fin de garantizar la calidad, el rigor y la fiabilidad de las fuentes consultadas. Estas plataformas se caracterizan por su contenido científico evaluado por pares altamente calificados, lo cual las convierte en recursos confiables y acreditados (Mallappa et al., 2025). La estrategia de búsqueda incluyó palabras clave en español e inglés como “microplásticos”, “polímeros”, “espectroscopía Raman”, así como frases específicas como “detección de microplásticos en agua potable por espectroscopía Raman”. Se obtuvieron múltiples documentos relacionados con el tema, seleccionando únicamente la información más pertinente y relevante.

La importancia de investigar y desarrollar este tema radica en su relevancia social, química y ambiental, dado que el acceso a agua potable es fundamental para el funcionamiento adecuado del organismo humano (Sajjad et al., 2025). Además, los posibles efectos en la salud derivados del consumo de microplásticos presentes en el agua son motivo de investigación y debate en la actualidad (Lalrinfela et al., 2024). Este tipo de investigación bibliográfica tiene un impacto académico y social significativo, pues visibiliza una problemática creciente: la contaminación del agua potable con microplásticos, que aumenta de forma proporcional a la producción masiva de productos plásticos (Babaei et al., 2024). Esta situación genera un impacto ambiental considerable que podría salirse aún más de control si no se toman medidas adecuadas. La relación entre la sociedad y los microplásticos es cada vez más estrecha; basta con beber un vaso de agua al día para, potencialmente, ingerir estos compuestos (VishnuRadhan et al., 2025).

Diversas investigaciones científicas han abordado esta temática, y una de las herramientas analíticas más utilizadas para corroborar la presencia de microplásticos es la espectroscopía Raman (Yang et al., 2024). Esta técnica permite la identificación y cuantificación precisa de los microplásticos presentes en el agua. Los microplásticos se originan principalmente a partir de hidrocarburos de cadena larga o derivados del petróleo utilizados en la fabricación de plásticos, los cuales pueden fragmentarse debido al desgaste, factores climáticos u otras condiciones, generando partículas cada vez más pequeñas. Los polímeros más comúnmente encontrados incluyen el polietileno (PE), el tereftalato de polietileno (PET) y el cloruro de polivinilo (PVC), entre otros (Dalmau-Soler et al., 2025).

Para detectar, identificar y cuantificar microplásticos se utilizan diversas técnicas instrumentales. Entre las más comunes se encuentran la microscopía electrónica de barrido (SEM), la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), la espectrometría de masas acoplada a cromatografía de gases (GC-MS) y la espectroscopía Raman. Cada una de estas técnicas presenta ventajas y desventajas. Por ejemplo, la FTIR es eficiente para identificar polímeros plásticos de distintas variedades, pero a diferencia de la espectroscopía Raman tiene limitaciones frente a partículas muy pequeñas, además, se requiere de preparar las muestras para llevarlas al equipo de infrarrojos (Sun et al., 2021). Esto influye directamente en beneficios económicos, sino hay tanta manipulación de muestras, sus tratamientos con reactivos y otros componentes bajan, minimizando costos y además, la contaminación por el uso de reactivos es menor. Por otro lado, el GC-MS permite identificar aditivos plásticos, pero implica procesos destructivos y complejos de extracción (Ng et al., 2020). En contraste, la espectroscopía Raman, técnica abordada en este documento, se destaca por ser no destructiva, altamente selectiva y sensible, capaz de identificar partículas de hasta 1  $\mu\text{m}$  sin necesidad de pretratamiento complejo (Lamichhane et al., 2023; Rocha-Santos & Duarte, 2015). La espectroscopía Raman es capaz de distinguir formas y tamaños variados de microplásticos y complementada con la microscopía Raman, permite visualizar y cuantificar partículas muy pequeñas. Por ejemplo, en estudios realizados en Irán se han detectado partículas con tamaños que oscilan entre los 10  $\mu\text{m}$  y los 5.000  $\mu\text{m}$  (Ali et al., 2021). Estas pequeñas dimensiones permiten que los microplásticos ingresen fácilmente a los cuerpos de agua y no sean eliminados durante los procesos de tratamiento de agua potable. Aunque se ha evidenciado la presencia de microplásticos en el agua potable de distintas regiones del mundo, los posibles riesgos que implican para la salud humana continúan siendo objeto de investigación. Gracias a la detección de microplásticos mediante la técnica de espectroscopía Raman, se promueve un gran avance en la lucha contra esta problemática ambiental.

## 2. METODOLOGÍA

Se aplicó una metodología mixta, combinando enfoques cualitativos y cuantitativos (Medina Romero, 2023). La metodología de esta monografía se desarrolla con el propósito de realizar una investigación bibliográfica para consultar artículos y documentos que brinden información, datos y resultados afines a la temática de la presencia de microplásticos en agua potable, también, los artículos deben hablar sobre la cuantificación y determinación de microplásticos aplicando la técnica de espectroscopía Raman. La metodología de búsqueda es mixta o combinada, teniendo claro el tema central y los objetivos del documento se acogen algunos de los lineamientos de la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Park et al., 2022), aclarando y explicando que aunque anteriormente se había considerado emplear el método PRISMA, se optó por no usarlo a cabalidad como herramienta metodológica en esta monografía, ya que esta es una herramienta que se emplea principalmente en revisiones sistemáticas y metaanálisis que se

compone por 27 ítems (Page et al., 2021), según su última versión de 2020, estos ítems o listados de verificación no son requeridos en su totalidad para la elaboración de este documento, la idea central es desarrollar una revisión académica orientada a indagar en documentos de las bases de datos que hablen explícitamente sobre la presencia de microplásticos en el agua potable, y también, expongan sobre el uso de las técnicas de detección y cuantificación de estos compuestos, con énfasis en la técnica espectroscopía Raman. No obstante, algunos elementos del método PRISMA sí fueron tenidos en cuenta para mantener un grado de sistematicidad en la búsqueda documentada, como la formulación clara de la pregunta de investigación, la aplicación de filtros por fechas, idioma y tipo de fuente, así como la exclusión de artículos duplicados o irrelevantes. Esta adaptación metodológica permitió construir una base bibliográfica sólida, pertinente y actualizada, sin comprometer la integridad académica del trabajo.

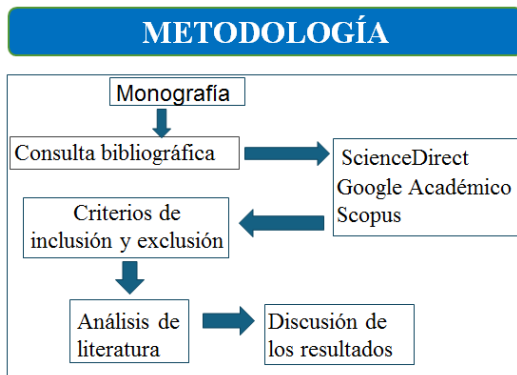


Figura 1. Diagrama de metodología.

## 2.1. Búsqueda de la información

El proceso de búsqueda iniciará con una revisión de la literatura científica, para resolver preguntas de la investigación y cumplir con los objetivos planteados. Este ejercicio implica la identificación de fuentes relevantes a través de bases de datos de alto impacto, como ScienceDirect, Scopus, Web of Science, SciELO y Google Académico. La selección de estas plataformas asegura la calidad y el rigor de las publicaciones consultadas, tal como lo recomiendan investigaciones metodológicas recientes (Sánchez-Serrano et al., 2022). La búsqueda incluirá estudios relacionados con la aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable.

## **2.2. Estrategias de búsqueda y delimitación temporal**

Para consultar conceptos de alta relevancia en la investigación se emplearán términos clave y palabras compuestas relacionados con el tema de estudio, como: “ microplásticos, polímero, cuantificación, degradable, agua potable, espectroscopia Raman”. Estos términos se combinaron con operadores booleanos para ampliar o limitar la búsqueda según fuera necesario. Asimismo, se delimitará el análisis a publicaciones de los últimos cinco años (2021-2025), con el objetivo de garantizar la actualidad de los hallazgos y su aplicabilidad en contextos contemporáneos (Robleda, 2019).

## **2.3. Proceso de selección**

La selección de los estudios se llevará a cabo en varias etapas, comenzando con la eliminación de duplicados y seguido de un proceso de cribado basado en los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Se incluirán estudios publicados en inglés y español, con un enfoque en investigaciones originales, artículos publicados y con temas en relación al requerido, no necesariamente los artículos tienen que tratar o abarcar con totalidad el tema principal, ya que se pueden requerir conceptos aislados. Para la búsqueda de datos y resultados de precisión los artículos seleccionados deberán estar relacionados con la aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable, proporcionando datos relevantes y detallados (Elshater & Abusaada, 2022). Tras el proceso de filtrado, se seleccionarán en promedio 50 estudios para un análisis profundo, detallado y apropiado.

## **2.4. Criterios de inclusión:**

Para garantizar la relevancia y la calidad de los estudios, se definirán criterios específicos de inclusión:

- Año de publicación: Solo se considerarán estudios publicados entre 2021 y 2025.
- Idioma: Se incluirán artículos en inglés y español.
- Calidad metodológica: Se priorizarán trabajos publicados en revistas indexadas y revisadas por pares.
- Relevancia temática: Se seleccionarán estudios que respondan directamente a la pregunta de investigación, incluyendo trabajos sobre la aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable. En algunos casos se tendrán en cuenta estudios con otras técnicas de análisis para comparación de resultados. También, se tendrán en cuenta temas puntuales o definición de conceptos claves como microplásticos, polímeros, entre otros.
- Se tendrán en cuenta estudios que analicen microplásticos en agua potable: ríos, pozos, lagos, lagunas, embalses y afluentes hídricos de agua dulce en general.
- Se tendrán en cuenta estudios en donde se Identificación de polímeros plásticos, especialmente por la técnica de espectroscopia Raman.

## **2.5. Criterios de exclusión:**

- No se tendrán en cuenta los resultados y valores de estudios en donde las muestras que contienen los microplásticos sean obtenidas del océano, del mar o de aguas residuales.

## **2.6. Extracción de datos válidos**

La extracción de datos se realiza utilizando los ítems de búsqueda, según los temas centrales de interés para recopilar información clave de los estudios seleccionados. Los datos recolectados incluirán el año de publicación, país, tipo de microplásticos, fuente de contaminación, métodos de detección y resultados principales. Los datos y resultados se presentarán escritos en el documento para desarrollar una escritura constructiva en referencia a la temática.

## **2.7. Análisis de la literatura**

El análisis de la literatura se centrará en variables esenciales como microplásticos, los tipos de microplásticos y la metodología de detección mediante la técnica de espectroscopía Raman. Se realizarán análisis de subgrupos para explorar posibles fuentes de heterogeneidad entre los datos recolectados (Gough et al., 2019). Este análisis permitirá evaluar la aplicabilidad de los resultados en diferentes contextos industriales, académicos e investigativos.

## **2.8. Interpretación de los resultados**

Los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica se analizarán de manera narrativa y tabular. Se destacará cualquier estudio que, aunque cumpliera los criterios de inclusión, fuera excluido por otras razones, mitigando así posibles sesgos en el análisis (Park et al., 2022). Además, se identificarán similitudes, diferencias y patrones relevantes entre los estudios incluidos, proporcionando una visión integral del estado del arte en torno a la aplicación de la técnica Espectroscopía Raman para la determinación de microplásticos en el agua potable.

## **3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

La contaminación por microplásticos en el agua potable constituye una problemática ambiental creciente en los últimos años, como lo demuestran diversos estudios y reportes científicos (Sekar et al., 2024). Este documento se fundamenta en el análisis de más de 40 artículos científicos publicados en editoriales de reconocimiento internacional como Elsevier, utilizando bases de datos como Scopus y ScienceDirect. Asimismo, se recurrió a Google

Académico, donde se identificaron gran parte de las fuentes que sustentan el contenido académico y científico aquí expuesto.

Las búsquedas se realizaron mediante palabras clave y frases en español e inglés, tales como: “*microplásticos*”, “*espectroscopía Raman*”, “*microplásticos en agua potable*”, y “*cuantificación de microplásticos en agua mediante espectroscopía Raman*”. El término “microplásticos” y la frase “microplásticos en agua” arrojaron más de 30.000 resultados de artículos y documentos con fechas de publicación entre 2021 y 2025. No obstante, para asegurar la pertinencia del contenido, se aplicaron filtros más específicos, reduciendo la cantidad de resultados a menos de 1.000 cuando se emplearon frases más precisas. Posterior a esta preselección se redujo el número a una cuarta parte. Solo se seleccionaron los artículos más relevantes y vinculados directamente con las temáticas y la problemática abordada.

La utilización de una metodología mixta permitió integrar de manera más flexible los estudios y artículos consultados. No obstante, cabe aclarar que no se aplicó la metodología PRISMA. (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para estructurar las consultas bibliográficas. Este método se había contemplado usar inicialmente en este texto investigativo, pero se optó por no usarlo en su totalidad debido a la naturaleza exploratoria y mixta del enfoque metodológico utilizado. El método PRISMA está estructurado especialmente en revisiones sistemáticas y metaanálisis rigurosos (Barrios et al., 2021) que cuentan con un número de ítems a seguir, pautas estrictas de inclusión y exclusión, y análisis estadísticos comparativos entre estudios. En el contexto de esta monografía, la idea central metodológica fue realizar una revisión académica orientada a explorar el estado actual del conocimiento sobre la presencia de microplásticos en el agua potable, así como las técnicas de detección, con énfasis en la espectroscopía Raman. Dado que esta idea implicaba integrar fuentes con enfoques cualitativos y cuantitativos, de diversa índole (estudios experimentales, revisiones, reportes académicos y artículos de opinión científica), se optó por una metodología de búsqueda mixta, que ofreciera mayor flexibilidad en la selección y análisis de información relevante.

Durante el análisis de la literatura, se evidenció el impacto global de la producción masiva de plásticos desde la década de 1950. Hasta la fecha, se han generado más de 8.300 millones de toneladas de plásticos (Tian et al., 2023), una cifra alarmante considerando que estos materiales son altamente resistentes y no biodegradables en su totalidad (Cao et al., 2024). Esta acumulación ha derivado en diversas formas de contaminación, entre ellas la presencia de microplásticos en el agua potable.



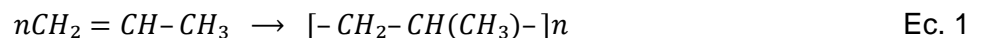
Figura 2. Plásticos que se vuelven contaminantes.

Nota. Adaptado de Muhib et al. (2023).

Los microplásticos son partículas de plástico que, por lo general, no son visibles a simple vista. Se definen tradicionalmente como partículas menores a 5 mm (Bermúdez & Swarzenski, 2021). No obstante, investigaciones más recientes han propuesto subcategorías según el tamaño: partículas entre 200  $\mu\text{m}$  y 2000  $\mu\text{m}$  se clasifican como mesoplásticos, y aquellas mayores a 2000  $\mu\text{m}$  como macroplásticos (Bermúdez & Swarzenski, 2021, p. 5). Algunos estudios incluso sugieren establecer el límite superior de los microplásticos en 5 mm (Guevara et al., 2022), lo que podría reflejar una tendencia hacia una redefinición futura de estas escalas.

Para comprender el origen de los microplásticos, es esencial considerar su formación a partir de polímeros plásticos. Estos materiales se obtienen a partir de recursos naturales como los hidrocarburos o derivados del petróleo, a los cuales se añaden aditivos como colorantes y plastificantes. Su estructura se basa en la unión de enlaces C–C, C–O y C–N para formar monómeros (Poonia et al., 2025), los cuales se enlazan en cadenas repetitivas para formar polímeros. Los plásticos resultantes son altamente moldeables, térmicamente estables y resistentes a presiones mecánicas.

Entre los polímeros más producidos a nivel global se encuentran el polipropileno (PP), poliestireno (PS), polietileno (PE), polietileno de alta (HDPE) y baja densidad (LDPE), tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC) y poliuretano (PU). Por ejemplo, el polipropileno es un termoplástico que se obtiene mediante la polimerización del propeno con un catalizador tipo Ziegler-Natta, como se describe a continuación:



El polipropileno se utiliza en una amplia variedad de productos, desde envases hasta piezas automotrices y textiles. El poliestireno, por su parte, se emplea en espumas aislantes, mientras que el PET es común en envases de bebidas. El PVC es ampliamente utilizado en sistemas de tuberías para la distribución de agua potable, pero se ha demostrado que este material puede deteriorarse con el tiempo, liberando microplásticos al agua (Sheng et al., 2023).

Aunque los plásticos tienen múltiples usos, su inadecuada disposición tras su vida útil provoca contaminación ambiental significativa. Uno de los efectos más preocupantes es la fragmentación de estos materiales en microplásticos, que no son completamente biodegradables (Cao et al., 2024). En condiciones naturales, no existen temperaturas suficientemente altas ni microorganismos especializados capaces de degradar por completo estos polímeros, lo que provoca su acumulación en forma de partículas pequeñas entre 1µm a 5000 µm, e incluso en tamaños nano ( $10^{-9}$  m).

Los microplásticos se clasifican en dos tipos principales según su origen: los primarios, diseñados intencionadamente en tamaños microscópicos para productos como cosméticos o textiles; y los secundarios, que resultan de la fragmentación de objetos plásticos más grandes como botellas, bolsas o neumáticos (Muñiz & Rahman, 2025).

Una de las principales vías de ingreso de microplásticos al sistema hídrico es la escorrentía superficial (Al-Amri et al., 2024), que arrastra partículas desde zonas urbanas, agrícolas o industriales hacia ríos y fuentes hídricas. En muchas ciudades, el agua que llega al grifo proviene directamente de estos ríos, previamente, han sido tratadas en plantas potabilizadoras.

Por ejemplo, en Cracovia (Polonia), el río Rudawa se desvía hacia una planta de tratamiento, donde se procesa antes de ser distribuido a la población (Ochmańska et al., 2025). Un caso similar se presenta en Cali (Colombia), donde el río Cauca es captado a través de una bocatoma para ser tratado en una planta de potabilización (Quiroga et al., 2022). Posteriormente, el agua es distribuida por tuberías subterráneas de PVC, las cuales, con el tiempo, pueden liberar partículas plásticas al flujo hídrico.

El agua que llega a los hogares en muchas ciudades y países es conducida previamente a plantas de tratamiento, con el fin de ser potabilizada y cumplir los estándares de calidad necesarios para el consumo humano. A simple vista, parece limpia; sin embargo, estudios recientes han demostrado que el agua del grifo contiene partículas de microplásticos.

Investigaciones realizadas en el este urbano de China, en un sistema integral de agua potable que abastece a más de 6.7 millones de habitantes, identificaron microplásticos de polietileno de 15 µm y de tereftalato de polietileno de 31 µm (Han et al., 2025). Las mediciones se realizaron utilizando membranas de politetrafluoroetileno, con poros de tamaño micrométrico, apropiadas para este tipo de análisis. De manera similar, una investigación reciente desarrollada en la ciudad de Cádiz, España, reportó la presencia de microplásticos entre 20 µm y 45 µm, empleando filtros con tamiz de acero inoxidable (Barroso et al., 2025). Estos polímeros fueron encontrados en muestras de ríos y fuentes de abastecimiento destinadas al consumo humano.

Para lograr una identificación precisa de los tipos de plásticos presentes en el agua, diversos estudios han implementado distintas técnicas de análisis, la técnica abordada en este

documento es la espectroscopía Raman, reconocida como una de las metodologías instrumentales más confiables para determinar y cuantificar este tipo de polímeros. Esta técnica se basa en la interacción entre una fuente de luz láser y las moléculas del polímero plástico, generando una dispersión de la luz en longitudes de onda similares a la de la fuente emisora (Álvarez et al., 2025). Sin embargo, una pequeña fracción de la luz se dispersa en diferentes longitudes de onda, lo que representa las vibraciones moleculares propias de cada polímero, permitiendo así su identificación, ya que cada uno presenta un espectro Raman característico.



Figura 3. Espectrómetro Raman.

Nota. Tomado de Thermo Scientific DXR3 SmartRaman

Entre las principales ventajas de la espectroscopía Raman se destaca que no destruye las muestras, ya que utiliza fuentes láser de baja potencia (532 a 785 nm) (Balakhnina et al., 2024), lo cual permite preservar la integridad del material analizado. Esto conlleva a exaltar las ventajas de la espectroscopia Raman frente a las otras técnicas que se usan para determinar y cuantificar microplásticos en agua, de esta manera, dichas ventajas y por supuesto algunas de las limitaciones respecto a las otras técnicas son las siguientes: FTIR (Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier): es una técnica que se usa a menudo para identificar distintos tipos de polímeros de microplásticos mayores a 10  $\mu\text{m}$ . Aunque es de costo moderado y no destructiva, tiene una menor resolución espacial que Raman y puede verse afectada por la humedad en las muestras, lo que limita su precisión en ciertos análisis (Nguyen et al., 2023). También, es necesaria la preparación de las muestras para realizar los análisis de microplásticos, ya que de no hacerse, se pueden obtener resultados poco precisos y confiables que afecten los espectros esperados.

A diferencia de FTIR, la espectroscopia Raman usualmente no requiere de preparación de muestras, según sea el caso de estudio si lo requerirá. Otra ventaja es la detección de microplásticos, menor a 20  $\mu\text{m}$  por parte de Raman, la técnica cuenta con una mejor resolución y con un límite de detección cercano a los 10  $\mu\text{m}$  por tamaño y para  $\mu\text{Raman}$  el límite de detección es aproximadamente de 1 $\mu\text{m}$  (Sol et al., 2023), mientras que con FTIR se pueden identificar este tipo de polímeros cuando son mayores a 10  $\mu\text{m}$ , por ejemplo, específicamente en una investigación consultada para microplásticos por la técnica FTIR, se encontraron microplásticos mayores a los 20  $\mu\text{m}$  (Konings et al., 2024).

Otra de las técnicas usadas para identificar microplásticos en agua es la pirólisis acoplada a cromatografía de gases y espectrometría de masas (Py-GC/MS): es una técnica altamente sensible que permite identificar tanto polímeros como aditivos. Es ideal para el análisis de partículas muy pequeñas, incluso nanoplasticos. No obstante, es destructiva, requiere una preparación exhaustiva de muestras y conlleva costos operativos elevados, lo que la limita para estudios de monitoreo rutinario (Fu et al., 2022).

En cuanto a la técnica SEM/EDX (Microscopía Electrónica de Barrido con Espectroscopía de Dispersión de Energía): permite la visualización morfológica de partículas plásticas hasta su composición básica. Si bien no identifica polímeros directamente, si garantiza la presencia de contaminantes inorgánicos adheridos a los microplásticos. Su uso combinado con técnicas espectroscópicas mejora su aplicabilidad, pero requiere condiciones de vacío y es de alto costo (Sighicelli et al., 2021).

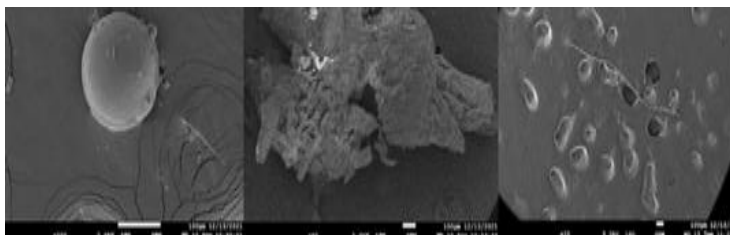


Figura 4. Microplásticos caracterizados por SEM.

Nota. Adaptado de Zhao et al. (2024)

En términos económicos, Raman y FTIR representan inversiones significativas, aunque Raman suele ser más costoso por su resolución superior. En cuanto al impacto social, el uso de estas técnicas impulsa campañas de educación ambiental y regulaciones sanitarias. Desde el punto de vista científico, todas las técnicas aportan información valiosa, pero Raman destaca por su capacidad de identificar partículas muy pequeñas con alta especificidad. Finalmente, en términos ambientales, las técnicas no destructivas como Raman y FTIR son preferibles por no generar residuos adicionales durante el análisis, adicional a esto, Raman muchas veces, no requiere preparativa de muestras, ya que los microplásticos pueden observarse directamente en su estado sólido, ya sea sobre los filtros o en la muestra original de agua, minimizando el tiempo de trabajo, el uso de reactivos, su disposición y costos.

Otra ventaja importante es su adaptabilidad a la microscopía Raman ( $\mu$ Raman), la cual permite caracterizar partículas de hasta 1  $\mu\text{m}$  o menos (Sol et al., 2023), imposibles de detectar mediante otras técnicas. Además, Raman ofrece una alta especificidad para distinguir entre diferentes tipos de polímeros, incluso cuando presentan estructuras muy similares. Aunque una desventaja de esta técnica es la detección equivocada de

microplásticos cuando hay presencia de aditivos, colorantes u otros compuestos que puede resultar en obtener espectros parecidos.



Figura 5. Espectrofotómetro Confocal  $\mu$ Raman.

Nota. Adaptado de Renishaw. (2021)

El tamaño de las partículas de estos polímeros es muy importante para los análisis, ya que además de la detección, la cuantificación realizada mediante espectroscopía Raman no se expresa en concentración en masa ni en cantidad absoluta, sino en número de partículas por muestra. Es decir, se reporta como microplásticos por litro (MP/L), lo que implica realizar un conteo de partículas individuales.

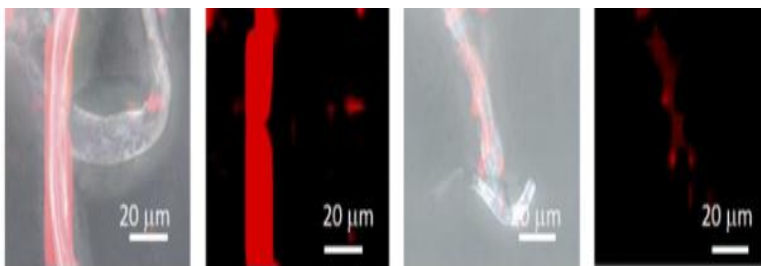


Figura 6. Intensidad Raman, microfibras plásticas

Nota. Adaptado de colmillo et al. (2024)

Desde 2015, varios estudios han empleado la espectroscopía Raman para cuantificar microplásticos en agua potable. Uno de ellos, realizado por Luca Maurizi, utilizando un microscopio confocal Raman para analizar muestras de agua tratada en Dinamarca. Este estudio reveló que la técnica Raman es especialmente eficaz para detectar partículas menores a 10  $\mu$ m, que suelen pasar desapercibidas con otras metodologías. Los resultados indicaron que la ingesta diaria de microplásticos estimada mediante Raman podría ser hasta 7.000 veces superior a las estimaciones obtenidas con  $\mu$ FTIR (Maurizi et al., 2023), esto resalta la sensibilidad de la espectroscopía Raman para partículas de tamaño micrométrico.

En comparación, la espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) también se ha utilizado para cuantificar microplásticos en agua potable. Un estudio realizado por Oßmann (Oßmann et al., 2021) se aplicó FTIR para analizar partículas en agua de grifo, encontrando concentraciones que variaban entre 1,9 y 225 partículas por litro, con un

promedio de  $39 \pm 44$  partículas por litro. Las partículas detectadas presentaban tamaños que oscilaban entre  $19,2 \mu\text{m}$  y  $4,2 \text{mm}$ , y mostraban diversas morfologías, atribuibles a los procesos de fragmentación que habían experimentado. Por su parte, un estudio comparativo entre  $\mu\text{FTIR}$  y  $\mu\text{Raman}$  demostró que ambas técnicas coincidían en la detección de microplásticos mayores a  $6,6 \mu\text{m}$  en aproximadamente un 80% de los casos, aunque  $\mu\text{Raman}$  mostró una mayor capacidad para identificar partículas más pequeñas, mientras que  $\mu\text{FTIR}$  fue más eficiente para partículas mayores a  $50 \mu\text{m}$  (Van Mourik et al., 2023). Estos estudios evidencian y demuestran que aunque se pueden emplear varias técnicas para estos tipos de análisis, la espectroscopia Raman presenta mayores ventajas (explicadas anteriormente) para detectar y cuantificar microplásticos.

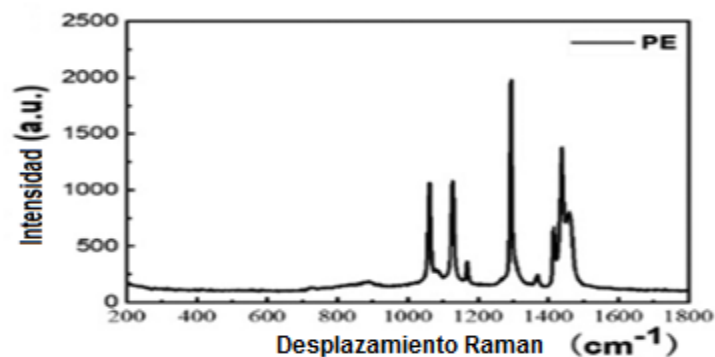


Figura 7. Espectro Raman del polietileno.

Nota. Adaptado de Liu et al. (2024)

Considerando la eficiencia de esta técnica, diversos estudios han reportado su uso en diferentes regiones del mundo. En ciudades chinas, por ejemplo, se cuantificaron  $440 \pm 275$  MP/L en muestras de agua del grifo, identificando más de 14 tipos de polímeros diferentes, entre ellos; polipropileno y polietileno (Muhib et al., 2023). Las partículas presentaban diversas formas y tamaños, en su mayoría inferiores a  $50 \mu\text{m}$ , lo cual evidencia la exposición cotidiana a estos contaminantes, muchas veces sin conocimiento de los habitantes.



Figura 8. Microplásticos en agua potable.

Nota. Adaptado de Muhib et al. (2023); Jiménez. (2024).

Por su parte, en Ática, Grecia, se identificó la presencia de microplásticos en pozos de aguas subterráneas y superficiales formados por el río Erasinos. Usando espectroscopía Raman, se cuantificaron 16 MP/L en pozos profundos y hasta 513 MP/L en pozos superficiales (Perraki et al., 2024).

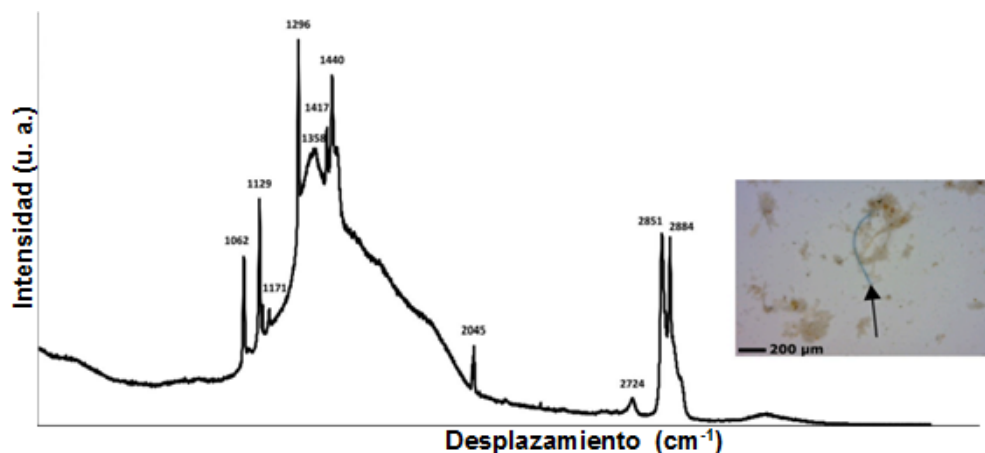


Figura 9. Espectro Raman e imagen de polietileno.

Nota. Adaptado de Perraki et al. (2024)

Estas aguas del río Erasinos son conducidas a plantas de tratamiento y posteriormente distribuidas a los hogares, lo que pone de manifiesto la magnitud global de esta problemática. Por lo cual, la empleabilidad de las técnicas químicas como la espectroscopía Raman ayuda a evidenciar estas problemáticas ambientales que no se pueden ver a simple vista, en este caso el espectro de polietileno obtenido a partir de las muestras analizadas, indica dos de los picos característicos a los 2850 y 2885 cm<sup>-1</sup> representando las vibraciones de estiramiento moleculares de los CH<sub>2</sub>, también los desplazamientos a los 1296 y 1440 cm<sup>-1</sup> evidenciaban las vibraciones antisimétricas y simétricas de los enlaces C-C. Estos espectros que se obtienen en estos estudios demuestran la presencia de microplásticos en el agua. Es por esto que la espectroscopía Raman ha cobrado especial relevancia debido a su capacidad para detectar contaminantes a nivel microscópico y nanoscópico, lo cual la posiciona como una herramienta analítica clave en estudios ambientales actuales. La espectroscopía Raman, en particular su modalidad mejorada por superficie (SERS), ha demostrado una notable capacidad para detectar y cuantificar micro y nanoplásticos en matrices acuosas. En otro estudio realizado lograron detectar partículas de poliestireno de hasta 20 nm utilizando SERS (Zuo et al., 2024) con nanopartículas de plata. Con este aplicativo de Raman la detección de estas nanopartículas plásticas fue en cuestión de minutos, además se resaltó la buena sensibilidad en el análisis de este tipo de muestras. De manera complementaria, se hicieron análisis a muestras con nanopartículas plásticas aplicando espectroscopía Raman para la detección de tereftalato de polietileno (PET) con tamaños promedio de 88.2 nm (Zhang et al., 2023) en agua embotellada, estimando concentraciones de hasta 10<sup>8</sup> partículas/mL, lo cual

también resalta la capacidad de la técnica para trabajar con partículas en la escala nanométrica.

En conjunto, la espectroscopía Raman se consolida como una de las técnicas más poderosas, precisas y sostenibles para el estudio de microplásticos en agua potable, siendo esencial para el diagnóstico, la concienciación pública y la formulación de políticas ambientales y sanitarias.

La investigación científica ha sido clave para evidenciar la presencia de microplásticos en sistemas de agua potable. Este conocimiento abre la posibilidad de implementar estrategias que mitiguen su presencia, mediante normativas desarrolladas en conjunto con organismos científicos, sanitarios, ambientales y gubernamentales, que establezcan límites permisibles y garanticen la calidad del agua. Aunque aún se desconoce el impacto directo de estos polímeros en la salud humana (Maurizi et al., 2023), estudios recientes señalan que los microplásticos pueden actuar como vectores de otros contaminantes peligrosos (Zhou et al., 2023), generando daños intestinales y otros efectos nocivos en los organismos. Estos efectos no son causados directamente por los microplásticos, sino por las sustancias que pueden adherirse a ellos o por aditivos presentes en su composición. Por ello, el estudio de sus efectos en la salud continúa siendo un tema de gran interés científico.

#### **4. CONCLUSIONES**

A partir de la revisión de literatura científica, se ha evidenciado la presencia de microplásticos en el agua potable o de grifo en diversas ciudades y países, incluyendo China, Grecia y España. Esta situación refleja una problemática ambiental global asociada a la masiva producción y consumo de plásticos, y pone en evidencia la necesidad de prestar atención a la calidad del agua que llega a los hogares.

La espectroscopía Raman ha demostrado ser una técnica analítica altamente eficaz para la detección y cuantificación de microplásticos en afluentes hídricos. Su alta especificidad permite identificar distintos tipos de polímeros plásticos, incluso en tamaños microscópicos y nanométricos, sin alterar las características de las muestras, gracias a su naturaleza no destructiva. Esto convierte a la espectroscopía Raman en una herramienta valiosa en el monitoreo ambiental de contaminantes emergentes, superando limitaciones presentes en otras metodologías como FTIR o SEM/EDX.

En cuanto a los posibles efectos en la salud humana derivados del consumo de microplásticos presentes en el agua, la evidencia científica aún es inconclusa. Sin embargo, su persistencia en el medio ambiente, su capacidad de bioacumulación y su potencial toxicidad plantean interrogantes relevantes que requieren mayor investigación desde un enfoque preventivo.

Finalmente, la presencia confirmada de microplásticos en agua potable sugiere la necesidad de ampliar los estudios a otros contextos geográficos, así como de establecer estrategias concretas de control y monitoreo. La formulación de políticas públicas claras, basadas en evidencia científica, y la implementación de normativas ambientales rigurosas podrían

contribuir significativamente a la prevención y mitigación de esta forma de contaminación, protegiendo tanto la salud humana como la integridad de los ecosistemas acuáticos.

## 5. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Yo Jhon Jairo Collazos, estudiante de Química encargado de realizar este documento, declara la no utilización de IA en su realización.

## 6. CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no tiene ningún interés financiero conocido ni relaciones personales que influyan en la realización y presentación de este artículo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, I., Cheng, Q., Ding, T., Yiguang, Q., Yuechao, Z., Sun, H., Peng, C., Naz, I., Li, J., & Liu, J. (2021). Micro- and nanoplastics in the environment: Occurrence, detection, characterization and toxicity – A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127809. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0959652621020813>

Al-Amri, A., Yavari, Z., Nikoo, M. R., & Karimi, M. (2024). Microplastics removal efficiency and risk analysis of wastewater treatment plants in Oman. *Chemosphere*, 359, 137632. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0045653524010993>

Álvarez, M., Marín-Cortés, S., Moure, A., & Fernández, J. F. (2025). Towards quantification of luminance values in photoluminescence and Raman spectroscopies by using a reference material. *Journal of Alloys and Compounds*, 1015, 169270. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925838825004190>

Babaei, A., Reshadatian, N., & Feizi, R. (2024). A state of the art-mini review on the sources, contamination, analysis, and consequences of microplastics in water. *Results in Engineering*, 23, 101082. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S259012302401082X>

Balakhnina, I. A., Chikishev, A., & Brandt, N. N. (2024). Raman spectroscopy of thermo- and laser-induced transformations of gouache paint layer of copper phthalocyanine blue. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 318, 121004. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142524005961>

Barrios, K. V., Pérez, E. C., & Conde, G. (2021). Nuevas recomendaciones de la versión PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Acta Neurológica Colombiana*, 37(2), 105–106. <https://doi.org/10.22379/24224022373>

- Barroso, R., Coello, M., Quiroga, J., & Corbacho, A. (2025). Microplastics in drinking water. Efficiency of treatment and distribution of a drinking water cycle. *Cleaner Engineering and Technology*, 26, 100095. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790825000953>
- Bermúdez, J., & Swarzenski, P. (2021). A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods. *MethodsX*, 8, Article 101329. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016121003095>
- Boaye Belle, A., & Zhao, Y. (2023). Evidence-based decision-making: On the use of systematicity cases to check the compliance of reviews with reporting guidelines such as PRISMA 2020. *Expert Systems with Applications*, 217, 119569. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119569>
- Cao, Z., Kim, C., Li, Z., & Jung, J. (2024). Comparing environmental fate and ecotoxicity of conventional and biodegradable plastics: A critical review. *Science of The Total Environment*, 951, 164004. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724058911>
- Chakraborty, I., Banik, S., & Biswas, R. (2023). Espectroscopía Raman para la detección de microplásticos en fuentes de agua: una revisión sistemática. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 10435–10448. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04505-0>
- Corradini, F., Melillán, E., Schoebitz, M., Carrasco, R., & Jiménez, M. (2024). Assessing on-site plastics fragmentation: Linking macroplastics litter to microplastics pollution in vegetable fields. *Science of The Total Environment*, 955, 147325. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S004896972407325X>
- Dalmau-Soler, J., Boleda, R., & Lacorte, S. (2025). Implementation plan to monitor microplastics in surface and drinking water using Py-GC-MS according to Decision (EU) 2024/1441. *Environmental Pollution*, 373, 121547. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0269749125005470>
- Fang, C., Awoyemi, O., Saianand, G., Xu, L., Niu, J., & Naidu, R. (2024). Characterising microplastics in indoor air: Insights from Raman imaging analysis of air filter samples. *Journal of Hazardous Materials*, 464, 132253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389423022537>
- Guevara, F., Roy, P., Martínez, I., Muniasamy, G., & Shruti, V. (2022). Human exposure to microplastics from urban decentralized pay-to-fetch drinking-water refill kiosks. *Science of The Total Environment*, 848, 157709. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0048969722048215>
- Han, Z., Jiang, J., Ni, X., Xia, J., Yan, C., & Cui, C. (2025). Occurrence and risk of microplastics and hexabromocyclododecane in urban drinking water systems: From source

water to tap water. *Science of The Total Environment*, 958, 147123. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0048969724081233>

Jaikumar, M., Thomson, M., Meyyazhagan, A., Balamuralikrishnan, B., Baskaran, R., Pappuswamy, M., Kamyab, H., Khalili, E., & Mohammad, M. (2025). A comprehensive review of microplastic pollution in freshwater and marine environments. *Green Analytical Chemistry*, 12, 100111. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S2772577424001113>

Kolomazník, V., Cejpek, I., & Skoumal, M. (2024). Efecto de la temperatura en el perfil cinético del catalizador Ziegler-Natta en la polimerización de propeno. *Chemical Papers*, 78, 8397–8400. <https://doi.org/10.1007/s11696-024-03679-w>

Konings, M. C., Zada, L., Schmidt, R., & Ariese, F. (2024). Optimization of sample preparation, fluorescence- and Raman techniques for environmental microplastics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 319, 121100. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386142524007030>

Lalrinfela, P., Vanlalsangi, R., Lalrinzuali, K., & Babu, P. (2024). Microplastics: Their effects on the environment, human health, and plant ecosystems. *Environmental Pollution and Management*, 1, 254. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S2950305124000214>

Lamichhane, G., Acharya, A., & Marahatha, R. (2023). Microplásticos en el medio ambiente: preocupación global, desafíos y medidas de control. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 4673–4675. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04261-1>

Liu, K., Pang, X., Chen, H., & Jiang, L. (2024). Visual detection of microplastics using Raman spectroscopic imaging. *Analyst*, 149, 161–168. <https://doi.org/10.1039/D3AN01270K>

Mallappa, A., Kuralayanapalya, S., Rajeshwari, P., Sharanagouda, S., Raghavendra, G., Kumar, S., Sudarshan, M., Venkatesh, P., Ramesh, V., Sekar, Y., Thippeswamy, H., & Veeranagouda, P. (2025). Systematic review, meta-analysis, and pan-genome analytics predict the surging of *Brucella melitensis* by China and India-specific strains, elucidating the demand for enhanced preparedness. *Journal of Infection and Public Health*, 18(4), 100042. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S1876034125000425>

Maurizi, E., Plamadeala, C., & Powell, J. (2023). Quantifying microplastics in drinking water with Raman microscopy. *Renishaw*. <https://info.renishaw.com/SPD-WEBINAR-EN-Quantifying-microplastics-in-drinking-water-with-Raman-microscopy.html>

Maurizi, L., Iordachescu, L., Kirstein, I. V., Nielsen, A., & Vollertsen, J. (2023). Do drinking water plants retain microplastics? An exploratory study using Raman micro-spectroscopy. *Heliyon*, 9(6), e143219. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023043219>

- Medina Romero, M. A. (2023). *Método mixto de investigación: Cuantitativo y cualitativo* (pp. 12–22). Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Jurídicas. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.105>
- Muhib, I., Uddin, K., Rahman, M., & Malafaia, G. (2023). Occurrence of microplastics in tap and bottled water, and food packaging: A narrative review on current knowledge. *Science of The Total Environment*, 865, 161180. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161180>
- Muñiz, R., & Rahman, S. (2025). Microplastics in coastal and marine environments: A critical issue of plastic pollution on marine organisms, seafood contaminations, and human health implications. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18, 100075. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S2772416625000750>
- Oßmann, B. E., Sarau, G., Schmitt, S. W., Holtmannspötter, H., & Christiansen, S. H. (2021). Small-sized microplastics and pigmented particles in bottled mineral water. *Water Research*, 188, 116519. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116519>
- Ochmańska, M., Cimochoicz-Rybicka, M., Łomińska-Platek, D., & Bochnia, T. (2025). Synthetic micropollutants in the water supply infrastructure of the City of Krakow, Poland. *Desalination and Water Treatment*, 7–9. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S1944398625002139>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790–799. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748>
- Park, H. Y., Suh, C. H., Woo, S., Kim, P. H., & Kim, K. W. (2022). Quality reporting of systematic review and meta-analysis according to PRISMA 2020 guidelines: Results from recently published papers in the Korean journal of radiology. *Korean Journal of Radiology*, 23(3), 355.
- Patel, A., Molvi, I., & Das Lala, S. (2024). Una revisión sobre la pirólisis: método de reciclaje de residuos plásticos. *Actas de la Conferencia de la AIP*, (1), 2–4. <https://doi.org/10.1063/5.0211539>
- Perraki, M., Skliros, V., Mecaj, P., Vasileiou, E., Salmas, C., Papanikolaou, I., & Stamatis, G. (2024). Identificación de microplásticos mediante espectroscopia  $\mu$ -Raman en aguas superficiales y subterráneas del sureste de Ática, Grecia. *Water*, 16(6), 843. <https://doi.org/10.3390/w16060843>
- Poonia, K., Dinh, D., Singh, P., Ahamad, T., Thakur, S., Raizada, P., Quang, H., Khan, A., & Nguyen, V. (2025). Plastic pollutants: From wastes to fuels and high-value chemicals. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(3), 3. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S2213343725012588>

Quiroga, J., Cajiao, A., & Rojas, F. (2022). *Superintendencia delegada para acueducto alcantarillado y aseo. Superservicios, VI-F-004 V.1(3)*. <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inlinefiles/5.%20Capitulo%205%20%20T%C3%A9cnico%20Acueducto%20y%20Alcantarillado.pdf>

Renishaw. (s. f.). *inVia™ confocal Raman microscope*. <https://www.renishaw.com/pt/microscopio-raman-confocal-invia--6260>

Sadoyu, S., Tanni, K. A., Punrum, N., Paengtrai, S., Kategaew, W., Promchit, N., Lai, N. M., Thakkinstian, A., Ngorsuraches, S., Bangpan, M., Veettil, S., & Chaiyakunapruk, N. (2022). Methodological approaches for assessing certainty of the evidence in umbrella reviews: A scoping review. *PLOS ONE*, *17*(6), e0269009. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269009>

Sajjad, A., Ahmad, M., Tariq, R., Iqbal, M., Farooq, R., Ali, W., & Ali, A. (2025). Assessment of community perceptions on drinking water quality and its implications for human health in Islamabad, Pakistan: A comprehensive analysis. *Desalination and Water Treatment*, *321*, 2. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S1944398625000712>

Sánchez-Serrano, S., Pedraza-Navarro, I., & Donoso-González, M. (2022). ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón Revista de Pedagogía*, *74*(3), 51–66. <https://doi.org/10.13042/bordon.2022.95090>

Sekar, V., Shaji, S., & Sundaram, B. (2024). Microplastic prevalence and human exposure in the bottled drinking water in the west Godavari region of Andhra Pradesh, India. *Journal of Contaminant Hydrology*, *264*, 2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169772224000500>

Sheng, K., Yang, Z., Tang, Y., & Zhang, Y. (2025). Release of microplastics from pipe materials and their impact on stagnant water. *Journal of Water Process Engineering*, *69*, 2–4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714424021044>

Sol, D., Solís-Balbín, C., Laca, A., & Díaz, M. (2023). A standard analytical approach and establishing criteria for microplastic concentrations in wastewater, drinking water and tap water. *Science of The Total Environment*, *899*, 165694. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723039797>

Sun, C., Ding, J., & Gao, F. (2021). Chapter two – Methods for microplastic sampling and analysis in the seawater and fresh water environment. *Methods in Enzymology*, *648*, 6–9. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S007668792030375X>

Thermo Fisher Scientific. (s. f.). *[Espectrómetro Thermo Scientific DXR3 SmartRaman]*. Thermo Fisher Scientific. <https://www.thermofisher.com>

- Tian, W., Song, P., Zhang, H., Duan, X., Wei, Y., Wang, H., & Wang, S. (2023). Microplastic materials in the environment: Problem and strategical solutions. *Progress in Materials Science*, 132, 1–2. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642522001165>
- Van Mourik, L. M., Koelmans, A. A., Besseling, E., & Hermesen, E. (2023). Harmonizing techniques for analysis of microplastics: A comparison between  $\mu$ FTIR and  $\mu$ Raman. *Environmental Science & Technology*, 57(1), 123–132. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c05643>
- VishnuRadhan, R., Das, S., Hennion, C., Eldho, T., & Lonappan, A. (2024). Potable water boiling can induce havoc in the water quality management arena due to the presence of microplastics. *Cleaner Water*, 1, 2–5. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S2950263224000176>
- Yang, L., Kang, S., Luo, X., & Wang, Z. (2024). Microplastics in drinking water: A review on methods, occurrence, sources, and potential risks assessment. *Environmental Pollution*, 348, 2–3. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0269749124005712>
- Yang, Z., Nagashima, H., Hasegawa, N., Futai, N., Koike, Y., & Arakawa, H. (2025). Onboard measurement of polyethylene microplastics on a research vessel using Raman micro-spectroscopy: A preliminary study for testing feasibility. *Marine Pollution Bulletin*, 212, 8. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0025326X25000633>
- Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2023). Measurement of nanoplastics in bottled water by nanoparticle tracking analysis. *PNAS Nexus*, 2(5), e2300161120. <https://doi.org/10.1073/pnasnexus.2300161120>
- Zhao, W., Li, L., Liu, M., Wang, R., Zhang, B., Meng, X., & Zhang, S. (2024). Seasonal variations of microplastics in surface water and sediment in an inland river drinking water source in southern China. *Science of The Total Environment*, 908, 168687. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723068687>
- Zhou, G., Wu, Q., Wei, X., Chen, C., Ma, J., Crittenden, J., & Liu, B. (2023). Tracing microplastics in rural drinking water in Chongqing, China: Their presence and pathways from source to tap. *Journal of Hazardous Materials*, 459, 2–4. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0026265X25005788>
- Zuo, L., Li, H., Lin, S., Luo, Y., & Wu, C. (2024). Detection of nanoplastics by surface-enhanced Raman spectroscopy with silver nanoparticles for rapid screening in water. *Environmental Pollution*, 331, 122620. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122620>
- Zuri, G., Karanasiou, A., & Lacorte, S. (2023). Microplastics: Human exposure assessment through air, water, and food. *Environment International*, 179, 5–10. <https://sciencedirect.proxyusc.elogim.com/science/article/pii/S0160412023004233>