

Evaluación del método por densimetría para la identificación preliminar de microplásticos en el río Huallaga

Evaluation of the method by densimetry for the preliminary identification of microplastics in the Huallaga River

Frans Emilio Minaya Rosales^{1,a} , Kelvy Alexander Yzaguirre Tinta^{2,a} ,
Alexandra Santos Almerco^{1,a} , Geraldine Valle Hurtado^{3,a} 

Filiación institucional

¹ ENAMIN Empresa Individual de Responsabilidad Limitada.

² VYT Contratistas S. A. C.

³ Municipalidad Provincial de Daniel Alcides Carrión.

Grado académico

^a Estudiante de Ingeniería Civil.

Recibido: 02-04-25

Aprobado: 20-06-25

Publicado: 04-07-25

RESUMEN

La contaminación por microplásticos representa una amenaza ambiental emergente que afecta la calidad de los ecosistemas acuáticos y la salud humana. La necesidad de un análisis efectivo, económico y replicable se hace necesario para llenar un vacío crítico de información sobre estos contaminantes en cuerpos de agua dulce urbanos. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el método por densimetría para la identificación preliminar de microplásticos en aguas superficiales del tramo urbano del río Huallaga, Huánuco. Se recolectaron quince muestras de agua superficial, que fueron procesadas en laboratorio mediante una solución salina saturada (320 g/L de NaCl), duplicándose experimentalmente para obtener treinta unidades de análisis, que posteriormente fueron sometidas a un proceso de decantación durante 72 horas. Las partículas flotantes fueron observadas bajo microscopía óptica (40x) y se realizó un análisis visual contextual. Se identificaron partículas con morfologías compatibles con microplásticos (fibras, fragmentos y películas), principalmente en zonas con descargas sanitarias y acumulación de residuos sólidos urbanos, donde se registró la mayor frecuencia de hallazgos. La aplicación resultó efectiva, económica y replicable, y permitió una primera caracterización en condiciones reales con recursos limitados. Se concluye que la densimetría es una técnica viable para establecer líneas base preliminares y fortalecer estrategias de monitoreo ambiental en regiones sin acceso a tecnologías analíticas avanzadas.

Palabras clave: partículas plásticas; microscopía óptica; residuos sólidos; muestreo exploratorio; flotación salina; contaminación hídrica; monitoreo ambiental.

ABSTRACT

The pollution by microplastics represents an emerging environmental threat that affects the quality of aquatic ecosystems and human health. The need for an effective, economical, replicable analysis has become necessary to fill a critical information gap about these contaminants in urban freshwater bodies. The present study had as objective to evaluate the method by densimetry for the preliminary identification in surface waters of the urban section of the Huallaga River, Huánuco. Fifteen samples of surface water were collected, that also they were processed in laboratory through a saturated saline solution (320 g/L de NaCl), being duplicated experimentally to obtain thirty analytical units, and subsequently these were subjected to the decantation process during 72 hours. The floating particles were observed under an optical microscope (40x) and a contextual visual analysis was performed. Particles with morphologies consistent with microplastics (fibers, fragments, and films) were identified, mainly in areas with sanitary discharges and accumulations of urban solid waste, where the highest frequency of findings was recorded. The application resulted to be effective, economical, and replicable, permitting a first characterization in real conditions with limited resources. It is concluded that densimetry is a viable technique for establishing preliminary baseline data and strengthening environmental monitoring strategies in regions without access to advanced analytical technologies.

Keywords: plastic particles; optical microscopy; solid waste; exploratory sampling; saline flotation; water pollution; environmental monitoring.

Citar como: Minaya Rosales, F. E., Yzaguirre Tinta, K. A., Santos Almerco, A., y Valle Hurtado, G. (2025). Evaluación del método por densimetría para la identificación preliminar de microplásticos en el río Huallaga. *Revista Peruana de Ingeniería, Arquitectura y Medio Ambiente*, 2(2), 85-97. <https://doi.org/10.37711/repiama.2025.2.2.1>



Introducción

La contaminación por microplásticos representa un problema ambiental emergente que amenaza la salud de los ecosistemas acuáticos y de las poblaciones humanas. A escala global, más de 430 millones de toneladas de plásticos se generan anualmente, y al menos 14 millones de toneladas terminan en cuerpos de agua, descomponiéndose en partículas menores de 5 mm conocidas como microplásticos, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2022). Estas partículas pueden afectar la fauna acuática, alterar procesos ecosistémicos y representar un riesgo potencial para la salud humana al incorporarse a la cadena alimentaria (World Health Organization, 2019).

Diversos estudios han evidenciado la presencia de microplásticos en cuerpos de agua dulce y marinos, especialmente en zonas urbanas y costeras de América Latina. En países como Brasil, Colombia y México, se han encontrado estos contaminantes en ríos, lagos y estuarios, asociados a actividades domésticas, industriales y comerciales mal gestionadas (Lindeque et al. 2020). En el Perú, De-la-Torre et al. (2020) reportaron su abundancia en playas de Lima, mientras que Orona-Návar et al. (2022) destacaron la falta de estudios sistemáticos en ríos del interior del país. Esta ausencia de datos científicos dificulta el diseño de políticas ambientales efectivas y compromete el cumplimiento de instrumentos como la Política Nacional del Ambiente al 2030 del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2025) y el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 por parte de las Naciones Unidas (s.f.), que promueven el acceso a agua limpia y el saneamiento adecuado. Por ello, se vuelve urgente implementar metodologías accesibles que permitan establecer líneas base sobre esta contaminación emergente en regiones como Huánuco.

Conceptualmente, los microplásticos se clasifican en primarios (producidos intencionalmente) y secundarios (provenientes de la fragmentación de objetos plásticos más grandes), y presentan formas como fibras, fragmentos, películas y *pellets*, según mencionan Hidalgo-Ruz et al. (2012). Su ingreso a los cuerpos de agua ocurre por escorrentía, descargas residuales, degradación de residuos y sistemas de alcantarillado, actuando además como vectores de metales pesados y contaminantes persistentes (Shaw et al. 2024).

En regiones como Huánuco, la problemática se agrava por la carencia de infraestructura de saneamiento y el vertimiento directo de aguas residuales y residuos sólidos al río Huallaga, lo cual incrementa su vulnerabilidad. Pese a ello, no existen estudios sistemáticos sobre la presencia de microplásticos en esta cuenca, lo que limita el diseño de políticas públicas y estrategias de monitoreo ambiental. Por lo tanto, resulta necesario implementar metodologías accesibles que permitan evaluar este tipo de contaminación emergente.

En dicho contexto, el presente estudio tuvo como objetivo general evaluar el método por densimetría para la identificación preliminar de microplásticos en aguas superficiales del tramo urbano del río Huallaga. Para alcanzar dicho propósito, se plantearon como objetivos específicos aplicar el método por densimetría utilizando solución salina saturada para separar partículas livianas presentes en las muestras de agua; identificar visualmente, mediante microscopía óptica, aquellas partículas con características compatibles con microplásticos; establecer una relación visual entre la presencia de microplásticos y las posibles fuentes de contaminación en el área urbana del río; y, finalmente, analizar la viabilidad del método empleado considerando las condiciones ambientales y logísticas bajo contextos de recursos limitados.

Métodos

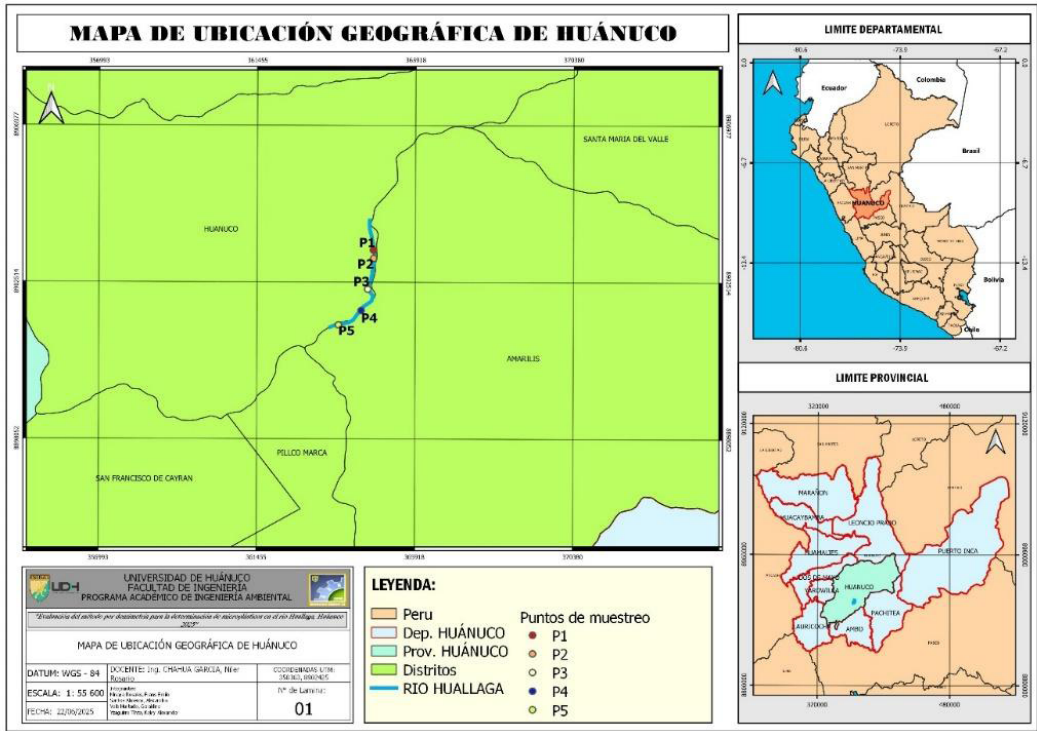
Diseño de la investigación

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el tramo urbano del río Huallaga, uno de los principales tributarios del Marañón, con más de 1100 km de recorrido desde su nacimiento en los Andes centrales. Hidrológicamente, el caudal del Huallaga en esta sección depende de la estacionalidad de las lluvias regionales, con registros sistemáticos en estaciones de control de la red hidrológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, s.f.). Esta atraviesa la ciudad de Huánuco y sus distritos conurbados Amarilis y Pillco Marca (Figura 1), caracterizada por un régimen climático con estación lluviosa de octubre a abril y seca de mayo a septiembre; la temperatura

media varía entre 11-13 °C (mínimas) y 24-26 °C (máximas), mientras que la precipitación mensual oscila de menos de 10 mm en estiaje a más de 100 mm en los meses de máxima pluviosidad (SENAMHI, s.f.). El área de influencia corresponde a una población aproximada de 243 000 habitantes en 2022 (Huánuco, 97 086; Amarilis, 90 762; Pillco Marca, 55 072), de acuerdo con proyecciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2022), lo que refleja la presión antrópica sobre el cauce.

Figura 1
 Mapa de la ubicación geográfica



Tipo de estudio

El presente estudio se enmarca dentro de una investigación de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño descriptivo no experimental. Su propósito es evaluar la aplicación del método por densimetría como técnica preliminar para la identificación de microplásticos en aguas superficiales, en un entorno urbano con limitaciones de recursos.

El estudio corresponde a una investigación aplicada, ya que se orienta a resolver un problema ambiental concreto: la falta de monitoreo de microplásticos en cuerpos de agua dulce mediante la evaluación de una técnica sencilla y replicable. Según Hernández-Sampieri et al. (2021), la investigación aplicada busca generar conocimientos con utilidad práctica, vinculados a necesidades sociales o ambientales reales, lo cual la diferencia de la investigación básica, enfocada en teorías generales. Desde el enfoque metodológico, se empleó una perspectiva cuantitativa, que permite recolectar y analizar datos medibles a través de procedimientos estructurados que garantizan objetividad y replicabilidad (Creswell & Creswell, 2018).

En este caso, se aplicaron técnicas sistemáticas de muestreo, separación por flotación y observación óptica para obtener información sobre partículas con características compatibles con microplásticos. Por su parte, el diseño descriptivo no experimental se sustenta en la observación directa de fenómenos sin manipulación de variables, lo cual permite caracterizar hechos ambientales reales a partir de datos recolectados en campo y procesados en laboratorio (Hernández Sampieri et al., 2014).

Población y muestra

Para el estudio se establecieron cinco puntos de muestreo (P1-P5) a lo largo del corredor urbano, cuyas coordenadas geográficas se presentan en la Tabla 1. El muestreo se realizó el 30 de abril de 2025, en horario de 6:30 a 11:30 horas, coincidiendo con la época seca, cuando la disminución de lluvias permite mayor estabilidad en la toma de muestras.

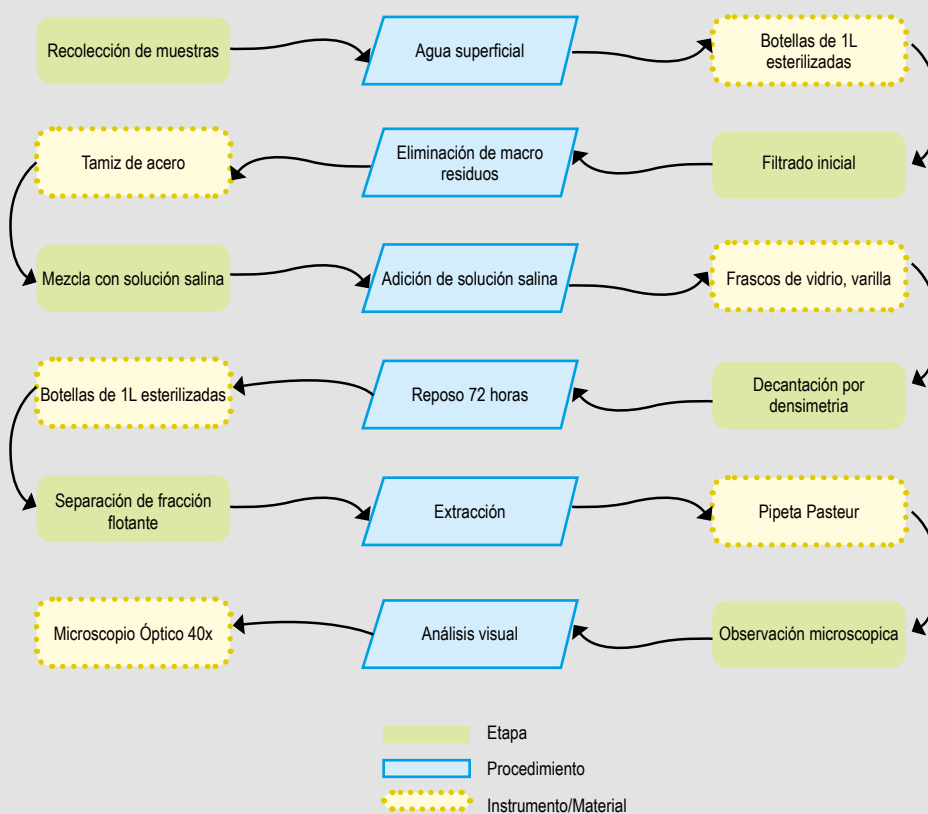
La población del estudio estuvo constituida por las aguas superficiales del tramo urbano del río Huallaga, en la ciudad de Huánuco, Perú. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia, debido a factores logísticos y accesibilidad según Hernández Sampieri et al. (2014).

Procedimiento para el muestreo de agua superficial

En la Figura 2, se representa de manera esquemática el protocolo experimental aplicado para la identificación preliminar de microplásticos mediante el método por densimetría. El flujograma se estructura en cuatro etapas principales: recolección de muestras, mezcla con solución salina, separación de fracción flotante y observación microscópica. Cada etapa se desglosa en procedimientos específicos (representados en azul) e instrumentos o materiales utilizados (en amarillo), como botellas esterilizadas de 1 L, tamiz de acero, frascos de vidrio, varillas agitadoras, cilindros plásticos y microscopio óptico (40x). Entre los procedimientos clave se incluye la eliminación de macrorresiduos, la adición de solución salina saturada (320 g/L de NaCl), el reposo por 72 horas para la decantación por densimetría, la extracción con pipeta de Pasteur y el análisis visual de partículas. Este diagrama facilita la comprensión del diseño experimental y muestra con claridad la secuencia lógica de acciones, su articulación operativa y la trazabilidad metodológica, siendo útil tanto para fines replicativos como educativos.

Figura 2

Flujograma del protocolo experimental



Análisis de fuentes potenciales

Se realizó un recorrido visual en el entorno de cada punto de muestreo para identificar posibles fuentes de contaminación: presencia de residuos sólidos en las orillas, descargas visibles de aguas grises y acumulación de materiales sintéticos en el cauce. Estas observaciones se registraron mediante fotografías georreferenciadas y notas de campo.

En cada punto de muestreo se identificaron tres subzonas: aguas arriba (-5 m), centro (0 m) y aguas abajo (+5 m), de las cuales se recolectaron tres muestras compuestas de agua superficial, totalizando quince unidades de campo (n=15). Estas muestras fueron duplicadas en laboratorio como parte del procedimiento experimental, lo que generó treinta unidades de análisis (n=30), las cuales fueron tratadas mediante el método de densimetría con solución salina saturada para la identificación preliminar de partículas compatibles con microplásticos.

Se realizaron muestreos puntuales el 30 de abril de 2025, coincidiendo con la estación de menor pluviosidad en la región y con condiciones de cielo despejado. Las muestras se recolectaron entre las 6:30 y las 11:30 horas, utilizando botellas plásticas estériles de 1 L previamente enjuagadas con agua destilada. Se tomaron tres muestras compuestas por punto, directamente desde la orilla y a una profundidad aproximada de 20 cm, evitando agitar el fondo, para minimizar la recolección de sedimentos. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en un conservador térmico a temperatura ambiente (~20 °C) y trasladadas al laboratorio en un lapso no mayor de dos horas.

Para mejorar la trazabilidad del muestreo, se empleó un aplicativo móvil llamado Mis Coordenadas GPS, con el fin de registrar las coordenadas geográficas de cada punto. En la Tabla 1, se presenta el registro georreferenciado de los cinco puntos de muestreo establecidos en el tramo urbano del río Huallaga, en Huánuco. Cada punto fue identificado con un nombre referencial correspondiente a su ubicación contextual: Moras (P1), Camal (P2), Hospital (P3), Gobierno Regional (P4) y Fonavi I (P5). Se incluyeron las coordenadas geográficas en formato de grados, minutos y segundos, lo cual permitió una ubicación precisa mediante el uso de una aplicación GPS. Asimismo, se detalló la hora exacta en que se realizó la recolección en cada sitio, entre las 6:30 y las 11:00 horas —como se ha mencionado antes—, en condiciones ambientales estables y cielo despejado. Esta información fue clave para asegurar la trazabilidad de los datos recolectados y garantizar la reproducibilidad del estudio en futuros monitoreos ambientales. A continuación, se detallan los datos recolectados por ubicación:

Tabla 1
Registro georreferenciado

Punto	Nombre referencial	Coordenadas (latitud, longitud)	Hora de recolección
P1	Moras	9°55'3.97"S; 76°14'1.68"O	6:30 h
P2	Camal	9°55'11.56"S; 76°14'1.48"O	8:15 h
P3	Hospital	9°55'40.12"S; 76°14'7.02"O	9:50 h
P4	Gobierno Regional	9°55'59.89"S; 76°14'13.10"O	10:20 h
P5	Fonavi I	9°56'13.24"S; 76°14'34.18"O	11:00 h

Preparación de muestras

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron filtradas mediante un tamiz de acero inoxidable de 5 mm para eliminar macrorresiduos, luego ser pasadas por un colador metálico de 0.3 mm para retener partículas potenciales de microplásticos (Imhof et al., 2012). El volumen restante fue conservado en frascos de vidrio cubiertos con papel aluminio para evitar contaminación externa.

Cuando fue necesario, se aplicó una solución de peróxido de hidrógeno al 30 % para reducir la carga orgánica visible, siguiendo el procedimiento adaptado de Hidalgo-Ruz et al. (2012), sin afectar las partículas poliméricas.

Separación de microplásticos por densimetría

Para la separación de partículas, se utilizó una solución salina saturada de NaCl (320 g en 100 ml de agua destilada), cuya densidad fue aproximadamente 1.20 g/cm³, suficiente para la flotación de la mayoría de los polímeros comunes (Shaw et al. 2024).

Cada muestra fue agitada suavemente y decantada en cilindros plásticos de 1 L, y se dejó reposar por veinticuatro horas. Luego, la fracción flotante fue extraída con una pipeta de punta ancha y transferida a cápsulas de Petri para su análisis posterior (Imhof et al., 2012).

Identificación visual de microplásticos

Las partículas fueron analizadas bajo un microscopio óptico estereoscópico (40x). Se identificaron como microplásticos aquellas partículas con características morfológicas típicas: color no natural, textura homogénea, ausencia de estructura celular y forma regular (fibras, fragmentos, esferas) (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Nuelle et al., 2014).

Resultados

Aplicación del método por densimetría

El procedimiento de separación fue ejecutado con éxito. Las treinta unidades de análisis se sometieron al tratamiento con solución salina saturada (320 g/L de NaCl), lo cual permitió que las partículas de menor densidad ascendieran a la superficie durante el periodo de decantación de 72 horas. Posteriormente, la fracción flotante fue retirada con una pipeta de boca ancha y trasladada al portaobjetos para su análisis bajo microscopía óptica.

Este método permitió separar físicamente las partículas —presumiblemente microplásticos— sin necesidad de equipos sofisticados. Se destaca la facilidad de implementación, el bajo costo del procedimiento y su replicabilidad en contextos con limitaciones técnicas, como laboratorios universitarios o municipales. Tal como lo muestran los registros visuales, la separación fue suficientemente efectiva para permitir una primera caracterización visual de las partículas.

En la Figura 3, se presenta el procedimiento aplicado *in situ* durante la fase experimental del estudio. Se observa, en primer plano, el recipiente plástico utilizado para la decantación de las muestras, luego de haber sido mezcladas con una solución salina saturada de NaCl (320 g/L). Posteriormente, se aprecia el momento del pipeteo, en el que se extrae cuidadosamente la fracción flotante que presumiblemente contiene microplásticos. Por último, se muestra la transferencia de una gota de dicha fracción sobre el portaobjetos, etapa previa a su análisis morfológico bajo el microscopio óptico estereoscópico. Esta secuencia visual evidencia la ejecución práctica del método por densimetría en condiciones reales de laboratorio, destacando su simplicidad, replicabilidad y adecuación a contextos con recursos limitados.

Observación microscópica y caracterización visual

Las observaciones realizadas con microscopía óptica estereoscópica (40x) permitieron identificar diversas partículas con morfologías típicas de microplásticos. Entre las formas más comunes se registraron fibras alargadas (predominantemente de color azul), fragmentos irregulares de color negro y películas translúcidas con leve brillo superficial. Estas partículas carecían de estructura celular visible, lo que refuerza su origen antrópico.

En la Figura 4, se muestra un conjunto de micrografías obtenidas mediante microscopía óptica estereoscópica (40x) correspondientes a las fracciones flotantes extraídas en laboratorio durante la fase de identificación preliminar de microplásticos. Se observan diversas morfologías de partículas compatibles con microplásticos, incluyendo fibras

Figura 3
Proceso de separación por densimetría en laboratorio



alargadas de apariencia sintética, fragmentos irregulares de bordes poco definidos y películas translúcidas con brillo superficial tenue. Todas las partículas analizadas carecen de estructuras celulares o patrones biológicos visibles, y muestran texturas lisas y colores atípicos, como negro, azul o transparente. Las imágenes incluyen la georreferenciación

precisa del punto de muestreo desde el cual provienen, lo que refuerza la trazabilidad espacial del análisis. Estas evidencias visuales sustentan la identificación exploratoria de microplásticos en el río Huallaga, considerando criterios morfológicos establecidos por protocolos previos (Hidalgo-Ruz et al., 2012; Norén, 2007).

Figura 4
Micrografías de los análisis realizados para el descarte

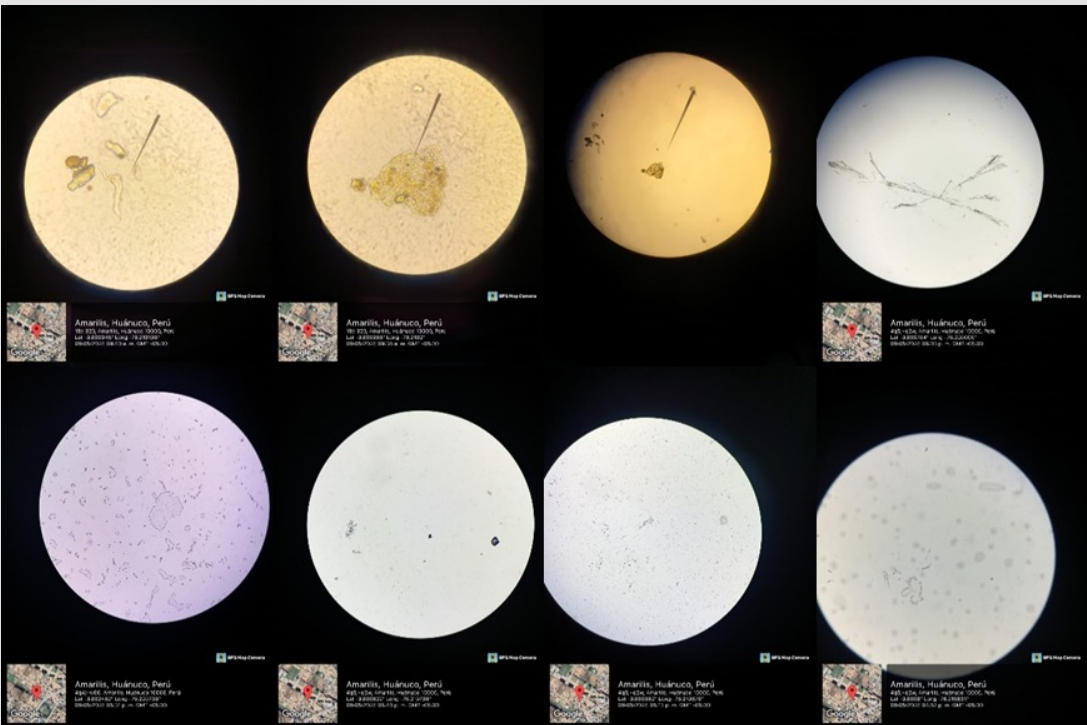


Tabla 2
Tipología de partículas observadas

Tipo de partícula	Color predominante	Textura	Brillo	Frecuencia estimada (por muestra)
Fibras	Azul, negro	Lisa	Leve	3-5
Fragmentos	Negro, opaco	Irregular	Nulo o leve	2-4
Películas	Transparente	Delgada y suave	Leve	1-2

En la Tabla 2, se resumen las características morfológicas predominantes de las partículas identificadas durante el análisis visual bajo microscopía óptica. Se clasificaron tres tipos principales de partículas compatibles con microplásticos: fibras, fragmentos y películas. Las fibras, observadas con mayor frecuencia (tres a cinco por muestra), presentaron colores típicos como azul y negro, superficie lisa y un leve brillo, lo que sugiere su origen sintético, posiblemente textil. Los fragmentos, con una frecuencia media de dos a cuatro por muestra, fueron de color negro opaco, con bordes irregulares y brillo casi nulo, asociados a la degradación de plásticos más grandes. Las películas, menos abundantes (una a dos por muestra), se caracterizaron por ser delgadas, translúcidas, con textura suave y un leve brillo superficial. Esta tipología respalda la clasificación exploratoria basada en criterios visuales estándar y evidencia la diversidad morfológica de partículas presentes en el tramo urbano del río Huallaga.

Distribución espacial de microplásticos

La distribución espacial de microplásticos evidenció variabilidad entre los puntos evaluados. Las zonas con mayor presencia fueron el Camal, el Hospital y Fonavi

I, coincidiendo con áreas de intensa actividad urbana y sanitaria. En estos puntos se observaron principalmente fibras y fragmentos con características morfológicas compatibles con microplásticos, mientras que en Moras y el Gobierno Regional la presencia fue baja o nula.

Esta distribución sugiere una posible acumulación relacionada con el uso del suelo y los patrones de descarga no regulada. El tramo del Hospital presentó fragmentos y películas en alta concentración, posiblemente vinculados a residuos plásticos hospitalarios. En el caso del Camal, la gran cantidad de fibras podría deberse a vertimientos domésticos y aguas grises.

En la Figura 5, se presenta un análisis comparativo del nivel de presencia de microplásticos en las cinco zonas de muestreo del tramo urbano del río Huallaga. Se utilizaron valores categóricos donde 1 indica baja presencia, 2 media y 3 alta. Las zonas del Camal y el Hospital registraron el nivel más alto de presencia (3), coincidiendo con áreas de intensa actividad sanitaria, doméstica e industrial. En segundo lugar, Fonavi I alcanzó un nivel medio (2), reflejando su alta densidad urbana y acumulación de residuos sólidos. Por otro lado, Moras y el Gobierno Regional presentaron niveles bajos (1),

Figura 5
Comparación por zonas

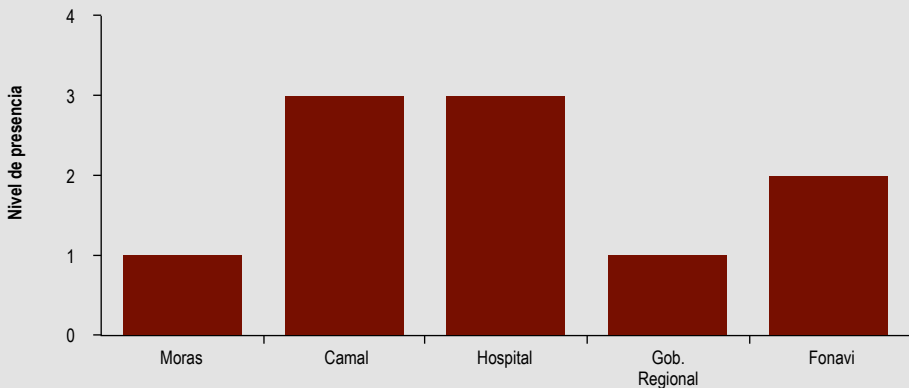
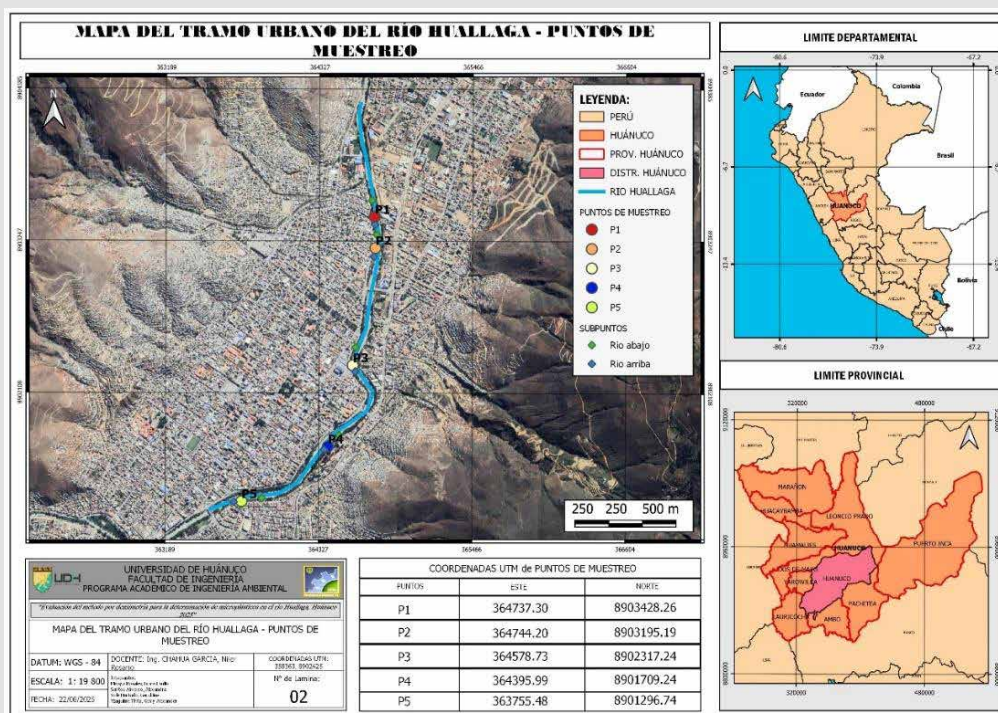


Figura 6

Georreferencias por punto de muestreo



posiblemente debido a su menor grado de urbanización o a un manejo más regulado de los vertimientos. Este patrón sugiere una correlación entre el uso del suelo y la carga de microplásticos en el río, lo cual refuerza la hipótesis de que las actividades antrópicas influyen de manera directa en la contaminación plástica de los cuerpos de agua urbanos.

Identificación de posibles fuentes de contaminación

Durante los recorridos de campo se registraron evidencias visibles de fuentes potenciales de contaminación por microplásticos. En el punto Camal, se observaron descargas de aguas grises y residuos sólidos provenientes de zonas de mercado informal. El Hospital presentó vertimientos sanitarios directos, lo que explicaría la alta presencia de fragmentos y películas. Fonavi I mostró acumulación urbana de residuos en la ribera, asociada con la presencia de fragmentos pequeños.

En el Gobierno Regional, se identificaron descargas intermitentes desde áreas institucionales. En contraste, Moras, ubicado en una zona semirural, no presentó signos evidentes de contaminación directa. La relación

entre tipo de fuente y tipo de partícula sugiere una asociación directa entre el uso del suelo y la carga de microplásticos observada.

En la Figura 6, se muestra el mapa satelital del tramo urbano del río Huallaga, detallando la ubicación exacta de los cinco puntos de muestreo (P1 a P5), los cuales fueron georreferenciados mediante coordenadas UTM y distribuidos estratégicamente según los usos del suelo del entorno urbano. En el punto P1 (Moras), ubicado en una zona semirural, se identificaron vertimientos domésticos y la presencia de un mercado informal como principales fuentes de contaminación, y se detectaron fibras sintéticas como tipo predominante de microplástico. En el P2 (Camal), correspondiente a una zona industrial y comercial, se observaron fragmentos pequeños, asociados a descargas de comercios y acumulación urbana. En el P3 (Hospital), la principal fuente fue el vertimiento sanitario del centro de salud, donde se hallaron fragmentos plásticos y películas delgadas. En el P4 (Gobierno Regional), se identificaron fuentes puntuales como oficinas públicas y descargas esporádicas, predominando fibras dispersas. Finalmente, en el P5 (Fonavi I), a pesar de ser una zona densamente

urbanizada, no se identificaron partículas plásticas visibles, posiblemente por condiciones hidrológicas locales o variabilidad estacional. Este mapa integra coordenadas, simbología y contexto urbano, y proporciona un marco geoespacial clave para interpretar la distribución de microplásticos en relación con las actividades antrópicas del área de estudio.

Discusión

La aplicación del método por densimetría en cinco puntos del río Huallaga permitió observar partículas presumiblemente microplásticas, lo cual evidenció su utilidad exploratoria en contextos urbanos con recursos limitados. Estudios similares han validado la eficacia de la densimetría con solución salina en la separación de microplásticos en ambientes acuáticos urbanos, como reportan Shaw et al. (2024), quienes destacan su viabilidad para polímeros de baja densidad, al igual que Hidalgo-Ruz et al. (2012) en ambientes costeros y Nuelle et al. (2014) en sedimentos marinos. De manera complementaria, De-la-Torre et al. (2020) documentaron microplásticos en playas de Lima, mientras que van Cauwenberghe et al. (2015) hallaron contaminación similar en ríos europeos. Esto respalda la pertinencia del método para estudios en cuerpos de agua dulce no monitoreados. El uso de microscopía óptica permitió una caracterización preliminar visual, que, aunque no confirmatoria, se alinea con protocolos iniciales adoptados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (United Nations Environment Programme [UNEP], 2020) y Lindeque et al. (2020) para regiones sin espectroscopía.

El método por densimetría con solución salina saturada (NaCl 320 g/L) permitió separar con eficacia partículas flotantes de baja densidad en muestras del río Huallaga, lo que confirmó su utilidad en entornos urbanos sin laboratorios avanzados. Procedimientos similares han sido validados por Imhof et al. (2012) para sedimentos y agua dulce, por Shaw et al. (2024) en ambientes marinos profundos y por Cera et al. (2022) en estudios de monitoreo comunitario, quienes resaltan su bajo costo y facilidad operativa. Además, publicaciones como la de Nuelle et al. (2014) respaldan el uso de NaCl como medio adecuado para la flotación de polímeros comunes como PE y PP. Desde el punto de vista físico-químico, este principio se basa en la diferencia de densidades: los microplásticos flotan en soluciones cuya densidad ($\geq 1.2 \text{ g/cm}^3$) supera la de dichos materiales. Así, se demuestra que esta técnica puede aplicarse con éxito para fines exploratorios, especialmente donde no se dispone de espectroscopía o microscopía avanzada,

lo cual brinda una herramienta replicable y útil para establecer líneas base locales.

El análisis visual por microscopía óptica permitió identificar partículas con morfologías compatibles con microplásticos, como fibras sintéticas, fragmentos y películas translúcidas, coincidiendo con lo observado en estudios previos en ríos urbanos Wagner et al., (2014). Estas partículas mostraron texturas lisas, ausencia de estructura celular y colores típicos como azul o negro, lo que refuerza su origen antrópico, tal como lo destacan Hidalgo-Ruz et al. (2012) y Norén (2007) en sus protocolos de identificación morfológica. Aunque el análisis visual no permite confirmar la composición polimérica, su uso como método preliminar ha sido validado en investigaciones realizadas en contextos sin acceso a espectroscopía, como los estudios de Cowger et al. (2020), quienes reconocen su utilidad en evaluaciones exploratorias si se aplican criterios estandarizados. Por lo tanto, la microscopía óptica, aunque limitada, representa una herramienta viable para la caracterización inicial de microplásticos, especialmente útil en estudios ambientales de bajo presupuesto y como etapa previa al análisis confirmatorio.

Los resultados mostraron una mayor concentración de microplásticos en puntos del río cercanos a centros urbanos y sanitarios, como el Hospital, el Camal y Fonavi I, donde se identificaron residuos sólidos y vertimientos visibles, lo que sugiere una correlación directa entre uso del suelo y carga microplástica, similar a lo documentado en ríos urbanos de Asia y América Latina (De-la-Torre et al., 2021; Eo et al., 2021;). Esta relación ha sido explicada por el aumento de descargas sin tratamiento y actividades comerciales que introducen fibras, fragmentos y películas plásticas en el cauce (Mai et al., 2019). El patrón espacial identificado se alinea con investigaciones como la de Auta et al. (2017), quienes reportaron acumulación diferencial según la intensidad del uso urbano y la hidrodinámica fluvial. En zonas con menor urbanización, como Moras, se observó baja o nula presencia, lo cual coincide con lo descrito por Geyer et al. (2017) respecto a la distribución de plásticos en función del gradiente de antropización. Este análisis sugiere que la presión urbana, el deficiente manejo de residuos y la dinámica hidráulica son factores clave en la dispersión de microplásticos en ríos andinos urbanos.

La implementación del método por densimetría en condiciones reales demostró ser factible en contextos con limitaciones técnicas, como el laboratorio básico

utilizado en este estudio, donde se prescindió de espectroscopía o automatización. Esta experiencia se alinea con lo reportado por Leslie et al. (2022), quienes validaron la aplicación de protocolos de bajo costo para el monitoreo de microplásticos en regiones sin infraestructura analítica. Asimismo, Cowger et al. (2020) y Cera et al. (2022) destacaron que los métodos accesibles pueden ser replicables si se documentan rigurosamente, incluso con estudiantes o comunidades locales. En contextos rurales y urbanos latinoamericanos, estudios como el de Orona-Návar et al. (2022) evidencian que, pese a las limitaciones de equipamiento y protocolos inconsistentes, es posible generar datos preliminares útiles para la vigilancia ambiental regional.

Esta iniciativa responde a vacíos críticos en la literatura científica nacional, como lo señalan De-la-Torre et al. (2020) y Orona-Návar et al. (2022), quienes resaltan la ausencia de datos en cuerpos de agua dulce del interior del país. Su aporte se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente el ODS 6 (agua limpia), el ODS 12 (consumo responsable) y el ODS 14 (vida submarina), tal como lo promueve la OECD (2022). Además, contribuye a democratizar el monitoreo ambiental, como proponen Cowger et al. (2020), al validar técnicas replicables en contextos educativos y comunitarios.

El presente estudio tuvo un alcance exploratorio limitado, ya que se procesaron únicamente cinco muestras representativas, lo que redujo la posibilidad de realizar un análisis estadístico robusto. Esta situación se alinea con lo señalado por Munno et al. (2020) y Bessa et al. (2019), quienes destacan que la calidad y disponibilidad del equipamiento influyen directamente en la fiabilidad de la identificación visual. Además, factores ambientales como el caudal variable, la turbidez y el acceso restringido dificultan la recolección homogénea en ríos urbanos, tal como lo reconocen Suaria et al. (2016). Desde el enfoque metodológico, Dehaut et al. (2016) advierten que la ausencia de espectroscopía (FTIR o Raman) limita la confirmación polimérica, convirtiendo los hallazgos en indicios preliminares. No obstante, la experiencia demuestra la adaptabilidad del enfoque aplicado, lo que refuerza la necesidad de protocolos flexibles y escalables en contextos reales, como lo proponen Cowger et al. (2020) en investigaciones con participación comunitaria.

Dado el carácter preliminar del estudio, se recomienda ampliar el número de muestras, incorporar técnicas

confirmatorias como FTIR o Raman y considerar análisis estacionales para evaluar la variabilidad temporal de los microplásticos en el río Huallaga. Estudios como los de Lindeque et al. (2020), Primpke et al. (2018) y Rocha-Santos & Duarte (2015) destacan la importancia de combinar métodos visuales con espectroscopía para garantizar la identificación certera de polímeros. Asimismo, autores como Cowger et al. (2020) sugieren integrar protocolos armonizados para comparabilidad entre regiones. Es necesario fortalecer las capacidades técnicas en laboratorios regionales, así como fomentar redes colaborativas de monitoreo participativo, como propone UNEP (2020). Finalmente, se sugiere incluir estrategias de educación ambiental en zonas ribereñas como complemento a la recolección de datos, siguiendo iniciativas efectivas como la del proyecto en el río Ottawa (Canadá), donde se emplearon voluntarios locales para filtrar agua, recoger microplásticos y recibir retroalimentación continua, lo cual fortaleció tanto la participación comunitaria como la concienciación ambiental.

Este abordaje metodológico puede constituir una línea base para futuros estudios sistemáticos y fomentar la implementación de metodologías accesibles para vigilancia ambiental local en regiones andinas donde la contaminación plástica aún no ha sido cuantificada sistemáticamente. Esto demuestra que la metodología aplicada puede adaptarse a la realidad operativa de universidades públicas o municipalidades. Además, su bajo costo y facilidad de réplica respaldan su incorporación en programas de monitoreo participativo, tal como propone UNEP (2020) para países en desarrollo.

Conclusiones

Los resultados mostraron que el método permitió separar eficazmente partículas flotantes de baja densidad compatibles con microplásticos, como fibras sintéticas, fragmentos y películas translúcidas. Estas partículas fueron identificadas mediante microscopía óptica, principalmente en las zonas del Hospital, el Camal y Fonavi I, donde coinciden fuentes urbanas, sanitarias y comerciales de contaminación. Así, se cumplió con los objetivos de realizar una caracterización visual, asociar la distribución de partículas con fuentes potenciales de contaminación y evaluar la viabilidad del método bajo condiciones reales y con recursos limitados.

Los hallazgos de este estudio tienen implicancias relevantes para el monitoreo ambiental en regiones andinas, ya que demuestran que el método por densimetría es una alternativa viable, económica y replicable

para caracterizaciones exploratorias en ausencia de espectroscopía o tecnología avanzada. A pesar de sus limitaciones metodológicas, la experiencia sugiere que esta técnica puede incorporarse en programas de ciencia ciudadana, educación ambiental y extensión universitaria. Se recomienda que futuras investigaciones amplíen la cobertura espacial y temporal, incluyan técnicas confirmatorias como FTIR o Raman y fortalezcan redes de monitoreo participativo en cuencas altoandinas. En conjunto, esta investigación visibiliza una problemática ambiental poco explorada en el centro del país, y aporta evidencia empírica útil para integrar enfoques de justicia ambiental y sostenibilidad en la gestión hídrica local.

Agradecimientos

Se agradece al equipo del Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco por el apoyo logístico y técnico brindado durante la recolección y procesamiento de muestras. Asimismo, se reconoce la colaboración del personal del programa de Ingeniería Ambiental y a la Subgerencia de Gestión Ambiental de la Municipalidad Distrital de Amarilis por autorizar el acceso a las zonas de estudio.

Aspectos éticos

El presente estudio no involucró experimentación con seres humanos ni animales. Sin embargo, se aplicaron principios éticos en todas las etapas de recolección de datos, incluyendo el consentimiento informado de los participantes responsables de autorizar el acceso a las zonas de muestreo. Se garantizó la confidencialidad de la información registrada, el uso responsable de los recursos naturales involucrados y el cumplimiento de las normas ambientales y de bioseguridad establecidas por la Universidad de Huánuco. En caso de ser requerida, se cuenta con la documentación correspondiente.

Referencias

- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution and Importance of Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Sources, Fate, Effects, and Potential Solutions. *Environment International*, 102, 165-176. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
- Bessa, F., Frias, J. P. G. L., Krystyn, L., Wirth, M., Brandtner, A., & Otero, V. (2019). Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.044>
- van Cauwenberghe, L., Devriese, L., Galgani, F., Robbins, J., & Janssen, C. R. (2015). Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects. *Marine Environmental Research*, 111, 5-17. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.06.007>
- Cera, A., Scopetani, C., Passaponti, M., & Cincinelli, A. (2022). Microplastic Detection Using Density Separation and Community Engagement: A Citizen Science Protocol. *Environmental Pollution*, 310, 119804. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119804>
- Cowger, W., Booth, A. M., Hamilton, B. M., Thaysen, C., Primpke, S., Munno, K., Lusher, A. L., Dehaut, A., Vaz, V. P., Rochman, C. M., Liboiron, M., Devriese, L. I., Hermabessiere, L., Athey S. N., Lynch, J. M., de Frond, H., Gray, A., Jones, O. A. H., Brander, S., ..., Nel, H. (2020). Reporting Guidelines to Increase the Reproducibility and Comparability of Research on Microplastics. *Applied Spectroscopy*, 74(9), 1066-1077. <https://doi.org/10.1177/0003702820930292>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dehaut, A., Cassone, A.-L., Frère, L., Hermabessiere, L., Himber, C., Rinnert, E., Rivière, G., Lambert, C., Soudant, P., Huvet, A., Duflos, G., & Paul-Pont, I. (2016). Microplastics in Seafood: Benchmark Protocol for Their Extraction and Characterization. *Environmental Pollution*, 215, 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>
- De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., & Pizarro-Ortega, C. I. (2021). Occurrence and Impacts of Microplastics in Latin American Marine Ecosystems: A review. *Environmental Pollution*, 274, 116552. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116552>
- De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Fernández, N. Y., Espinoza-Morriberón, D., & Saldaña-Serrano, M. (2020). Abundance and Distribution of Microplastics on Sandy Beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, 151, 110877. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877>
- Eo, S., Hong, S. H., Song, Y. K., Han, G. M., Shim, W. J., & Jang, M. (2021). Testing the bioaccumulation potential of manufactured nanomaterials in the freshwater amphipod *Hyalella azteca*. *Chemosphere*, 263, 127961. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127961>
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. *Science Advances*, 3(7), 1700782. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>
- Hernández-Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P., y Baptista Lucio, P. (2021). *Metodología de la investigación* (7.a ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). McGraw-Hill Education.
- Hidalgo-Ruz, V., Gutow, L., Thompson, R. C., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment: A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060-3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>
- Imhof, H. K., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N. P., & Laforsch, C. (2012). A Novel, Highly Efficient Method for the Separation and Quantification of Plastic Particles

- in Sediments of Aquatic Environments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10(7), 524-537. <https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Perú: Proyecciones de Población Total según Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2022*. <https://onx.la/a8bd1>
- Leslie, H. A., Velzen, M. J., Brandsma, S. H., & Jonker, W. (2022). Developing Low-Cost Methods for Microplastic Monitoring in Surface Waters. *Journal of Hazardous Materials*, 437, 129361. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129361>
- Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R., Lewis, C. N., Miller, R. J., Watts, A. J. R., & Wilson-McNeal, A. (2020). Are We Underestimating the Impact of Microplastics in the Marine Environment? A Comparison of Different Approaches to Assessing Ingestion and Effects in Organisms. *Frontiers in Marine Science*, 7, 692. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00692>
- Mai, L., You, S.-N., He, H., Bao, L.-J., Liu, L.-Y., & Zeng, E. Y. (2019). Riverine Microplastic Pollution in the Pearl River Delta, China: Are Modeled Estimates Accurate? *Environmental Science & Technology*, 53(20), 11810-11817. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04838>
- Ministerio del Ambiente. (2025). *Política Nacional del Ambiente al 2030. Resumen ejecutivo*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2235168/2195333-resumen-ejecutivo-pna-2025.pdf?v=1749850917>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Agua y saneamiento. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Munno, K., de Frond, H., O'Donnell, B., & Rochman, C. M. (2020). Increasing the Accessibility for Characterizing Microplastics: Introducing New Application-Based and Spectral Libraries of Plastic Particles (SLoPP and SLoPP-E). *Analytical Chemistry*, 92(3), 2443-2451. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b03626>
- Norén, F. (2007). *Small Plastic Particles in Coastal Swedish Waters*. KIMO Sweden; N-Research. https://www.penbay.org/bm/plastic_swedish_waters.pdf
- Nuelle, M.-T., Dekiff, J. H., Remy, D., & Fries, E. (2014). A New Analytical Approach for Monitoring Microplastics in Marine Sediments. *Environmental Pollution*, 184, 161-169. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.027>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2022). *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/06/global-plastics-outlook_f065ef59/aa1edf33-en.pdf
- Orona-Návar, C., García-Morales, R., Loge, F. J., Mähknecht, J., Aguilar-Hernández, I., & Ornelas-Soto, N. (2022). Microplastics in Latin America and the Caribbean: A Review on Current Status and Perspectives. *Journal of Environmental Management*, 309, 114698. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114698>
- Primpke, S., Wirth, M., Lorenz, C., & Gerdt, G. (2018). Reference Database Design for the Automated Analysis of Microplastic Samples Based on Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 410, 5131-5141. <https://doi.org/10.1007/s00216-018-1156-x>
- Rocha-Santos, T., & Duarte, A. C. (2015). A Critical Overview of the Analytical Approaches to the Occurrence, the Fate and the Behavior of Microplastics in the Environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 65, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2014.10.011>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s.f.). *Datos hidrometeorológicos a nivel nacional*. https://www.senamhi.gob.pe/servicios/?p=estaciones&utm_source=chatgpt.com
- Shaw, K. R., Sandquist, R., Fairclough, C., Black, J., Fitzgerald, A., Shaw, J. T., Gallager, S., & Lynch, J. (2024). Separation of Microplastics from Deep-Sea Sediment Using an Affordable, Simple to Use, and Easily Accessible Density Separation Device. *Microplastics and Nanoplastics*, 4(16). <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00093-7>
- Suaria, G., Avio, C. G., Mineo, A., Lattin, G. L., Magaldi, M. G., Belmonte, G., Moore, C. J., Regoli, F., & Aliani, S. (2016). The Mediterranean Plastic Soup: Synthetic Polymers in Mediterranean Surface Waters. *Scientific Reports*, 6, 37551. <https://doi.org/10.1038/srep37551>
- United Nations Environment Programme. (2020). *National Guidance for Plastic Pollution Hotspotting and Shaping Action. Introduction Report*. <https://www.unep.org/resources/report/national-guidance-plastic-pollution-hotspotting-and-shaping-action>
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodríguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, D., Winther-Nielsen, M., & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in Freshwater Ecosystems: What We Know and What We Need to Know. *Environmental Sciences Europe*, 26, 12. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0012-7>
- World Health Organization. (2023). *Microplastics in Drinking Water*. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/a6365240-4b02-4620-9f51-d700eb4e00de/content>

Contribución de los autores

FEMR: conceptualización y diseño del estudio, adaptación completa del formato científico exigido e integración de fuentes bibliográficas.

ASA: elaboración y gestión de documentos administrativos, incluidos consentimientos informados, declaraciones juradas y coordinación de impresión final.

KAYT: edición final del documento en Word, verificación de estilo, aplicación del formato IDAC y normas APA 7.

GVH: elaboración cartográfica y diseño de los mapas requeridos, georreferenciación de puntos de muestreo y contextualización espacial del área de estudio.

Fuentes de financiamiento

La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Minaya Rosales, Frans Emilio
E-mail: fransminayarosales@gmail.com