

Estudio de microplásticos en muestras de agua y sedimentos de un río urbano del suroccidente de Colombia

Study of microplastics in water and sediment samples from an urban river in southwestern Colombia

Juan José Cháves Velasco  Arnol Arias Hoyos 

Diana Milena Muñoz Solarte 
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colombia

Raquel Beatriz Romero Puentes 
Universidad Manuela Beltrán, Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido: 11/06/2023

Aceptado: 05/09/2023

Publicado: 08/11/2023

Correspondencia de autores:
juan.chaves.v@uniautonomo.edu.co



Copyright 2020
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Caracterizar microplásticos en sedimentos y muestras de agua del río Molino en la zona urbana del municipio de Popayán, Cauca. **Metodología:** Se realizó la recolección de muestras de sedimentos y columna de agua en tres estaciones en la ribera del río Molino en su paso por el perímetro urbano del municipio de Popayán, transportándolas hacia análisis en laboratorio logrando extraer microplásticos por la implementación de actividades de filtración y separación por densidad, finalizando con inspección y conteo por microscopía. **Resultados:** Se determinaron partículas plásticas en todas las muestras, logrando estipular su clasificación morfológica y su cantidad en unidades de MP/L y MP/Kg para agua y sedimentos respectivamente. **Conclusiones:** Se identificaron valores en columna de agua entre 79-3728 MP/L y en sedimentos de 5270-39120 MP/Kg. La influencia antrópica actuó como un principal determinante en la concentración de estos polímeros y de sus respectivos porcentajes morfológicos, además en su clasificación, siendo esta mayoritariamente secundaria.

Palabras clave: Microplásticos, Agua, Sedimentos, río Molino, Influencia antrópica.

Abstract

Objetivo: Characterize microplastics of sediments and water samples from the Molino River in the Urban Zone of the Municipality of Popayán, Cauca. **Methodology:** Sediment and water samples were collected at three stations on the banks of the Molino River as it passes through the urban perimeter of the municipality of Popayán and transported for laboratory analysis, extracting microplastics by implementing filtration and density separation activities, ending with inspection and counting by microscopy. **Results:** Plastic particles were determined in all samples, stipulating their morphological classification and their quantity in units of MP/L and MP/Kg for water and sediments, respectively. **Conclusions:** Values were identified in the water column between 79-3728 MP/L and in sediments between 5270-39120 MP/Kg. The anthropic influence acted as a main determinant in the concentration of these polymers and their respective morphological percentages, as well as in their classification, which was mostly secondary.

Keywords: Microplastics, Water, Sediments, Molino river, Anthropic influence.

Introducción

La sociedad como actualmente se conoce, se debe a la creación de múltiples tecnologías con el paso del tiempo alrededor del mundo [1]. Uno de esos inventos fueron los materiales plásticos los cuales, han tenido una ultra producción por su resistencia a la corrosión, bajo costo, durabilidad, entre otros factores logrando la denominación de “Edad Plástica” al momento histórico presente [2].

Generalmente, estos productos a base de polímeros [3], se encuentran dentro de la clasificación de elementos de un solo uso, a los cuales, se les produce su desecho al finalizar su utilización [4]. Ello, ocasiona preocupación en organismos internacionales, científicos, administrativos y académicos a razón de la inadecuada disposición final que obtienen estos materiales acumulándose así, en los medios naturales [5].

Al momento de encontrarse en los diferentes ecosistemas, los materiales plásticos cuentan con tiempos de degradación hasta de 1000 años [6]. Sin embargo, debido a la dinámica natural de las matrices en las que se encuentran, se ocasionan rupturas y desprendimientos de partículas que al alcanzar tamaños menores o iguales a 5 mm obtienen la denominación de Microplásticos (MP) [7, 8].

Los MP se encuentran dentro del grupo de Contaminantes Emergentes [9], caracterizados por no estar incluidos dentro de los sistemas y normativas actuales de protección y monitoreo ambiental [10]. Del mismo modo, estas micro partículas se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios, se refieren a las partículas que desde su generación ya cuentan con las dimensiones micro (menor o igual a 5mm) [2] mientras que, los secundarios, son el resultado de desprendimientos de materiales de mayor tamaño [11].

La problemática de estas partículas, inicia con la bioacumulación en la cadena trófica de animales y humanos [12, 13], generando afectaciones debido a la capacidad de adsorber productos y aditivos químicos aumentando su toxicidad [14]. En los animales, se han presentado indicios de disminución de apetito ocasionando desnutrición y, por lo tanto, muerte [15]. Mientras que, en humanos se ha documentado que los MP afectan la respuesta inmune del organismo provocando resistencia a múltiples fármacos en sus diferentes implementaciones y tratamientos por el aumento de partículas con toxinas adheridas a ellas [16, 17].

A nivel global, se han desarrollado investigaciones principalmente en aguas marinas [18]. Sin embargo, las corrientes de agua dulce transportan el 80% de los residuos plásticos que llegan a los océanos [19], lo que hace de estas una importante fuente para la determinación y caracterización de MP debido a su paso por múltiples centros urbanos, agrícolas e industriales [20].

En Colombia, se han presentado estudios en fuentes de agua dulce y salada como el realizado por [21] en el lago Luruaco, ubicado en cercanías de la ciudad de Santa Marta obteniendo resultados entre 0.25–1.90 MP/L en las diferentes épocas del año. Por otra parte, la investigación de [22] plasmó el incremento de MP en la bahía de Buenaventura en el Pacífico Colombiano entre los años 2015 y 2019 encontrando incrementos porcentuales anuales de aproximadamente 29% en la concentración de estas partículas en las muestras de agua ejecutadas en la zona de estudio.

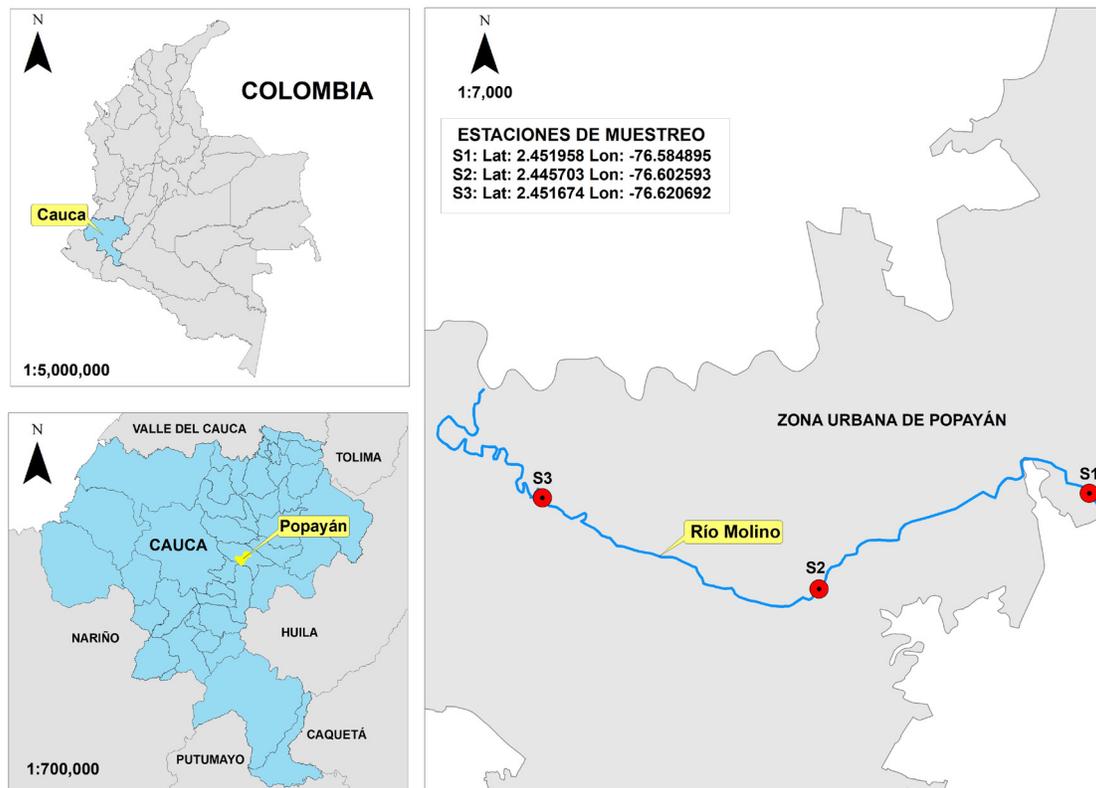
Por lo expresado anteriormente, se realizó la presente investigación que tiene como objetivo caracterizar microplásticos en muestras de agua y sedimentos en el recorrido urbano del río Molino en el municipio de Popayán, Cauca. Determinando su presencia, su clasificación morfológica y cuantificando estos en MP/Kg y MP/L teniendo en cuenta que, es un recurso hídrico que recibe múltiples descargas de aguas residuales domésticas, agrícolas y acumulación de residuos sólidos con inadecuada disposición final al atravesar la zona urbana del municipio mencionado.

Metodología

Muestreo y recolección de datos

Se establecieron tres estaciones y eventos de muestreo en el paso del río por la zona urbana del municipio de Popayán. Estas, fueron divididas en las zonas norte (S1), centro (S2) y sur (S3) del recorrido urbano de la fuente de agua (Figura 1) de acuerdo a los criterios de selección estipulados: presencia de sedimentos en la ribera del río, cercanía a vertimientos de aguas residuales, inadecuada disposición de residuos sólidos, facilidad de acceso y seguridad en la zona durante los meses de enero y marzo de 2023.

Figura 1. Estaciones de muestreo



Fuente: Elaboración propia

Se tuvieron en cuenta los protocolos de [23, 24] respectivamente para la toma de muestras de agua y sedimentos adaptadas según las condiciones del área de extracción encontrada. Para la toma del medio acuático, se realizó filtración in situ de 3 galones de agua del río (11.3 L) utilizando papel filtro de 45 micras durante un tiempo de 10 minutos [25], disponiendo el resultado en cajas de Petri con 20 ml de agua del medio y 2 ml de peróxido de hidrogeno al 50% (H_2O_2) con la finalidad de acción como agente oxidante, seguido del transporte hacia el laboratorio de química de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca. Adicionalmente, se recolectó un galón del efluente para la medición de parámetros fisicoquímicos (F/Q) de la zona de estudio.

Para el caso de los sedimentos, con el uso de cuadrantes de 250 cm² separados cada 6 metros y utensilios de metal, se retiró la capa encontrada a una profundidad máxima de 5 cm, depositándolos en bandejas de aluminio selladas y rotuladas para su transporte al laboratorio anteriormente mencionado.

El número de muestras de sedimentos en cada estación dependió de la longitud del área natural encontrada, expuesta en la tabla 1:

Tabla 1. Numero de muestras realizadas según la longitud de la estación de muestreo

Zona	Longitud estación de muestreo (m)	# muestras realizadas
Norte (S1)	20	3
Centro (S2)	26	4
Sur (S3)	20	3

Fuente: Elaboración propia

Análisis de laboratorio

Se midió la turbiedad y conductividad del agua utilizando un turbidímetro HACH 2100Q y un conductímetro METTLER TOLEDO Inlab 605-ISM. En aras de obtener resultados precisos y confiables en esta matriz, se realizó un proceso de depuración al vacío con la cantidad adicional del líquido recolectado en los filtros obtenidos en campo, con un volumen total 4 galones (15.1 L) y finalizando nuevamente con la oxidación de materia orgánica.

En el caso de los sedimentos, se sometieron 400g de cada muestra a un proceso de secado con una temperatura aproximada de 60°C durante 48 H utilizando la incubadora BINDER E28. Los sustratos secos pasaron por tamices de 2.36, 1.66 y 1.18 mm para eliminar partículas de mayor tamaño que podrían interferir en el conteo de MP.

Se preparó una solución hipersalina diluyendo 300 g de cloruro de sodio 98% (NaCl) en un litro de agua destilada durante 30 minutos a 1300 rpm. Lo anterior, dio paso al proceso de separación por densidad en beakers de 250 ml con la mezcla manual de 50 g del sedimento seco y tamizado de cada muestra con 200 ml de la solución durante 2 minutos. Esta solución, reposó durante 5 horas, lo que permitió la precipitación de materia orgánica y la generación de un sobrenadante el cual, fue filtrado al vacío utilizando los materiales ya mencionados.

Los filtros obtenidos de las dos matrices fueron ubicados en un desecador donde se mantuvieron durante 48 horas eliminando todo porcentaje de humedad. Con aumentos de 10x se realizó inspección visual utilizando un microscopio LEYCA modelo dm500 y la forma de barrido planteada por [23]. El conteo de MP se expresó en unidades de MP/Kg y MP/L con clasificación morfológica de fragmentos, films, fibras y esferas.

Prevención y control de la contaminación

Para minimizar contaminación y el sobre conteo de MP durante la obtención de las muestras y su respectivo tratamiento en el laboratorio, se utilizaron materiales no plásticos como lo fueron palas de metal, bandejas de aluminio, botellas y cajas de Petri de vidrio [21]. Se realizó un ensayo de filtración al vacío con un litro de agua destilada depositando el filtro resultante en una caja de Petri dentro de un desecador durante 48h y realizando observación visual mediante microscopía en aumentos de 10X. No se encontraron micro partículas plásticas.

Resultados y análisis

El río Molino atraviesa la zona urbana del municipio de Popayán en sentido este a oeste, ingresando por la comuna 3 con desembocadura final en el río Cauca cercano a la comuna 8 del centro poblado. En su recorrido, transcurre por zonas residenciales y mercantiles con una extensión aproximada de 8 Km.

Se encontraron MP en la totalidad de las muestras de agua y sedimentos con valores respectivos entre 79-3728 MP/L y 5270-39120 MP/Kg respectivamente (ver tabla 2).

Tabla 2. Distribución de MP

Zona	Agua (MP/L)	Sedimentos (MP/Kg)
Norte (S1)	79	5270
Centro (S2)	3728	39120
Sur (S3)	379	18373

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades de MP encontradas en la estación norte (S1) en sedimentos y muestras de agua, hacen referencia a las comunidades que se encuentran en la zona rural del municipio. Veredas como Santa Bárbara, el Sendero, entre otras, podrían tener habitantes que descarguen tanto aguas residuales domésticas como residuos plásticos logrando la formación de los diferentes polímeros que ingresan al perímetro urbano de la ciudad.

Las concentraciones de mayor valor en los dos medios evaluados, se ubicaron en la zona céntrica del efluente, que tal y como se evidencia en la Tabla 2, su valor en MP/Kg se puede relacionar al desecho y liberación directa de residuos agrícolas, lavado de alimentos y demás productos provenientes de la plaza de mercado que se encuentra en inmediaciones de la estación de muestreo. Así mismo, la acumulación de residuos plásticos por parte de la comunidad aledaña en las riberas del río, aumenta en gran medida la presencia de estas partículas.

Al ser una zona de alta afluencia antrópica, existen múltiples estructuras sobre el cauce del efluente que generan concentración de sedimentos y, por ende, de MP por el transporte del agua.

El río Molino presenta diversos puntos de vertimiento de aguas residuales, a través de los cuales, se produce la liberación de altas cantidades de MP en su cauce, además, de los conducidos por escorrentía. En virtud de ello, las altas cifras de MP/L en S2, se atribuyen a dichas descargas ocurridas aguas arriba y a las actividades antropogénicas anteriormente referidas.

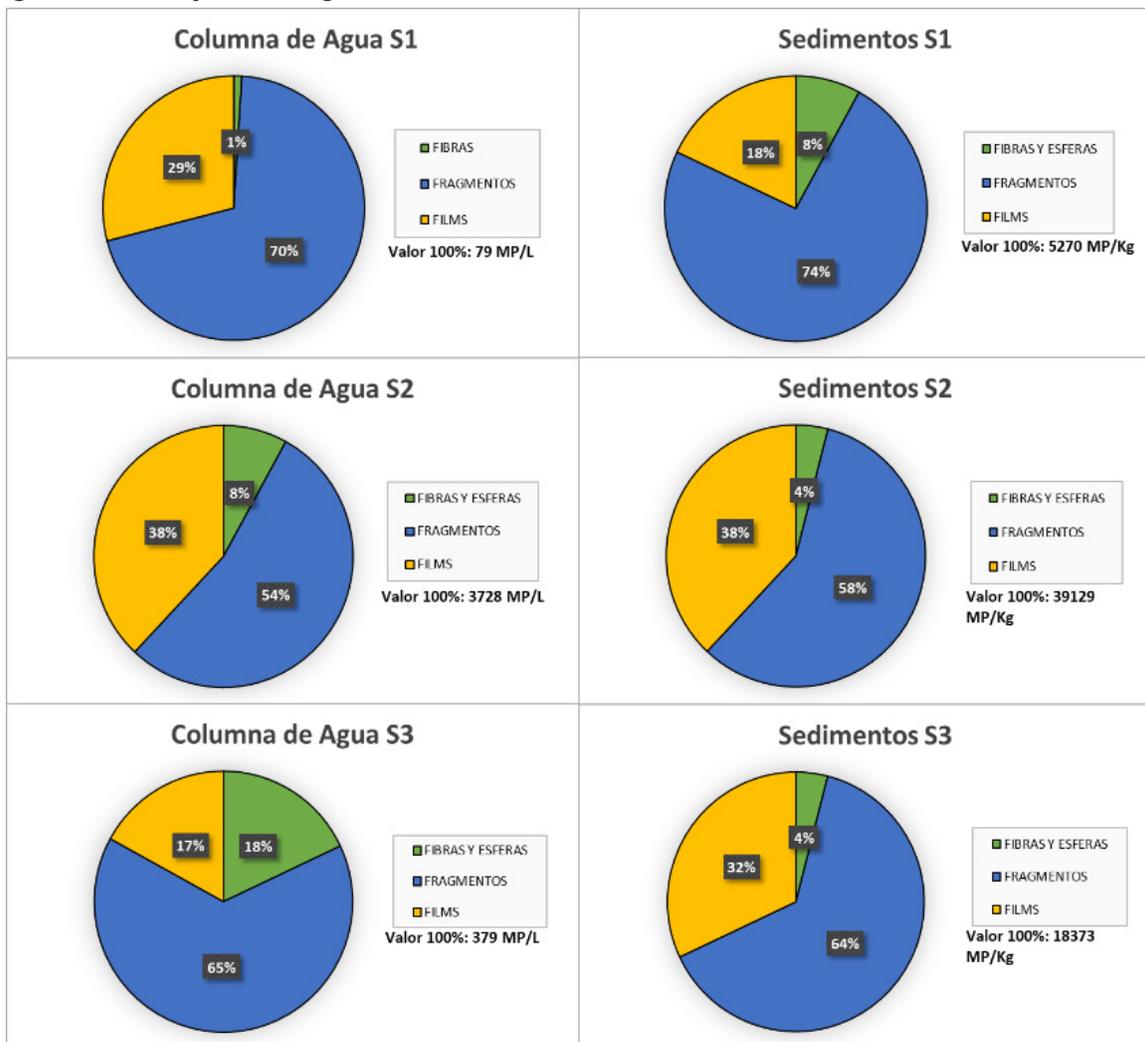
Caso contrario, fue el encontrado en la estación sur de muestreo (S3), la cual, si bien se encuentra dentro la zona urbana del municipio, presenta una alteración antrópica menor al limitar con áreas de menor asentamiento poblacional, disminuyendo la acumulación de sedimentos en esta por la no existencia de estructuras como puentes y canales. Además, como se menciona en [26], las condiciones hidrológicas de la fuente de agua alcanzan una mayor dispersión de MP por incremento del caudal y del ancho de las laderas del río. Por lo anterior, se disminuye considerablemente la cifra de polímeros plásticos encontrados en las matrices estudiadas.

Se han realizado estudios similares en Colombia, [27] llevó a cabo la caracterización de MP en muestras de agua y sedimentos del paso del río Magdalena por la ciudad de Neiva, Huila, encontrando un total de 1.9 MP/L Y 199 MP/Kg teniendo como morfología con mayor presencia las fibras.

Estas concentraciones, se diferencian de las encontradas en el presente estudio por razones hidrológicas. En el trabajo de [26] se menciona que la concentración de MP en columna de agua es inversamente proporcional al caudal de la fuente hídrica evaluada. En su recorrido urbano, el río Molino posee un caudal medio de 1 m³/s [28], mientras que, su contraparte en el punto de análisis cuenta con una medición aproximada de 600 m³/s [29] lo que reduce en gran medida la cantidad de partículas plásticas en columna de agua y sedimentos por el abundante paso de líquido.

La clasificación morfológica de los polímeros en el río Molino arrojó cuatro formas predominantes, las cuales fueron fragmentos, fibras, films y esferas según la guía de caracterización de [23], diferenciados en porcentaje por zona y matriz en la figura 2.

Figura 2. Porcentajes morfológicos de MP

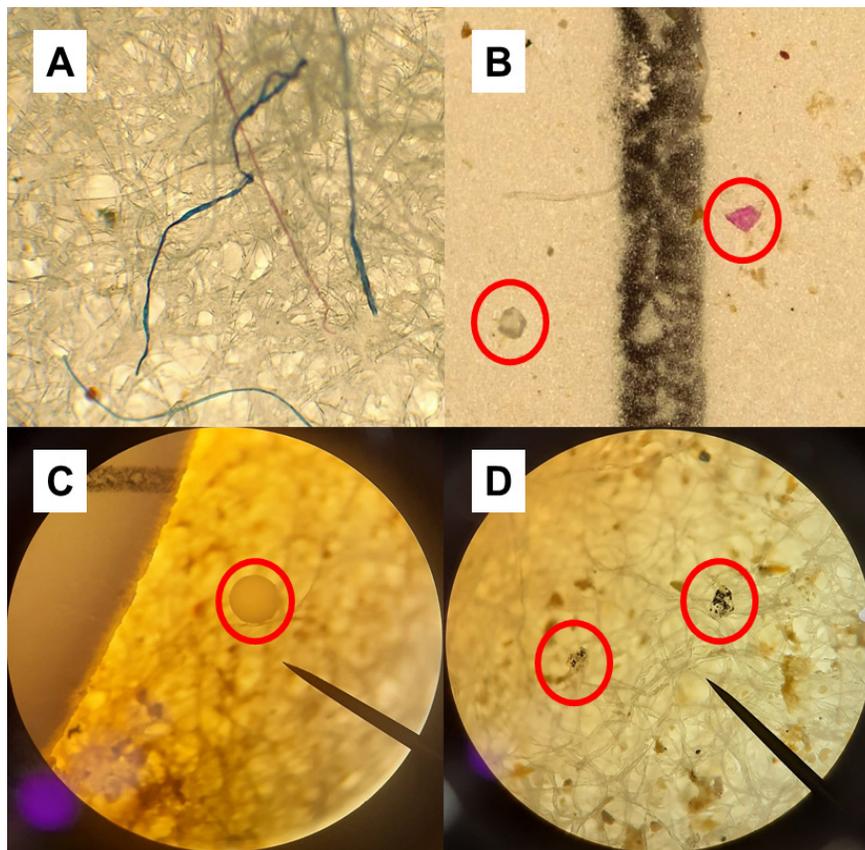


Fuente: Elaboración propia

La morfología de los MP encontrados, evidencia una superioridad de fragmentos en el 100% de las muestras realizadas. En segundo lugar, se ubicaron los films y, por último, en menor proporción, las fibras y esferas, a excepción de la columna de agua en S3. Lo anterior, permite establecer que predominan en todos los casos MP de segunda categoría, es decir, partículas provenientes de desprendimientos de productos plásticos de mayor tamaño [11].

En la muestra de agua de la estación sur, se refleja un incremento porcentual de fibras y esferas respecto de las demás estaciones. Ello, podría relacionarse a descarga de aguas residuales resultado del lavado manual de ropa y productos cosméticos por parte de la población ubicada entre las estaciones S2 y S3, lo que constituiría la razón por la que se producen estas morfologías plásticas en mayor proporción. En la figura 3, se evidencian capturas fotográficas de las morfologías encontradas.

Figura 3. Registro de Microplásticos



A: Fibras, B: Fragmentos, C: Esfera, D: Films

Fuente: Elaboración propia

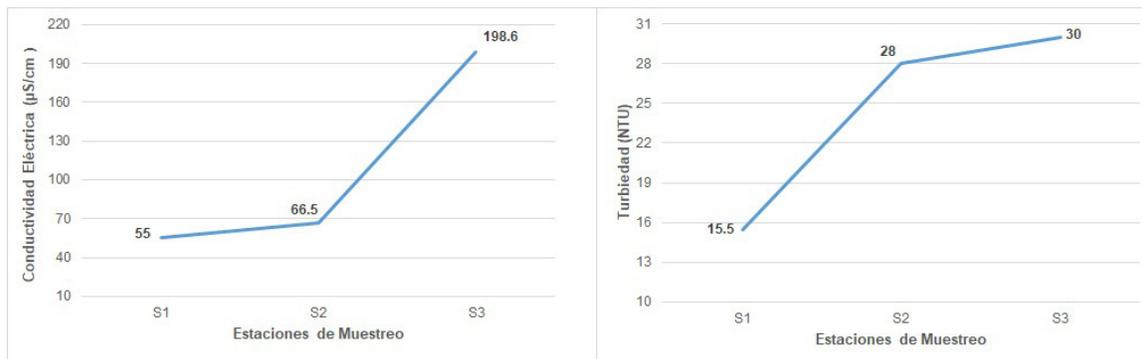
Las condiciones antrópicas permiten relacionar el porcentaje morfológico de MP en el río Magdalena con el encontrado en la muestra de agua de S3 en el río Molino. Las estaciones de muestreo en Neiva fueron realizadas en zonas con presencia de vertimientos o descargas de aguas residuales con contenido de lavado de ropa sintética y productos de cuidado personal [27], confirmando la razón mediante la cual se generó el incremento porcentual de fibras y esferas en la estación sur del presente proyecto.

De igual manera, la existencia de una plaza de mercado y el abundante paso de pobladores que realizan un inadecuado desecho de productos plásticos en la estación S2 del río Molino, serían las principales causales del pico generado en esta zona. Por otro lado, en la investigación [27] la locación céntrica del río Magdalena

presenta cercanía con habitantes y su mayor actividad antrópica es la pesca artesanal, encargada de surtir las áreas de comercio en los diferentes barrios de la ciudad de Neiva, lo que genera que el crecimiento de MP en este, sea en menor proporción.

Las mediciones F/Q del agua fueron de carácter creciente según su paso por las estaciones de recolección. La turbiedad, expresada en unidades NTU y la conductividad a su vez, en $\mu\text{S}/\text{cm}$ se evidencian en la figura 4:

Figura 4. Parámetros F/Q evaluados



Fuente: Elaboración propia

Las mediciones F/Q obtenidas de igual forma, se relacionan con las condiciones hidrológicas del río y las acciones antropogénicas que en este se presentan. En S2, el aumento significativo de la turbiedad corresponde a los vertimientos y lavados que se realizan en esta sección, liberando sólidos suspendidos que se acumulan y disminuyen el paso de la luz a través del líquido y adicionalmente, genera una disminución en la capacidad del agua para transportar iones, por lo cual la conductividad, presentó un menor crecimiento [30].

El proyecto de [5] planteó determinar la concentración de MP en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en río de la Plata, Argentina. Para ello, se midieron parámetros F/Q en el área de estudio con la finalidad de determinar si existían correlaciones entre la abundancia de MP y estas variables, obteniendo un resultado negativo. Sin embargo, en las estaciones S1 y S3 de la presente investigación, se obtuvieron incrementos similares en la conductividad eléctrica del agua y en los MP/Kg. El parámetro medido en $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las dos estaciones presentó un alza de 3.6 veces su valor inicial; los MP en sedimentos aumentaron a su vez, aproximadamente 3.5 veces sin tener en cuenta los valores céntricos (S2) por su injerencia antrópica.

Lo anterior, permite mencionar que los MP en sedimentos de ríos de poco caudal y la conductividad del agua podrían tener crecimientos similares en escenarios donde la intervención humana no sea contundente como es el caso de las estaciones norte y sur del efluente estudiado.

Conclusiones

La caracterización de microplásticos en sedimentos y muestras de agua del río Molino en la zona urbana del municipio de Popayán permitió inicialmente, determinar la presencia de MP en la totalidad de las muestras de agua y sedimentos provenientes en su gran mayoría de actividades antrópicas y descargas de aguas residuales. La tipología encontrada corresponde principalmente a partículas de segunda categorización, resultados de desprendimientos y rupturas de productos plásticos de mayor tamaño.

Respecto a la morfología de estos polímeros se identificaron cuatro categorías que corresponden a: fragmentos, films, fibras y esferas. Siendo más abundantes los fragmentos con un porcentaje superior al 50% en todas las estaciones y matrices evaluadas. En la muestra de agua de la estación S3, se presentó un incremento significativo de fibras y esferas a razón de posibles descargas de aguas servidas con contenidos provenientes del lavado manual de ropa sintética y de productos cosméticos.

Finalmente, la cuantificación de MP en el río Molino al pasar por la zona urbana del municipio de Popayán, arrojó valores entre 79-3728 MP/L y 5270-39120 MP/Kg en columna de agua y sedimentos respectivamente, presentándose un pico de acumulación importante en la estación S2 debido a las actividades realizadas por la plaza de mercado aledaña y la disposición de residuos plásticos por parte de la comunidad.

Referencias bibliográficas

1. Y. Adomat and T. Grischek, "Sampling and processing methods of microplastics in river sediments - A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 758, p. 143691, mar. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143691.
2. A. Cózar *et al.*, "Plastic debris in the open ocean," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 111, no. 28, pp. 10239–10244, 2014, doi: 10.1073/pnas.1314705111.
3. L. Yang, Y. Zhang, S. Kang, Z. Wang, and C. Wu, "Microplastics in freshwater sediment: A review on methods, occurrence, and sources," *Sci. Total Environ.*, vol. 754, p. 141948, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141948.
4. C. G. Alimba and C. Faggio, "Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile," *Environ. Toxicol. Pharmacol.*, vol. 68, no. February, pp. 61–74, 2019, doi: 10.1016/j.etap.2019.03.001.
5. R. S. Pazos, "Estudio de microplásticos en la columna de agua, sedimento intermareal y biota residente en la costa del estuario del Río de la Plata (Franja Costera Sur)," *Fac. ciencias Nat. y Mus.*, pp. 1–225, 2021.
6. A. L. Andrady, "Microplastics in the marine environment," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 62, no. 8, pp. 1596–1605, 2011, doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.05.030.
7. M. Jian, Y. Zhang, W. Yang, L. Zhou, S. Liu, and E. G. Xu, "Occurrence and distribution of microplastics in China's largest freshwater lake system," *Chemosphere*, vol. 261, p. 128186, 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128186.
8. J. C. Prata, J. P. da Costa, A. C. Duarte, and T. Rocha-Santos, "Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: A critical review," *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 110, pp. 150–159, 2019, doi: 10.1016/j.trac.2018.10.029.
9. D. Cortés-Arriagada, D. E. Ortega, and S. Miranda-Rojas, "Mechanistic insights into the adsorption of endocrine disruptors onto polystyrene microplastics in water," *Environ. Pollut.*, vol. 319, no. October 2022, 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2023.121017.
10. N. Delgado, "Diagnóstico y remoción de contaminantes emergentes en aguas superficiales y cloacales," *La Plata, Argentina*, pp. 1–127, 2019.
11. S. Onoja, H. A. Nel, M. A. E. Abdallah, and S. Harrad, "Microplastics in freshwater sediments: Analytical methods, temporal trends, and risk of associated organophosphate esters as exemplar plastics additives," *Environ. Res.*, vol. 203, no. February 2021, p. 111830, 2022, doi: 10.1016/j.envres.2021.111830.
12. N. B. Hartmann *et al.*, "Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 53, no. 3, pp. 1039–1047, 2019, doi: 10.1021/acs.est.8b05297.

13. C. Bollaín Pastor and D. Vicente Agulló, "Presencia de Microplásticos en Aguas y su Potencial Impacto en la Salud Pública," *Rev. Esp. Salud Publica*, vol. 93, pp. 1–10, 2019, [Online]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272019000100012
14. C. SA Mason , L. Kammin , M. Eriksen , G. Aleid , S. Wilson, "Contaminación plástica pelágica en las aguas superficiales del lago Michigan, EE. UU," 2016.
15. S. Rehse, W. Kloas, and C. Zarfl, "Short-term exposure with high concentrations of pristine microplastic particles leads to immobilisation of *Daphnia magna*," *Chemosphere*, vol. 153, pp. 91–99, 2016, doi: 10.1016/j.chemosphere.2016.02.133.
16. V. K. Gaur *et al.*, "A review on the effect of micro- and nano-plastics pollution on the emergence of antimicrobial resistance," *Chemosphere*, vol. 311, no. P1, p. 136877, 2023, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.136877.
17. P. N. Angnunavuri, F. Attiogbe, and B. Mensah, "Particulate plastics in drinking water and potential human health effects: Current knowledge for management of freshwater plastic materials in Africa," *Environ. Pollut.*, vol. 316, no. P1, p. 120714, 2023, doi: 10.1016/j.envpol.2022.120714.
18. L. G. A. Barboza, A. Dick Vethaak, B. R. B. O. Lavorante, A. K. Lundebye, and L. Guilhermino, "Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 133, no. June, pp. 336–348, 2018, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.
19. O. S. Alimi, J. Farner Budarz, L. M. Hernandez, and N. Tufenkji, "Microplastics and Nanoplastics in Aquatic Environments: Aggregation, Deposition, and Enhanced Contaminant Transport," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 4, pp. 1704–1724, 2018, doi: 10.1021/acs.est.7b05559.
20. A. Ballent, S. Pando, A. Purser, M. F. Juliano, and L. Thomsen, "Modelled transport of benthic marine microplastic pollution in the Nazaré Canyon," *Biogeosciences*, vol. 10, no. 12, pp. 7957–7970, 2013, doi: 10.5194/bg-10-7957-2013.
21. R. A. Rojas-Luna, L. Oquendo-Ruiz, C. A. García-Alzate, V. A. Arana, R. García-Alzate, and J. Trilleras, "Identification, Abundance, and Distribution of Microplastics in Surface Water Collected from Luruaco Lake, Low Basin Magdalena River, Colombia," *Water*, vol. 15, no. 2, p. 344, 2023, doi: 10.3390/w15020344.
22. L. Vidal, A. Molina, and G. Duque, "Increase in microplastic pollution in the surface waters of Buenaventura Bay, Colombian Pacific," *Bol. Investig. Mar. y Costeras*, vol. 50, no. 2, pp. 113–132, 2021, doi: 10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032.
23. D. León Muez *et al.*, "Protocolo para la planificación, muestreo, análisis e identificación de microplásticos en ríos," *ProyectoLibera*, vol. 3, no. June, pp. 1–66, 2020, [Online]. Available: https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2020/06/Protocolo_muestreo_analisis_microplasticos_rios_Proyecto_Libera_HyT-web.pdf
24. INVEMAR, "Protocolo Muestreo microplasticos INVEMAR," pp. 1–21, 2017.
25. D. León-Muez *et al.*, "First sampling of microplastics in streams and rivers of peninsular Spain," *Ecosistemas*, vol. 29, no. 3, 2020, doi: 10.7818/ECOS.2087.
26. L. Watkins, P. J. Sullivan, and M. T. Walter, "A case study investigating temporal factors that influence microplastic concentration in streams under different treatment regimes," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 26, no. 21, pp. 21797–21807, 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04663-8.
27. H. Calderón, P. Martínez, and J. Muñoz, "Caracterización y cuantificación de microplásticos en los sedimentos y la columna de agua del río Magdalena en la ciudad de Neiva, Colombia," in *Desarrollo e Invación en Ingeniería*, 2020, pp. 533–541. [Online]. Available: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4031208>
28. CRC; Fundacion pro cuenca Río las Piedras, "POMCA subcuenca Río Molino," 2006.

29. Universidad Nacional de Colombia, "ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LAS ISLAS UBICADAS EN EL RÍO MAGDALENA FRENTE A LA CIUDAD DE NEIVA," 2006.
30. O. Ospina Zuñiga, G. García Cobas, J. Gordillo Rivera, and K. Tovar Hernández, "Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeima (Ibagué, Colombia)," *Ing. Solídar*, vol. 12, no. 19, pp. 19–36, 2016, doi: 10.16925/in.v12i19.1191.