




Presencia de microplásticos en sedimentos de la ribera urbana del río Milagro, cantón Milagro, Ecuador

Presence of microplastics in riparian sediments of the urban stretch of the Milagro River, Milagro Canton, Ecuador

Manuel Oswaldo Santander-Villao¹ , Pablo Israel Vargas-Guillén¹ , Ronny Mauricio Pazmiño-Vidal¹ ,

Ronald Angelo Yungan-Camba¹ 

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la presencia, distribución espacial y características morfológicas de partículas compatibles con microplásticos en sedimentos ribereños del tramo urbano del río Milagro, cantón Milagro, Ecuador. Se desarrolló una investigación cuantitativa, descriptiva, no experimental y transversal. El área evaluada comprendió aproximadamente 48 000 m² entre ambas riberas, desde Puente San Miguel hasta Vasija de Barro. Se establecieron cinco zonas de muestreo: Puente San Miguel, Parque de la Familia, Puente de la Iglesia Central, Puente Valdez y Vasija de Barro, con nueve estaciones distribuidas en ambas márgenes. En cada estación se delimitó un cuadrante de 1 m² y se recolectó sedimento superficial hasta 10 cm de profundidad. Las muestras fueron procesadas con tamices de acero inoxidable de 5 mm y 0.5 mm. Las partículas recuperadas fueron contadas, pesadas y clasificadas visualmente según tipo y morfología mediante observación directa, lupa monocular y microscopio óptico. El análisis fue descriptivo, mediante frecuencias, porcentajes y masa por estación. La masa total recuperada fue de 103 g; 37.65 g correspondieron a partículas clasificadas visualmente como primarias y 65.28 g como secundarias. Se identificaron 594 partículas, predominando los fragmentos con 447 unidades, equivalentes al 75.3 %. La mayor acumulación se registró en la zona 3, especialmente en la estación E6. Los resultados evidencian presencia de partículas compatibles con microplásticos en el tramo evaluado; sin embargo, la identificación fue visual y morfológica, sin confirmación polimérica instrumental, lo que delimita el alcance interpretativo de los hallazgos.

Palabras clave: microplásticos, sedimentos ribereños, contaminación plástica, río urbano, Ecuador.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the presence, spatial distribution, and morphological characteristics of particles consistent with microplastics in riparian sediments along the urban stretch of the Milagro River, in the Milagro canton, Ecuador. A quantitative, descriptive, non-experimental, cross-sectional study was conducted. The study area covered approximately 48,000 m² between both banks, from San Miguel Bridge to Vasija de Barro. Five sampling zones were established: San Miguel Bridge, Parque de la Familia, Central Church Bridge, Valdez Bridge, and Vasija de Barro, with nine stations distributed along both banks. At each station, a 1 m² quadrant was delineated, and surface sediment was collected to a depth of 10 cm. The samples were processed using 5 mm and 0.5 mm stainless steel sieves. The recovered particles were counted, weighed, and visually classified by type and morphology through direct observation, a monocular magnifying glass, and an optical microscope. The analysis was descriptive, using frequencies, percentages, and mass per station. The total mass recovered was 103 g; 37.65 g corresponded to particles visually classified as primary and 65.28 g as secondary. A total of 594 particles were identified, with fragments predominating at 447 units, equivalent to 75.3 %. The highest accumulation was recorded in Zone 3, particularly at Station E6. The results indicate the presence of particles consistent with microplastics in the section studied; however, identification was based on visual and morphological characteristics, without instrumental polymeric confirmation, which limits the interpretive scope of the findings.

Keywords: microplastics, riparian sediments, urban river, plastic pollution, Ecuador.

¹Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador

*Autor de correspondencia. E-mail: ryungan@uagraria.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por plásticos se ha consolidado como una de las expresiones más persistentes de la presión humana sobre los ecosistemas acuáticos. Su expansión responde no solo al incremento del consumo de materiales poliméricos de bajo costo y alta durabilidad, sino también a las limitaciones en la gestión, recuperación y disposición final de residuos. En ambientes expuestos a radiación solar, abrasión mecánica, transporte hídrico y procesos de intemperismo, los residuos plásticos de mayor tamaño pueden fragmentarse progresivamente hasta formar partículas menores. Dentro de este conjunto, los microplásticos se reconocen, de manera general, como partículas plásticas de tamaño igual o inferior a 5 mm, aunque su clasificación como primarios o secundarios depende de su origen y no únicamente de su tamaño. Los primarios son fabricados originalmente en dimensiones pequeñas, mientras que los secundarios se generan por la ruptura, desgaste o degradación de objetos plásticos mayores (Bexeitova et al., 2024; Jin et al., 2025).

Durante los últimos años, el interés científico sobre los microplásticos se ha desplazado desde un enfoque predominantemente marino hacia una comprensión más amplia de los sistemas continentales. Los ríos ocupan una posición clave en esta discusión porque conectan fuentes terrestres con ambientes lacustres, estuarinos y marinos, al mismo tiempo que pueden funcionar como zonas de retención temporal de partículas. Una evaluación global reciente sobre aguas continentales integró miles de observaciones procedentes de cientos de estudios y evidenció que la distribución de microplásticos en estos sistemas es altamente heterogénea, con variaciones asociadas al uso del suelo, la presión antrópica, las condiciones hidrológicas y las diferencias metodológicas entre investigaciones (Jin et al., 2025). Este panorama confirma que los ríos no deben entenderse solo como vías de transporte, sino también como espacios donde las partículas plásticas pueden depositarse, redistribuirse o concentrarse bajo condiciones ambientales específicas.

En los ríos urbanos, esta problemática adquiere

una relevancia particular. La proximidad a áreas residenciales, comerciales, vías de tránsito, descargas urbanas y puntos de acumulación de residuos incrementa la probabilidad de ingreso de partículas plásticas al sistema fluvial. Kunz et al. (2023), al analizar ríos a lo largo de un gradiente urbano-rural, observaron que la abundancia de microplásticos se relacionó con variables antrópicas como densidad poblacional, urbanización y patrones de uso del suelo; además, reportaron incrementos marcados en la transición hacia áreas urbanas, especialmente donde aparecían sistemas de drenaje pluvial. De manera complementaria, Duong et al. (2023) demostraron que los sedimentos de ríos urbanos y suburbanos pueden acumular microplásticos y que su distribución está influida tanto por la presión humana como por las propiedades del sedimento. Estos hallazgos permiten situar a los ríos urbanos como ambientes sensibles para el monitoreo de microplásticos, aunque las relaciones observadas deben interpretarse considerando las particularidades físicas y sociales de cada cuenca.

El estudio de sedimentos ribereños es especialmente pertinente porque estos materiales pueden actuar como reservorios temporales de partículas plásticas. A diferencia de la columna de agua, donde las partículas pueden desplazarse rápidamente por efecto del caudal, la turbulencia o los eventos de lluvia, los sedimentos permiten reconocer acumulaciones asociadas a procesos de deposición. Xia et al. (2023) aportaron evidencia directa de que los lechos de ríos urbanos pueden secuestrar microplásticos bajo condiciones de bajo flujo y exportarlos nuevamente durante periodos de mayor energía hidráulica. Esta dinámica muestra que los sedimentos no son compartimentos estáticos, sino zonas de intercambio entre retención y movilización. Por ello, caracterizar los microplásticos en sedimentos ribereños contribuye a entender no solo su presencia, sino también su posible acumulación espacial dentro de tramos urbanos específicos (Duong et al., 2023; Xia et al., 2023; Zhou et al., 2024).

La morfología de las partículas constituye otro componente relevante en los estudios descriptivos de microplásticos. Formas como fragmentos, fibras,

películas, líneas o partículas tipo espuma pueden aportar información preliminar sobre procesos de desgaste, fragmentación o posibles fuentes de aporte. Sin embargo, la forma predominante puede variar según la matriz ambiental evaluada. Matjašič et al. (2023) encontraron diferencias entre microplásticos presentes en la columna de agua y en sedimentos de ríos pequeños a lo largo de gradientes rural-urbanos, lo que evidencia que el compartimento analizado influye en la composición morfológica reportada. En sedimentos, los fragmentos suelen adquirir relevancia porque las partículas irregulares derivadas de la ruptura de residuos mayores pueden depositarse y acumularse con mayor facilidad bajo ciertas condiciones hidráulicas. Esta observación es importante para estudios como el del río Milagro, donde la caracterización se centra en sedimentos ribereños y no en agua superficial (Matjašič et al., 2023; Zhou et al., 2024).

La evidencia regional también refuerza la necesidad de estudiar matrices sólidas en ambientes influenciados por actividades urbanas. En Ecuador, Arteaga et al. (2024) reportaron microplásticos en agua, sedimentos de río, lodo de manglar y arena del golfo de Guayaquil, con mayores frecuencias en sitios cercanos a áreas urbanas. En las matrices sólidas, los fragmentos fueron una de las formas más comunes, lo que coincide con la idea de que los sedimentos pueden registrar acumulaciones de partículas resultantes de procesos de fragmentación y transporte local. Aunque el golfo de Guayaquil corresponde a un sistema estuarino-marino y no estrictamente fluvial urbano, su cercanía regional y su exposición a descargas y presiones antrópicas lo convierten en un antecedente relevante para investigaciones en cuerpos de agua de la provincia del Guayas (Arteaga et al., 2024).

A pesar del crecimiento de la literatura internacional, aún persisten vacíos de información en ríos urbanos intermedios de América Latina y, particularmente, en sistemas locales donde los estudios suelen ser escasos, puntuales o metodológicamente heterogéneos. En el caso del río Milagro, la evidencia empírica disponible sobre presencia, masa, abundancia, morfología y distribución espacial de microplásticos en sedimentos

ribereños sigue siendo limitada. Esta ausencia de información dificulta establecer una línea base descriptiva que permita reconocer zonas de mayor acumulación, comparar patrones con otros sistemas fluviales y orientar estudios posteriores con mayor resolución analítica (Arteaga et al., 2024; Vélez-Terreros et al., 2023).

En este contexto, el río Milagro constituye un escenario pertinente para el estudio de microplásticos en sedimentos ribereños urbanos. El tramo evaluado atraviesa sectores con actividad comercial, tránsito peatonal, asentamientos y presencia visible de residuos sólidos en la ribera; sin embargo, tales condiciones deben entenderse como elementos contextuales y no como causas demostradas de acumulación. Desde un enfoque descriptivo, el estudio de este tramo permite documentar la presencia de partículas compatibles con microplásticos y caracterizar su distribución entre zonas y estaciones de muestreo.

Una consideración metodológica central es que la identificación visual y morfológica permite clasificar partículas por tamaño, forma y apariencia, pero no confirma por sí misma la composición polimérica. La literatura reciente ha mostrado que las diferencias metodológicas pueden modificar la interpretación de la abundancia, masa y características de los microplásticos, incluso cuando se analizan muestras comparables (Liu et al., 2023). Por ello, cuando no se aplican técnicas instrumentales como FTIR o Raman, los resultados deben formularse con prudencia: puede hablarse de partículas compatibles con microplásticos, pero no de polímeros confirmados ni de composición química específica (Cowger et al., 2024; Liu et al., 2023). Esta precisión es indispensable para evitar inferencias no sustentadas sobre polietileno, polipropileno, poliestireno u otros materiales.

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo determinar la presencia, distribución espacial y características morfológicas de partículas compatibles con microplásticos en sedimentos ribereños del tramo urbano del río Milagro, cantón Milagro, Ecuador. De manera específica, se buscó cuantificar la masa de partículas plásticas recuperadas, diferenciar las partículas según su clasificación visual

en primarias y secundarias, determinar la abundancia de partículas identificadas, caracterizar sus formas y rangos de tamaño, y describir su distribución entre zonas y estaciones de muestreo. El estudio se delimita a una caracterización visual y morfológica, en coherencia con el procedimiento metodológico aplicado, sin confirmación instrumental de la composición polimérica

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Tipo, enfoque y diseño del estudio

Se desarrolló un estudio de enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo, con diseño no experimental y de corte transversal. La investigación fue cuantitativa porque se orientó a registrar valores medibles de masa, número de partículas, frecuencia de formas y distribución por estaciones de muestreo. Fue descriptiva porque buscó caracterizar la presencia de partículas compatibles con microplásticos en sedimentos ribereños, sin manipular variables ni establecer relaciones causales. Asimismo, el diseño fue no experimental, debido a que las muestras fueron tomadas en condiciones naturales del área de estudio, y de corte transversal porque la recolección se realizó en un único momento de evaluación.

Área de estudio

El estudio se realizó en sedimentos ribereños del tramo urbano del río Milagro, cantón Milagro, Ecuador. El área evaluada comprendió aproximadamente 48 000 m² entre ambas riberas, desde el sector Puente San Miguel hasta el sector Vasija de Barro. Para organizar el muestreo, el tramo fue dividido en cinco zonas: Puente San Miguel, Parque de la Familia, Puente de la Iglesia Central, Puente Valdez y Vasija de Barro.

En estas zonas se establecieron nueve estaciones de muestreo, distribuidas en ambos márgenes del río. La zona 1 correspondió al sector Puente San Miguel e incluyó las estaciones E1 y E2; la zona 2 correspondió al Parque de la Familia e incluyó las estaciones E3 y E4, la zona 3 correspondió al sector Puente de la Iglesia Central e incluyó las estaciones E5 y E6; la zona 4 correspondió al Puente Valdez e incluyó las estaciones E7 y E8; y la zona 5 correspondió al sector Vasija de Barro, donde se ubicó la estación E9.

Selección de estaciones de muestreo

La selección de las estaciones se realizó mediante un muestreo intencional, considerando como criterios la accesibilidad al punto de muestreo, la presencia visible de residuos plásticos en la ribera y la representatividad espacial del tramo evaluado. A partir del primer punto identificado en el tramo urbano, las estaciones fueron ubicadas aproximadamente cada 500 m, de acuerdo con las condiciones del terreno y la posibilidad de acceso seguro. Ocho estaciones se ubicaron en el tramo urbano del río Milagro, mientras que una estación, correspondiente al sector Vasija de Barro, fue considerada como punto exploratorio de contraste. Debido a que solo se incluyó una estación fuera del tramo urbano principal, esta no permite establecer una comparación estadística robusta entre zonas urbanas y rurales, sino únicamente una descripción referencial dentro del área evaluada.

Recolección de muestras de sedimento

En cada estación se delimitó un cuadrante de 1 m² sobre la ribera del río. Antes de la extracción, se retiró únicamente el material superficial no sedimentario visible, con el fin de evitar que residuos externos recientes alteraran directamente la muestra. Posteriormente, se recolectó sedimento superficial mediante excavación manual hasta una profundidad aproximada de 10 cm.

Las muestras obtenidas fueron procesadas en campo mediante tamices de acero inoxidable. Se utilizaron tamices con aperturas de malla de 5 mm y 0.5 mm, con el propósito de separar las partículas de acuerdo con el rango de tamaño considerado para la identificación de microplásticos. Para efectos de esta investigación, se consideraron microplásticos las partículas plásticas con tamaño menor o igual a 5 mm.

Separación, recuperación y almacenamiento de partículas

El material retenido en los tamices fue revisado visualmente para recuperar partículas compatibles con plástico. Las partículas separadas fueron lavadas con agua previamente filtrada, con la finalidad de reducir la presencia de sedimento adherido y disminuir el riesgo de contaminación cruzada durante la manipulación.

Posteriormente, las partículas recuperadas fueron

colocadas en recipientes de vidrio previamente lavados y rotulados según zona y estación de muestreo. Se evitó el uso de recipientes plásticos durante el almacenamiento, a fin de reducir posibles interferencias con las partículas analizadas.

Conteo y pesaje de partículas

Las partículas recuperadas en cada estación fueron contabilizadas manualmente. El conteo se realizó separando las partículas según estación y forma morfológica observada. Además, se determinó la masa de las partículas recuperadas mediante pesaje, registrando los valores en gramos.

El pesaje permitió obtener la masa total de partículas plásticas recuperadas por estación, así como la masa diferenciada entre partículas clasificadas visualmente como primarias y secundarias. Estos datos fueron posteriormente organizados por zona y estación para su análisis descriptivo.

Clasificación visual y morfológica

Las partículas recuperadas fueron clasificadas visualmente según dos criterios principales: tipo y morfológica. Según el tipo, se diferenciaron en partículas primarias y secundarias. Las partículas primarias fueron consideradas como aquellas de apariencia compatible con materiales plásticos fabricados originalmente en pequeño tamaño, mientras que las secundarias fueron reconocidas como fragmentos derivados de la degradación o ruptura de residuos plásticos de mayor tamaño.

Según su morfológica, los microplásticos fueron clasificados en cuatro categorías: películas, fragmentos, líneas y partículas tipo espuma. La identificación se realizó mediante observación directa, lupa monocular y microscopio óptico, registrando las características visibles de forma y tamaño. Los rangos de tamaño fueron organizados de acuerdo con las categorías observadas: películas entre <1 mm y <2 mm, fragmentos entre <3 mm y ≤ 5 mm, líneas entre <0.5 mm y <1 mm, y partículas tipo espuma entre <2 mm y <3 mm.

Registro y análisis de datos

Los datos obtenidos fueron registrados en una hoja de campo y posteriormente organizados en Microsoft Excel. El análisis estadístico fue de tipo descriptivo. Se calcularon frecuencias absolutas, porcentajes, masa total por estación, masa por tipo de partícula y distribución de formas morfológicas.

Los resultados fueron presentados mediante tablas y gráficos, considerando como unidades de análisis la estación de muestreo, la zona, la masa recuperada en gramos, el número de partículas identificadas y la frecuencia de cada forma morfológica.

Limitación metodológica

La identificación de las partículas se basó en criterios visuales y morfológicos. No se aplicaron técnicas instrumentales de confirmación química, como espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier FTIR o espectroscopía Raman. Por ello, los resultados deben interpretarse como partículas compatibles con microplásticos según su tamaño, forma y apariencia visual, pero no como identificación confirmada de polímeros específicos.

Esta limitación también impide afirmar con certeza la composición química de las partículas recuperadas. En consecuencia, términos como polietileno, polipropileno o poliestireno expandido deben emplearse únicamente como asociaciones visuales cuando corresponda.

III. RESULTADOS

Distribución espacial de las estaciones de muestreo

La investigación se realizó en sedimentos ribereños del río Milagro, en el tramo comprendido entre el Puente San Miguel y el sector Vasija de Barro. El área evaluada comprendió aproximadamente 48 000 m² entre ambas riberas. Se establecieron cinco zonas de muestreo y nueve estaciones, distribuidas en los sectores Puente San Miguel, Parque de la Familia, Puente de la Iglesia Central, Puente Valdez y Vasija de Barro (Tabla 1).

Tabla 1. Ubicación de zonas y estaciones de muestreo en el río Milagro

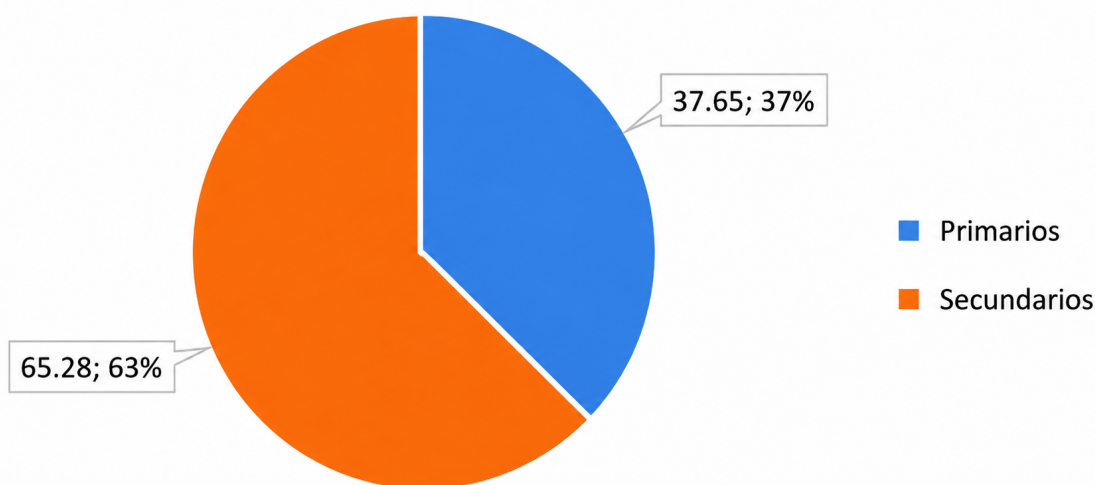
| Sector de muestreo | Zona | Estación | X | Y |
|------------------------------|------|----------|---------|---------|
| Puente San Miguel | Z1 | E1 | 657290 | 9763923 |
| | | E2 | 657309 | 9763898 |
| Parque de la Familia | Z2 | E3 | 656870 | 9764217 |
| | | E4 | 9764217 | 9764215 |
| Puente de la Iglesia Central | Z3 | E5 | 656465 | 9764526 |
| | | E6 | 656473 | 9764509 |
| Puente Valdez | Z4 | E7 | 655902 | 9764630 |
| | | E8 | 655923 | 9764632 |
| Vasija de Barro | Z5 | E9 | 662664 | 9764143 |

Las estaciones fueron georreferenciadas mediante coordenadas UTM, zona 17, hemisferio sur. La zona 1 correspondió al sector Puente San Miguel e incluyó las estaciones E1 y E2; la zona 2 correspondió al Parque de la Familia e incluyó las estaciones E3 y E4; la zona 3 correspondió al Puente de la Iglesia Central e incluyó las estaciones E5 y E6; la zona 4 correspondió al Puente Valdez e incluyó las estaciones E7 y E8; y la zona 5 correspondió al sector Vasija de Barro, donde se ubicó la estación E9.

Masa total de partículas plásticas recuperadas por estación

La masa total de partículas plásticas recuperadas en las nueve estaciones fue de 103 g. Los valores por estación oscilaron entre 6 g y 22 g. La estación con mayor masa recuperada fue E6, ubicada en la zona 3, con 22 g; mientras que la estación con menor masa fue E9, ubicada en la zona 5, con 6 g.

En la zona 1, correspondiente al Puente San Miguel, se recuperaron 14 g en la estación E1 y 12 g en la estación E2, con un total de 26 g. En la zona 2, correspondiente al Parque de la Familia, se recuperaron 12 g en la estación E3 y 9 g en la estación E4, con un total de 21 g. En la zona 3, correspondiente al Puente de la Iglesia Central, se registraron 13 g en la estación E5 y 22 g en la estación E6, con un total de 35 g, siendo esta la zona con mayor masa recuperada. En la zona 4, correspondiente al Puente Valdez, se registraron 7 g en la estación E7 y 8 g en la estación E8, con un total de 15 g. Finalmente, en la zona 5, correspondiente al sector Vasija de Barro, se registraron 6 g en la estación E9.

**Figura 1.** Masa total de partículas plásticas recuperadas por estación

Clasificación de partículas plásticas primarias y secundarias

Del total de 103 g de partículas plásticas recuperadas, 37.65 g correspondieron a partículas clasificadas como primarias y 65.28 g a partículas clasificadas como secundarias. Estos valores representan aproximadamente el 36.55 % y el 63.38 % del total recuperado, respectivamente. La diferencia decimal responde al redondeo de los valores registrados por estación.

En la zona 1 se recuperaron 9.60 g de partículas primarias y 16.40 g de partículas secundarias. En la zona 2, se registraron 8.43 g de partículas primarias y 12.57 g de secundarias. En la zona 3, se registraron 13.31 g de partículas primarias y 21.69 g de secundarias, siendo esta la zona con mayor masa de partículas secundarias. En la zona 4, se registraron 6.31 g de partículas primarias y 8.62 g de secundarias. En la zona 5, no se registraron partículas primarias y se recuperaron 6 g de partículas secundarias.

Tabla 2. Masa de partículas plásticas primarias y secundarias recuperadas por estación

| Sector | Zona | Estación | Peso total (g) | Primarios (g) | Secundarios (g) |
|------------------------------|------|----------|----------------|---------------|-----------------|
| Puente San Miguel | Z1 | E1 | 14 | 5.04 | 8.96 |
| | | E2 | 12 | 4.56 | 7.44 |
| Parque de la Familia | Z2 | E3 | 12 | 4.56 | 7.44 |
| | | E4 | 9 | 3.87 | 5.13 |
| Puente de la Iglesia Central | Z3 | E5 | 13 | 4.29 | 8.71 |
| | | E6 | 22 | 9.02 | 12.98 |
| Puente Valdez | Z4 | E7 | 7 | 2.31 | 4.62 |
| | | E8 | 8 | 4 | 4 |
| Vasija de Barro | Z5 | E9 | 6 | 0 | 6 |
| Total | | | 103 | 37.65 | 65.28 |

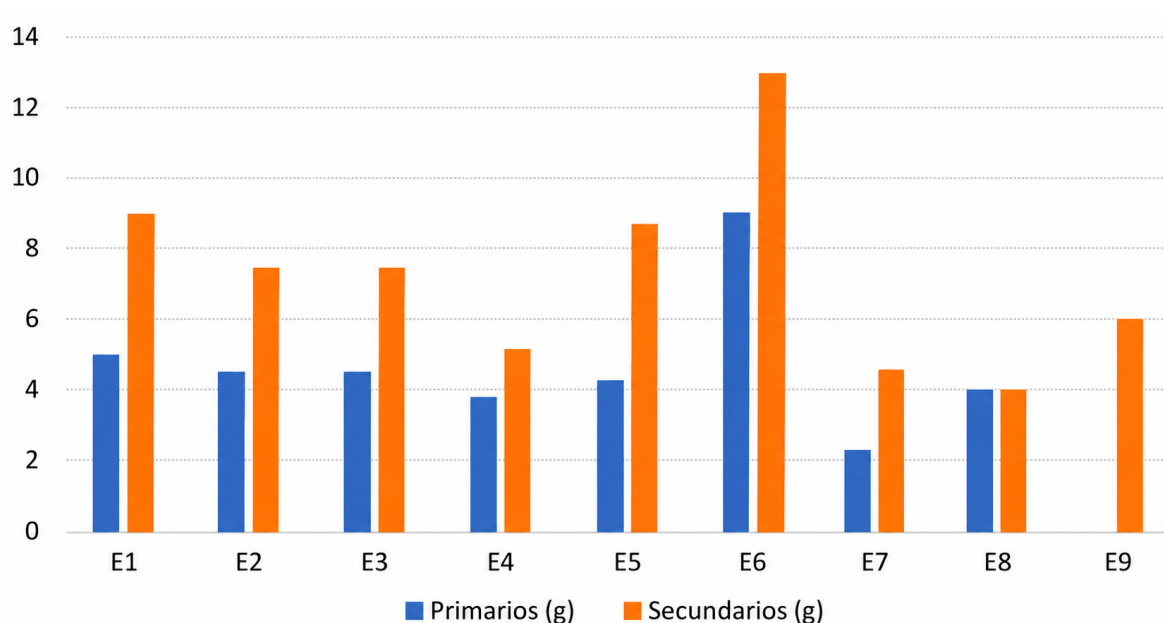


Figura 2. Masa de partículas plásticas primarias y secundarias recuperadas por estación

Formas y tamaños de los microplásticos identificados

Tabla 3. Número de partículas compatibles con microplásticos identificados según forma y estación de muestreo

| Sector | Zona | Estación | Secundarios (g) | Forma de microplásticos secundarios | | | |
|-------------------------|------|----------|--------------------|-------------------------------------|--------------|----------------|-----------|
| | | | | Películas | Fragmentos | Líneas | Foam |
| | | | | <1 mm - <2mm | <3mm - ≤ 5mm | <0.5 mm - <1mm | <2mm-<3mm |
| Puente San Miguel | Z1 | E1 | 8.96 | 4 | 65 | 2 | 4 |
| | | E2 | 4 | 45 | 3 | 0 | - |
| Parque de la Familia | Z2 | E3 | 7.44 | 5 | 39 | 5 | 4 |
| | | E4 | 5.13 | 11 | 53 | 3 | 0 |
| Puente de la Iglesia | Z3 | E5 | 8.71 | 6 | 41 | 6 | 5 |
| | | E6 | 12.98 | 37 | 98 | 2 | 0 |
| Central | | | | | | | |
| Puente Valdez | Z4 | E7 | 4.62 | 0 | 35 | 5 | 7 |
| | | E8 | 4 | 5 | 45 | 0 | 14 |
| Vasija de Ba- rro | Z5 | E9 | 6 | 0 | 26 | 15 | 0 |

Se consideraron microplásticos las partículas plásticas con tamaño menor o igual a 5 mm. Las partículas fueron clasificadas según su morfología en cuatro categorías: películas, fragmentos, líneas y partículas tipo espuma. Asimismo, se registraron los rangos de tamaño asociados a cada forma: películas entre <1 mm y <2 mm, fragmentos entre <3 mm y ≤5 mm, líneas entre <0.5 mm y <1 mm, y partículas tipo espuma entre <2 mm y <3 mm.

En total, se identificaron 594 partículas compatibles con microplásticos en las nueve estaciones evaluadas. La forma predominante fue el fragmento, con 447 partículas, equivalente al 75.3 % del total. Las películas representaron 72 partículas, equivalente al 12.1 %; las líneas representaron 41 partículas, equivalente al 6.9 %; y las partículas tipo espuma representaron 34 partículas, equivalente al 5.7 %.

Tabla 4. Frecuencia total de microplásticos según forma en las nueve estaciones evaluadas

| Masa de partículas secundarias (g) | Forma de microplásticos secundarios | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|
| | Películas | Fragmentos | Líneas | Partículas tipo espuma (foam) |
| | <1 mm - <2 mm | <3 mm - ≤ 5 mm | <0.5 mm - <1 mm | <2 mm-<3 mm |
| 65.28 | 72 | 447 | 41 | 34 |

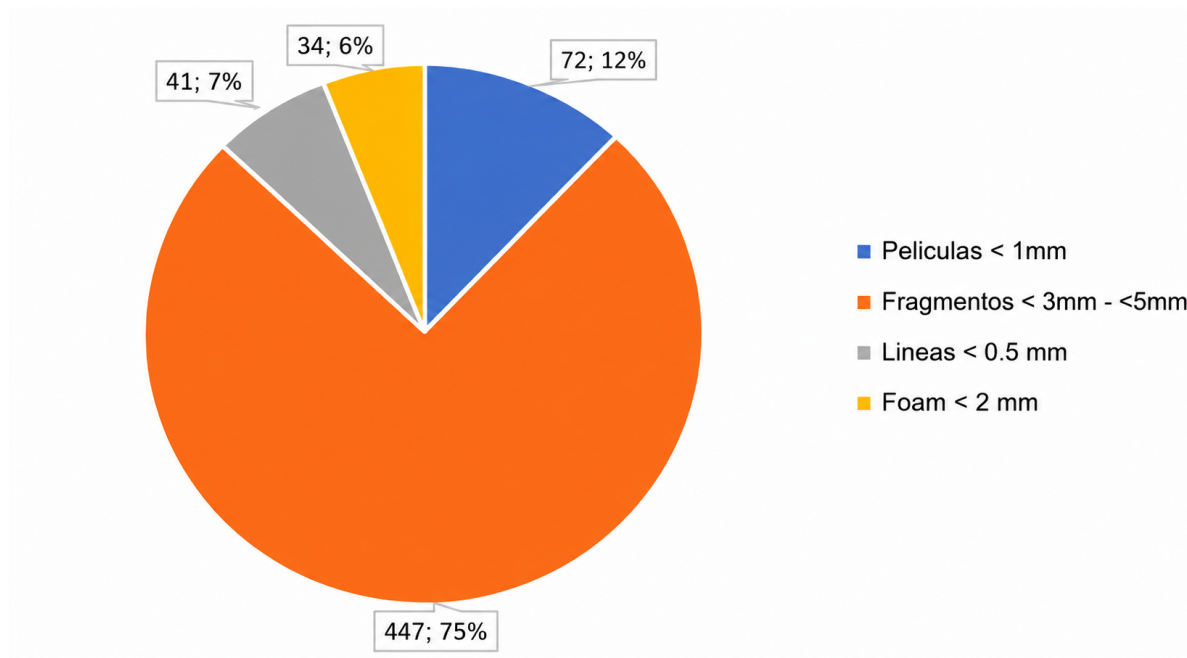


Figura 3. Frecuencia total de microplásticos según forma en el área de estudio.

Distribución de formas por estación

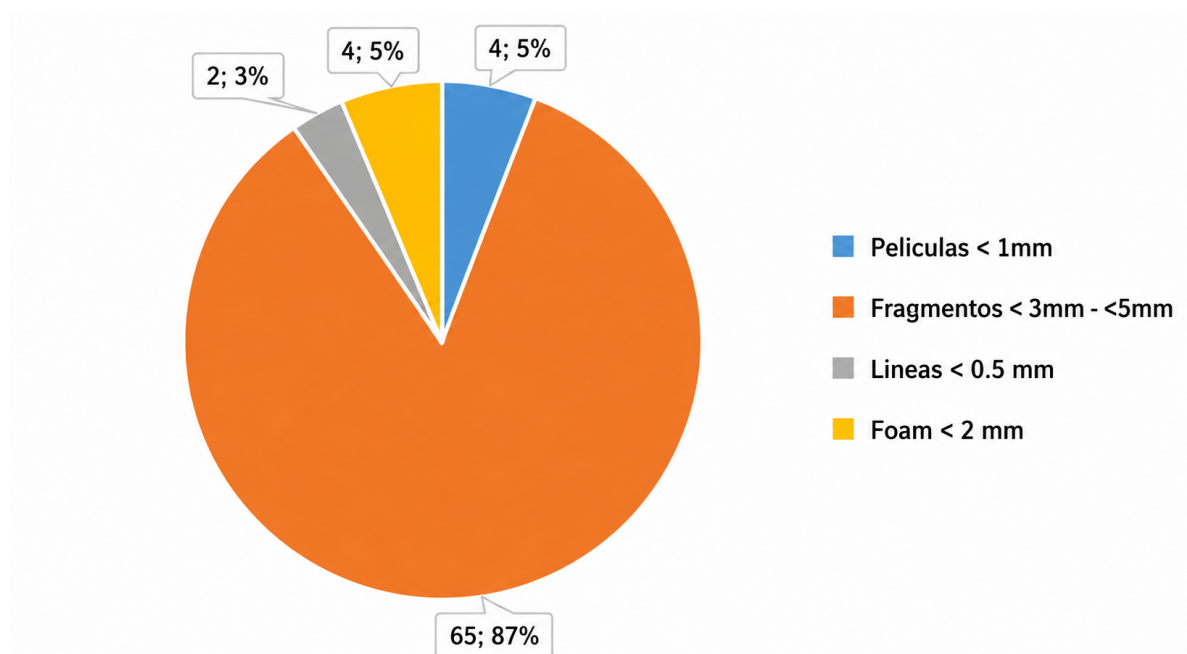


Figura 4. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E1.

En la estación E1 se identificaron 75 partículas, distribuidas en 4 películas, 65 fragmentos, 2 líneas y 4 partículas tipo espuma. La forma predominante fue el fragmento, con 86.7 % del total registrado en esta estación.

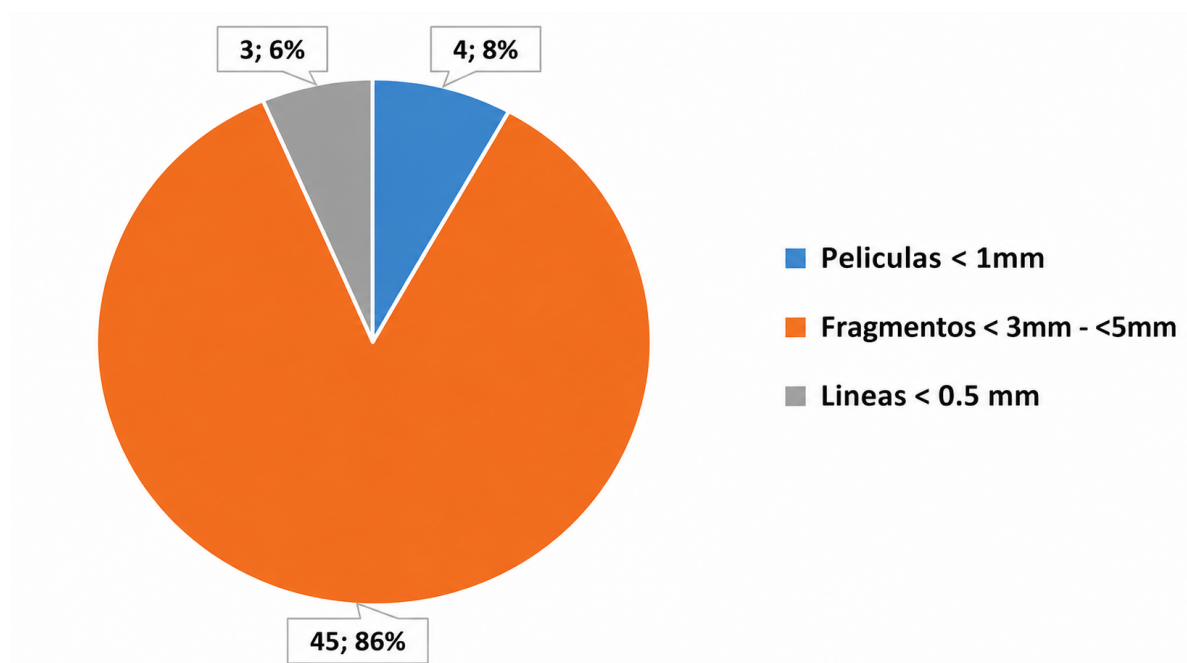


Figura 5. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E2

En la estación E2 se identificaron 52 partículas, distribuidas en 4 películas, 45 fragmentos, 3 líneas y 0 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 86.5 % de las partículas registradas.

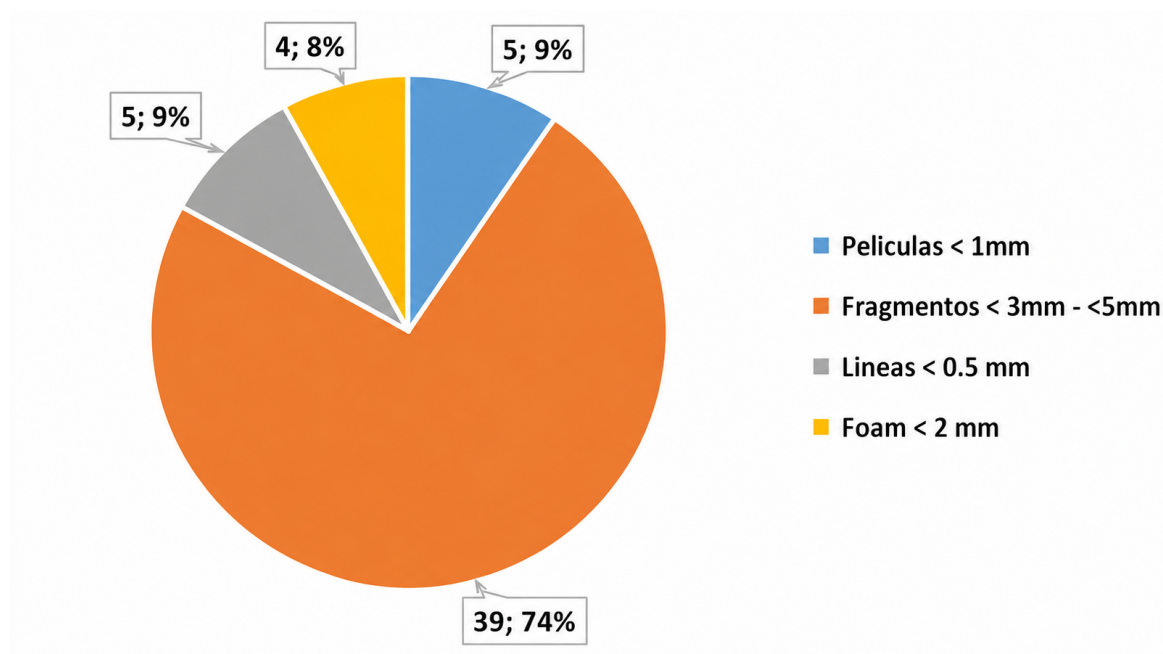


Figura 6. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E3

En la estación E3 se identificaron 53 partículas, distribuidas en 5 películas, 39 fragmentos, 5 líneas y 4 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 73.6 % del total.

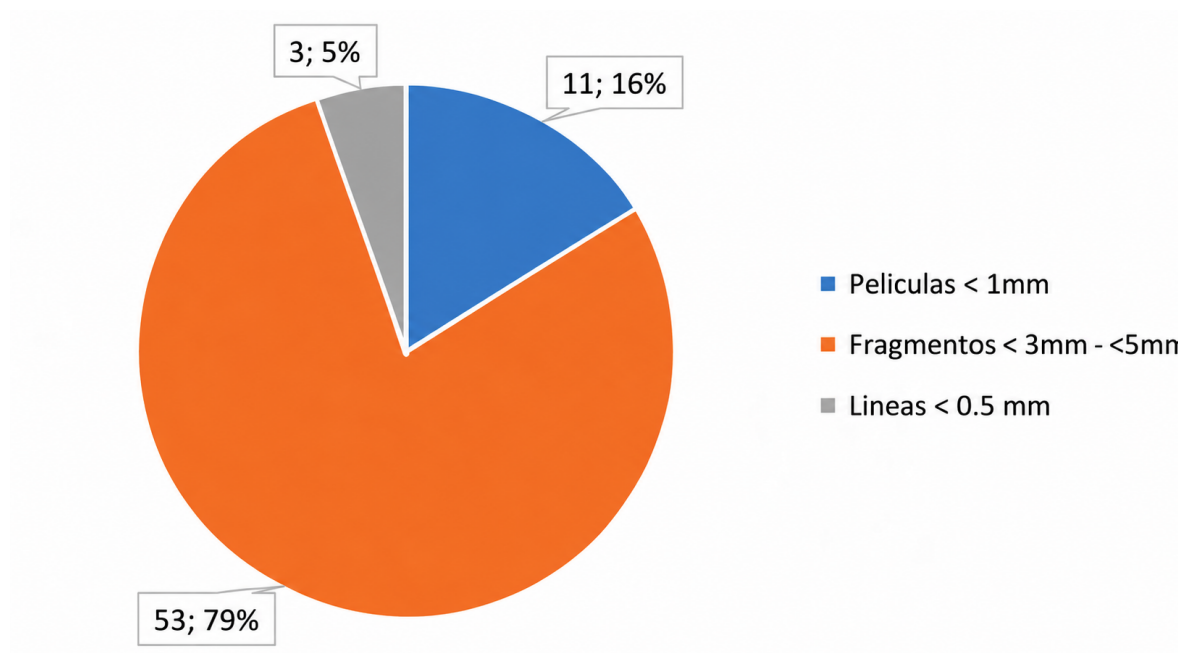


Figura 7. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E4

En la estación E4 se identificaron 67 partículas, distribuidas en 11 películas, 53 fragmentos, 3 líneas y 0 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 79.1 % del total.

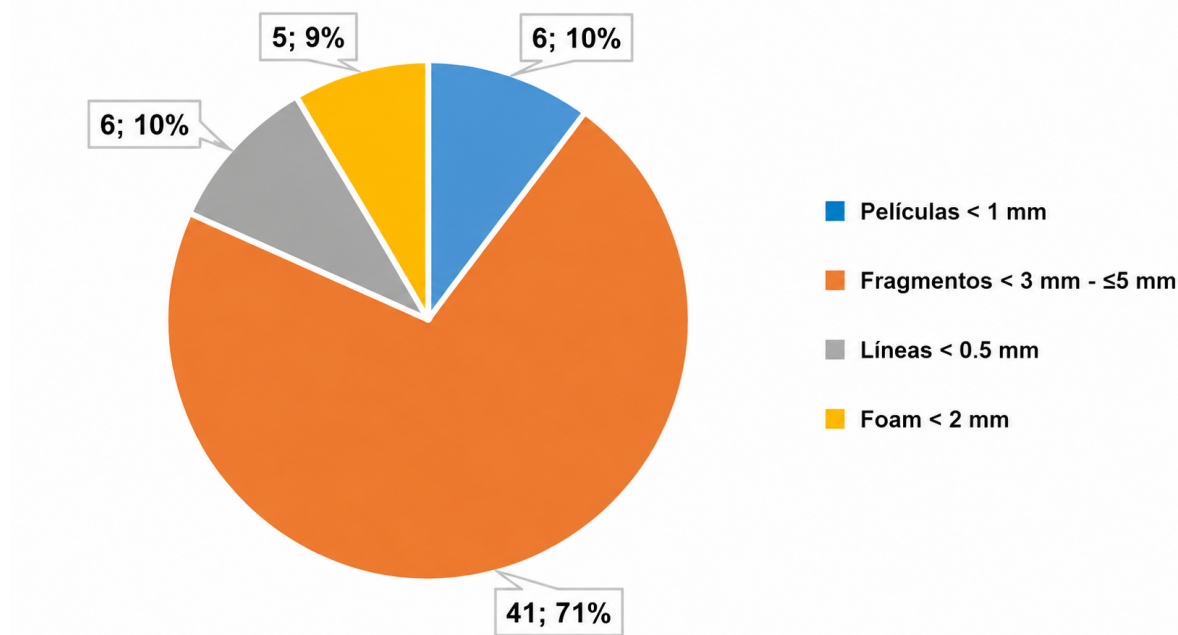


Figura 8. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E5

En la estación E5 se identificaron 58 partículas, distribuidas en 6 películas, 41 fragmentos, 6 líneas y 5 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 70.7 % del total.

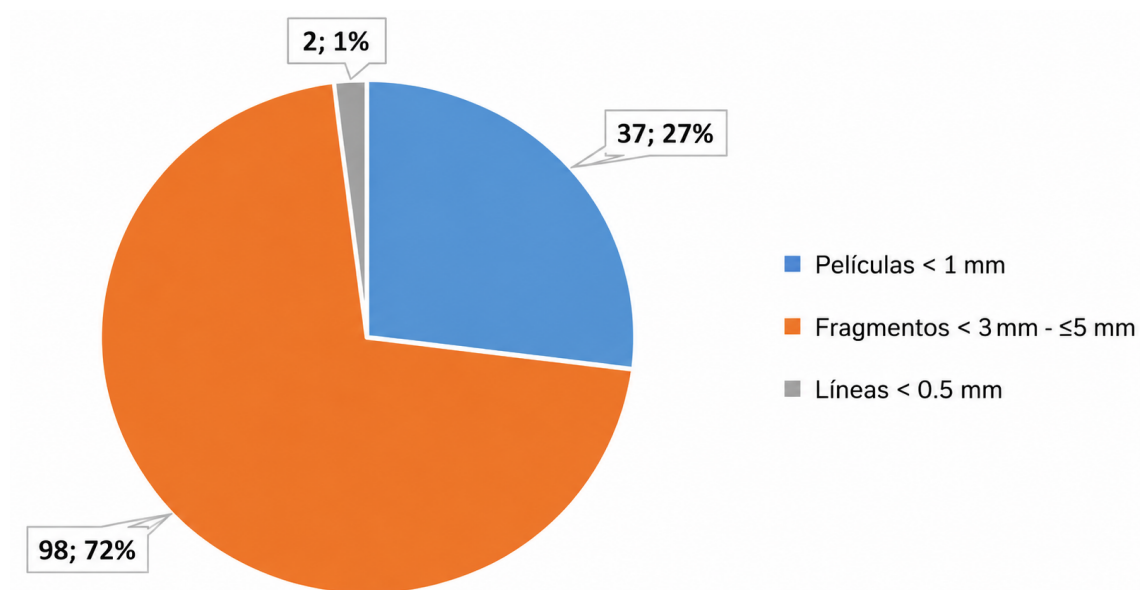


Figura 9. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E6.

En la estación E6 se identificaron 137 partículas, distribuidas en 37 películas, 98 fragmentos, 2 líneas y 0 partículas tipo espuma. Esta estación presentó el mayor número de partículas identificadas, con predominio de fragmentos, equivalentes al 71.5 % del total de la estación.

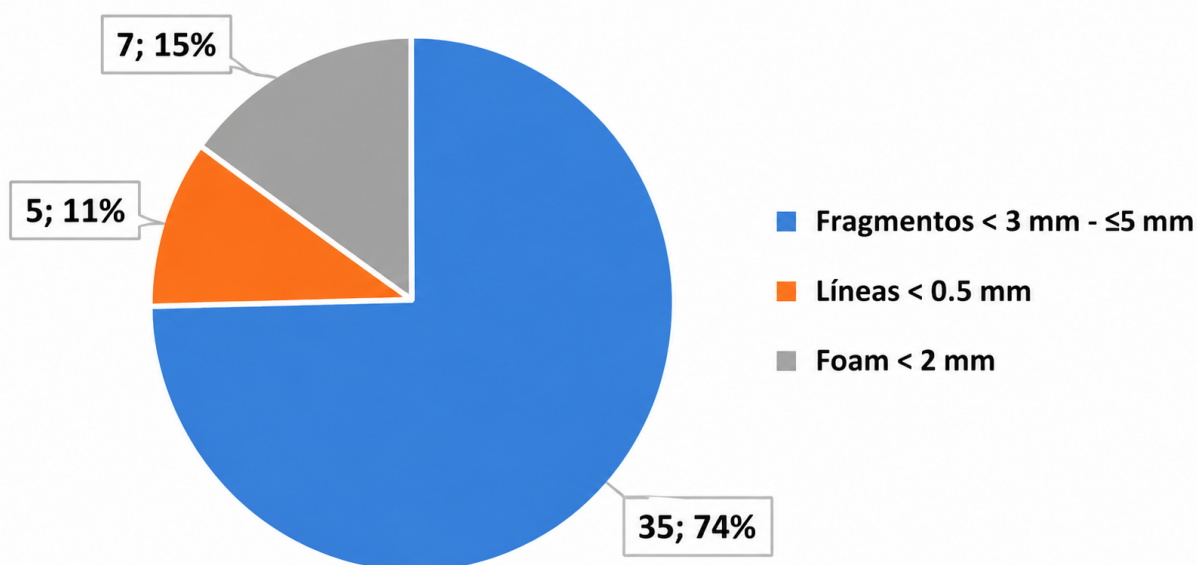


Figura 10. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E7.

En la estación E7 se identificaron 47 partículas, distribuidas en 0 películas, 35 fragmentos, 5 líneas y 7 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 74.5 % del total.

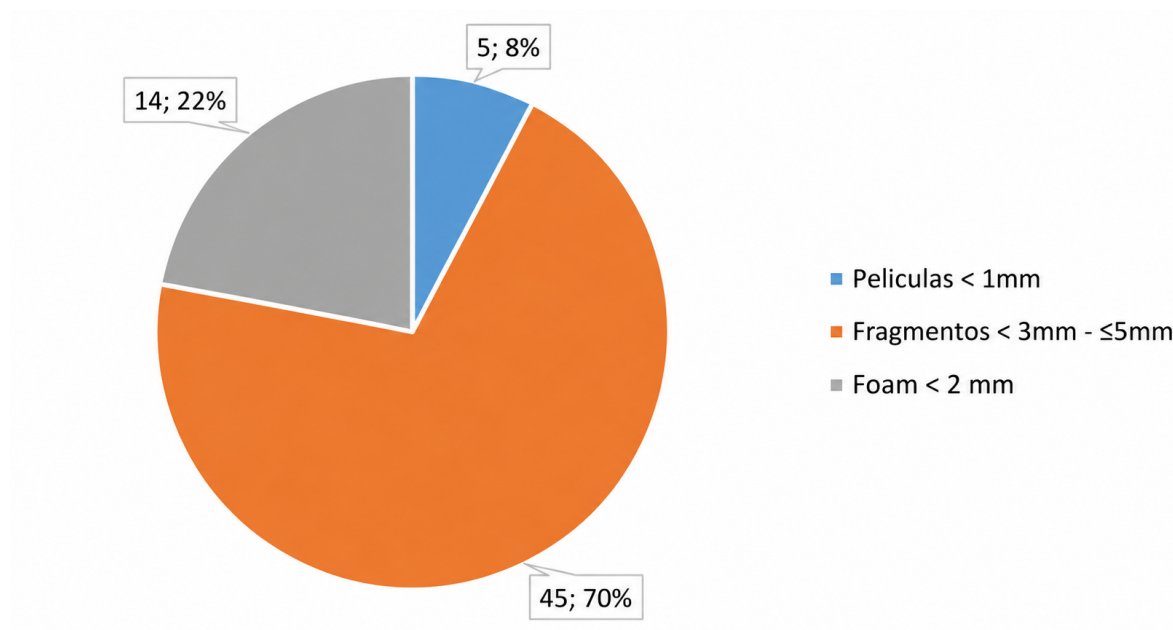


Figura 11. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E8

En la estación E8 se identificaron 64 partículas, distribuidas en 5 películas, 45 fragmentos, 0 líneas y 14 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 70.3 % del total.

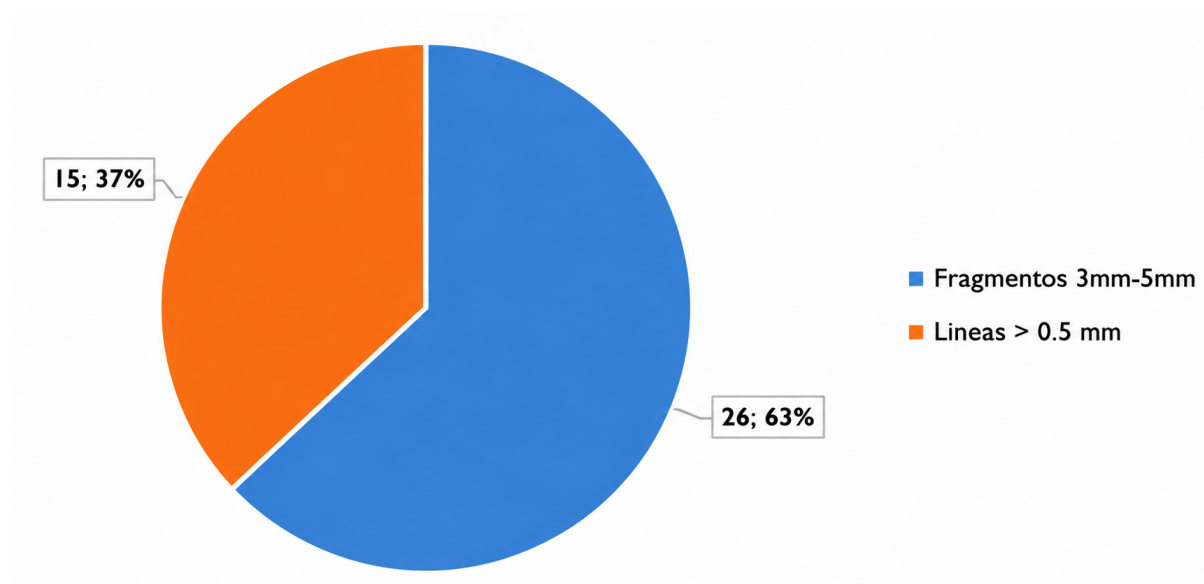


Figura 12. Frecuencia de microplásticos según forma en la estación E9

En la estación E9 se identificaron 41 partículas, distribuidas en 0 películas, 26 fragmentos, 15 líneas y 0 partículas tipo espuma. Los fragmentos representaron el 63.4 %, mientras que las líneas representaron el 36.6 % del total registrado en esta estación.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian la presencia de partículas compatibles con microplásticos en sedimentos ribereños del tramo urbano del río Milagro. La masa total recuperada fue de 103 g en las nueve estaciones, con predominio de partículas clasificadas visualmente como secundarias. Este patrón es coherente con lo reportado en sistemas fluviales urbanos, donde los sedimentos pueden actuar como zonas de acumulación temporal de partículas plásticas transportadas desde fuentes terrestres, escorrentía urbana y actividades humanas desarrolladas en la ribera (Duong et al., 2023; Xia et al., 2023). No obstante, dicha interpretación debe entenderse como descriptiva, debido a que el diseño del estudio no permite establecer causalidad.

La morfología predominante fue el fragmento, con 447 partículas de un total de 594, equivalente al 75.3 %. Este resultado sugiere una posible fragmentación progresiva de residuos plásticos mayores presentes en el ambiente ribereño. Estudios recientes han reportado patrones similares en sedimentos fluviales. Onoja et al. (2025) encontraron que los fragmentos representaron el 71 % de los microplásticos aislados en sedimentos de ríos y canales del Reino Unido, mientras que Arteaga et al. (2024), en el golfo de Guayaquil, Ecuador, identificaron que los fragmentos fueron la morfología más común en matrices sólidas como sedimentos de río, lodo de manglar y arena. Estas investigaciones respaldan la interpretación de que los fragmentos suelen predominar en sedimentos, aunque su proporción puede variar según las fuentes locales, la hidrodinámica y el método de identificación.

La estación E6, ubicada en la zona 3 correspondiente al sector Puente de la Iglesia Central, presentó la mayor masa recuperada y el mayor número de partículas identificadas. Este resultado podría estar relacionado con una mayor presión urbana local, considerando la presencia de actividades comerciales, tránsito peatonal y posible acumulación de residuos en el entorno. Sin embargo, esta relación debe expresarse como una asociación plausible y no como una causa demostrada. Estudios en ríos urbanos han mostrado que la distribución de microplásticos puede

estar vinculada con la urbanización, la población, el uso del suelo y las descargas de aguas residuales, pero también con factores físicos como el tipo de sedimento, el caudal, la pendiente y la dinámica de deposición (Prado-Guasca et al., 2026; Zhou et al., 2024). Los resultados coinciden parcialmente con investigaciones que reportan predominio de fragmentos en sedimentos; sin embargo, contrastan con otros estudios donde las fibras fueron dominantes. Matjašič et al. (2023) observaron que las fibras predominaron en la columna de agua, mientras que los fragmentos fueron más comunes en sedimentos, lo que sugiere que la matriz ambiental analizada influye en la morfología predominante. Por su parte, Ghanbari et al. (2022) reportaron en sedimentos del río Qara Su, Irán, predominio de fibras con 53 %, seguido de fragmentos con 33 %. Estas diferencias demuestran que la composición morfológica de los microplásticos no es uniforme entre ríos y depende de las fuentes, condiciones hidromorfológicas, tamaño de partícula considerado y procedimiento analítico empleado.

Una limitación importante del estudio es que la identificación fue visual y morfológica, sin confirmación química mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) o espectroscopía Raman. Por ello, los resultados deben interpretarse como partículas compatibles con microplásticos y no como polímeros confirmados. En consecuencia, no es posible afirmar que las partículas correspondan a polietileno, polipropileno, poliestireno u otro polímero específico. La literatura metodológica reciente señala que la identificación visual puede generar falsos positivos y que las técnicas espectroscópicas, especialmente FTIR y Raman, son necesarias para una identificación polimérica concluyente (Olivatto et al., 2024; Randhawa, 2023). Finalmente, las comparaciones con otros estudios deben realizarse con prudencia debido a la diversidad de métodos de muestreo, extracción, conteo, tamaño mínimo analizado y unidades de reporte. Liu et al. (2023) demostraron que distintas metodologías pueden producir estimaciones diferentes de abundancia y masa de microplásticos,

incluso en muestras comparables. Por tanto, en el presente estudio, la comparación internacional debe centrarse principalmente en tendencias morfológicas y espaciales, más que en equivalencias directas de concentración.

V. CONCLUSIONES

El estudio evidenció la presencia de partículas compatibles con microplásticos en las nueve estaciones evaluadas de la ribera del río Milagro, cantón Milagro, Ecuador. La masa total de partículas plásticas recuperadas fue de 103 g, lo que confirma la presencia de este tipo de residuos en los sedimentos ribereños del tramo analizado.

La distribución espacial mostró diferencias entre zonas y estaciones de muestreo. La mayor acumulación se registró en la zona 3, correspondiente al sector Puente de la Iglesia Central, especialmente en la estación E6, donde se obtuvo la mayor masa recuperada, con 22 g, y el mayor número de partículas identificadas, con 137 unidades. Este resultado permite reconocer a dicha estación como el punto de mayor presencia dentro del tramo evaluado, aunque no permite establecer causalidad sobre su origen.

Respecto al tipo de partículas, se observó predominio de aquellas clasificadas visualmente como secundarias. Del total recuperado, 37.65 g correspondieron a partículas clasificadas como primarias y 65.28 g a partículas clasificadas como secundarias. Este resultado sugiere una posible presencia de residuos plásticos fragmentados; sin embargo, dicha clasificación debe entenderse como visual y morfológica.

En cuanto a la morfología, la forma predominante fue el fragmento, con 447 partículas de un total de 594, equivalente al 75.3 % de las partículas identificadas. Las demás formas registradas fueron películas, líneas y partículas tipo espuma, aunque en menor proporción.

Finalmente, los resultados permiten afirmar presencia, masa, abundancia, morfología y distribución espacial de partículas compatibles con microplásticos en el tramo evaluado, pero no permiten confirmar composición química, fuentes exactas ni relaciones causales.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Conceptualización: P.I.V.G. Metodología: M.O.S.V., P.I.V.G. Validación: R.M.P.V. Análisis formal: M.O.S.V.; R.M.P.V. Investigación: M.O.S.V., R.M.P.V. y R.A.Y.C. Recursos: P.I.V.G. y R.M.P.V. Depuración de datos: M.O.S.V.; R.A.Y.C. Redacción del borrador original: R.A.Y.C. Redacción, revisión y edición: P.I.V.G.; R.A.Y.C. Visualización: R.A.Y.C. Supervisión: P.I.V.G. y R.M.P.V. Administración del proyecto: M.O.S.V. y P.I.V.G.

VI. REFERENCIAS

- Arteaga, I., Pinos-Vélez, V., Capparelli, M., Moulatlet, G. M., Cipriani-Avila, I., Cabrera, M., Rebolledo, E., Arnés-Urgellés, C., & Cazar, M. E. (2024). Microplastic occurrence and distribution in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Marine Pollution Bulletin*, 209, 117288. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2024.117288>
- Bexeitova, K., Baimenov, A., Varol, E. A., Kudaibergenov, K., Zhantikeyev, U., Sailaukhanuly, Y., Toshtay, K., Tauanov, Z., Azat, S., & Berndtsson, R. (2024). Microplastics in freshwater systems: A review of classification, sources, and environmental impacts. *Chemical Engineering Journal Advances*, 20, 100649. <https://doi.org/10.1016/J.CEJA.2024.100649>
- Cowger, W., Roscher, L., Jebens, H., Chamas, A., Maurer, B. D., Gehrke, L., Gerds, G., & Primpke, S. (2024). Generation of macro- and microplastic databases by high-throughput FTIR analysis with microplate readers. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2024 416:6, 416(6), 1311–1320. <https://doi.org/10.1007/S00216-024-05127-W>
- Duong, T. T., Nguyen-Thuy, D., Phuong, N. N., Ngo, H. M., Doan, T. O., Le, T. P. Q., Bui, H. M., Nguyen-Van, H., Nguyen-Dinh, T., Nguyen, T. A. N., Cao, T. T. N., Pham, T. M. H., Hoang, T. H. T., Gasperi, J., & Strady, E. (2023). Microplastics in sediments from

- urban and suburban rivers: Influence of sediment properties. *Science of The Total Environment*, 904, 166330. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166330>
- Ghanbari, N., Fataei, E., Naji, A., Imani, A. A., & Nasehi, F. (2022). Microplastic pollution in sediments in the urban section of the Qara Su River, Iran. *Applied Water Science*, 12(8). <https://doi.org/10.1007/S13201-022-01712-5>
- Jin, X., Li, Z., Peñuelas, J., Sardan, J., Wu, Q., Peng, Y., Heděnc, P., Li, Z., Yuan, C., Yuan, J., Chen, Z., Zhao, Z., Wu, F., & Yue, K. (2025). Quantitative assessment on the distribution patterns of microplastics in global inland waters. *Communications Earth & Environment* 2025 6:1, 6(1), 331-. <https://doi.org/10.1038/s43247-025-02320-2>
- Kunz, A., Schneider, F., Anthony, N., & Lin, H. T. (2023). Microplastics in rivers along an urban-rural gradient in an urban agglomeration: Correlation with land use, potential sources and pathways. *Environmental Pollution*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121096>
- Liu, Y., Prikler, B., Bordós, G., Lorenz, C., & Vollertsen, J. (2023). Does microplastic analysis method affect our understanding of microplastics in the environment? *Science of The Total Environment*, 902, 166513. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.166513>
- Matjašič, T., Mori, N., Hostnik, I., Bajt, O., & Kovač Viršek, M. (2023). Microplastic pollution in small rivers along rural–urban gradients: Variations across catchments and between water column and sediments. *Science of the Total Environment*, 858(Pt 3). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160043>
- Olivatto, G. P., Ando, R. A., Fernandes, R. F., de Moraes, N. G., & Tornisielo, V. L. (2024). A critical comparison of the main characterization techniques for microplastics identification in an accelerated aging laboratory experiment. *Water Emerg Contam Nanoplastics* 2024;3:7., 3(2), N/A-N/A. <https://doi.org/10.20517/WECN.2023.69>
- Onoja, S., Abdallah, M. A.-E., & Harrad, S. (2025). Microplastics in surficial sediments from some UK rivers and canals: seasonal and spatial variation and relationship with concentrations of organophosphate esters. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 27, 2159. <https://doi.org/10.1039/D5EM00139K>
- Prado-Guasca, A., Villa-Navarro, F. A., López-Delgado, E. O., Arana-Rengifo, V. A., & Guevara-Cardona, G. (2026). Microplastic abundance and composition along an anthropogenic pressure gradient in an Andean river (Colombia). *Hydrobiologia* 2026, 1–17. <https://doi.org/10.1007/S10750-025-06095-7>
- Randhawa, J.S. (2023). Advanced analytical techniques for microplastics in the environment: a review. *Bulletin of the National Research Centre* 2023 47:1, 47(1), 174-. <https://doi.org/10.1186/S42269-023-01148-0>
- Vélez-Terreros, P. Y., Romero-Estévez, D., & Yáñez-Jácome, G. S. (2023). Microplastics in Ecuador: A review of environmental and health-risk assessment challenges. *Heliyon*, 10(1). <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E23232>
- Xia, F., Tan, Q., Qin, H., Wang, D., Cai, Y., & Zhang, J. (2023). Sequestration and export of microplastics in urban river sediments. *Environment International*, 181, 108265. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2023.108265>
- Zhou, J., Liu, X., Li, W., & Cao, Y. (2024). Characteristics, sources, and distribution of microplastics in sediments and their potential ecological risks: A case study in a typical urban river of China. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(6), 114575. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.114575>