

NOMBRE DEL TRABAJO

Distribución de microplásticos en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje, 2023

AUTOR

SANDRA RUBI PUCHULAN NINAYAHUAR

RECUENTO DE PALABRAS

20149 Words

RECUENTO DE CARACTERES

107774 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

103 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

13.0MB

FECHA DE ENTREGA

Mar 20, 2024 10:26 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Mar 20, 2024 10:28 AM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 0% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTELS

(Art. 45° de la ley N° 30220 – Ley)

Autorización de la propiedad intelectual del autor para la publicación de tesis en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (<https://repositorio.untels.edu.pe>), de conformidad con el Decreto Legislativo N° 822, sobre la Ley de los Derechos de Autor, Ley N° 30035 del Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, Art. 10° del Rgto. Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales en las universidades – RENATI Res. N° 084-2022-SUNEDU/CD, publicado en El Peruano el 16 de agosto de 2022; y la RCO N° 061-2023-UNTELS del 01 marzo 2023.

TIPO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- 1). TESIS (X) 2). TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL ()

DATOS PERSONALES

Apellidos y Nombres: PUCHULAN NINAYAHUAR, SANDRA RUBI
D.N.I.: 71279369
Otro Documento:
Nacionalidad: PERUANA
Teléfono: 982706240
e-mail: SPUCHULANN@GMAIL.COM

DATOS ACADÉMICOS

Pregrado

Facultad: FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
Programa Académico: TESIS
Título Profesional otorgado: INGENIERO AMBIENTAL

Postgrado

Universidad de Procedencia:
País:
Grado Académico otorgado:

Datos de trabajo de investigación

Título: "DISTRIBUCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC DURANTE LA TEMPORADA DE ESTIAJE, 2023"
Fecha de Sustentación: 01 DE DICIEMBRE DEL 2023
Calificación: APROBADO POR UNANIMIDAD
Año de Publicación: 2024

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN VERSIÓN ELECTRÓNICA

A través de la presente, autorizo la publicación del texto completo de la tesis, en el Repositorio Institucional de la UNTELS especificando los siguientes términos:

Marcar con una X su elección.

- 1) Usted otorga una licencia especial para publicación de obras en el REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR.

Si autorizo No autorizo

- 2) Usted autoriza para que la obra sea puesta a disposición del público conservando los derechos de autor y para ello se elige el siguiente tipo de acceso.

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO ABIERTO 12.1(*)	info:eu-repo/semantics/openAccess (Para documentos en acceso abierto)	(X)

- 3) Si usted dispone de una **PATENTE** puede elegir el tipo de **ACCESO RESTRINGIDO** como derecho de autor y en el marco de confiabilidad dispuesto por los numerales 5.2 y 6.7 de la directiva N° 004-2016-CONCYTEC DEGC que regula el Repositorio Nacional Digital de CONCYTEC (Se colgará únicamente datos del autor y el resumen del trabajo de investigación).

Derechos de autor		
TIPO DE ACCESO	ATRIBUCIONES DE ACCESO	ELECCIÓN
ACCESO RESTRINGIDO	info:eu-repo/semantics/restrictedAccess (Para documentos restringidos)	()
	info:eu-repo/semantics/embargoedAccess (Para documentos con períodos de embargo. Se debe especificar las fechas de embargo)	()
	info:eu-repo/semantics/closedAccess (para documentos confidenciales)	()

(*) <http://renati.sunedu.gob.pe>



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

Rellene la siguiente información si su trabajo de investigación es de acceso restringido:

Atribuciones de acceso restringido:

Motivos de la elección del acceso restringido:

PUCHULAN NINAYAHUAR, SANDRA RUBI

APELLIDOS Y NOMBRES

71279369

DNI

Sandy.

Firma y huella:



Lima, 27 de MARZO del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“DISTRIBUCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO
RÍMAC DURANTE LA TEMPORADA DE ESTIAJE, 2023”**

TESIS

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

PUCHULAN NINAYAHUAR, SANDRA RUBI

ORCID: 0009-0002-9976-3085

ASESOR

HUAMAN RUIZ, CARMEN MILAGROS

ORCID: 0000-0003-4844-2281

Villa El Salvador

2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

DECANATO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

En Villa El Salvador, siendo las 09:50 a.m. del día 01 de diciembre del 2023, en la Facultad de Ingeniería y Gestión, los miembros del Jurado Evaluador, integrado por:

PRESIDENTE: ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE DNI N° 20054374 C.I.P. N° 68273
SECRETARIO: JULIO CESAR BRACHO PEREZ DNI N° 43175931 C.Q.P. N° 721
VOCAL : SOFIA VICTORIA MATA ESPINOZA DNI N° 45096186 C.I.P. N° 137333
ASESOR : CARMEN MILAGROS RUIZ HUAMAN DNI N° 10021641 C.B.P N° 5179

Designados mediante Resolución de Decanato N° 360-2023-UNTELS-R-D de fecha 15 de agosto del 2023 quienes dan inicio a la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación de Tesis.

Acto seguido, el (la) aspirante al: Grado de Bachiller Título Profesional

Doña: SANDRA RUBI PUCHULAN NINAYAHUAR identificado(a) con D.N.I. N° 71279369, procedió a la Sustentación de:

Trabajo de investigación Tesis Trabajo de suficiencia Artículo científico

Titulado: "DISTRIBUCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN LA CUENCA DEL RÍO RÍMAC DURANTE LA TEMPORADA DE ESTIAJE, 2023".

Aprobado mediante Resolución de Decanato N° 788-2023-UNTELS-R-D de fecha 23 de noviembre, de conformidad con las disposiciones del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales vigentes, sustentó y absolvió las interrogantes que le formularon los señores miembros del Jurado Evaluador.

Concluida la Sustentación se procedió a la evaluación y calificación correspondiente, resultando el aspirante APROBADO por Unanimidad con la nota de: Quince (letras) 15 (números), de acuerdo al Art. 65° del Reglamento General para optar el Título Profesional.

CALIFICACIÓN		CONDICIÓN	EQUIVALENCIA
NÚMERO	LETRAS		
15	Quince	Aprobado por Unanimidad	Bueno

Siendo las 10:40 a.m. del día 01 de diciembre 2023, se dio por concluido el acto de sustentación, firmando el jurado evaluador el Acta de Sustentación, que obra en el Decanato de la Facultad de Ingeniería y Gestión.

Dr. JULIO CESAR BRACHO PEREZ
SECRETARIO

Ph.D. ROBERT RICHARD RAFAEL RUTTE
PRESIDENTE

Mg. SOFIA VICTORIA MATA ESPINOZA
VOCAL

SANDRA RUBI PUCHULAN NINAYAHUAR
BACHILLER

www.unfels.edu.pe

Av. Bolívar S/N, sector 3, grupo 1, mz A, sub lote 3
Villa El Salvador - Lima - Perú
(01) 715 8878

DEDICATORIA

Les dedico este trabajo:

A mi compañero de vida, quien, con su constante soporte y comprensión, ha sido un faro luminoso en mi travesía académica.

A mi madre, por su inquebrantable aliento y apoyo, que han sido fundamento para mi desarrollo personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron de manera significativa a la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mi asesora, Dra. Carmen Milagros Ruiz Huamán y a mis revisores, Dra. Zany Valencia y el Dr. Miguel Melgarejo, por su guía experta, paciencia y dedicación que fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este trabajo.

Mis apreciaciones también van hacia las Srtas. Vanessa Chipoco, Andrea Laos y al Sr. Francisco Román, integrantes del cuerpo académico a cargo de los laboratorios de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur por estar siempre disponibles para facilitar los materiales y equipos requeridos en la presente investigación.

No puedo pasar por alto la colaboración crucial del Dr. Julio Santiago y Marlene Velásquez, por permitirme realizar las pruebas requeridas en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Este logro no solo es mío, sino de todos aquellos cuyas huellas han dejado una marca indeleble en mi viaje. A cada uno de ustedes, mi más profundo agradecimiento.

RESUMEN

El presente estudio examina la distribución de microplásticos en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje de 2023. La investigación, crucial dada la escasez de datos en la región, se enfoca en la contribución de carga microplástica menor a 3350 μm que pueda darse en zonas de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial. Los objetivos incluyen la caracterización de microplásticos y análisis de su distribución en la cuenca. Los muestreos de sedimentos fluviales se realizaron en 12 puntos de muestreo y por cada uno se extrajo una muestra duplicada, empleando técnicas de tamizaje, separación por densidad y microscopía digital para caracterizar los microplásticos. Se encontraron concentraciones significativas en todas las áreas, siendo más pronunciadas en entornos urbanos (513.39 ± 269.23 MP's/kg de sedimento seco) y en menor medida en zonas de influencia agropecuaria (207.57 ± 55.24 MP's/kg de sedimento seco) y prevaleciendo los microplásticos de tipo fragmento, de tonos claros-decolorados en un rango de tamaño de 2361 μm a 3350 μm . Se concluyó que las características de los microplásticos y sus concentraciones varían acorde a las fuentes contaminantes presentes en las distintas zonas de influencia, el cual con la aplicación de un enfoque estadístico a través del análisis de varianza (ANOVA), se demostró que, no todos los grupos de muestra (zonas de influencia) de la cuenca comparten la misma carga de microplásticos.

Palabras claves: Microplásticos, río Rímac, cuenca hidrográfica, sedimentos fluviales, contaminantes emergentes.

ABSTRACT

This study examines the distribution of microplastics in the Rimac River Basin during the 2023 dry season. The research, crucial given the scarcity of data in the region, focuses on the contribution of microplastic load smaller than 3350 μm that may occur in areas of urban, agricultural, energy and industrial influence. The objectives include the characterization of microplastics and analysis of their distribution in the watershed. River sediment sampling was carried out at 12 sampling points and a duplicate sample was extracted for each, using screening, density separation and digital microscopy techniques to characterize microplastics. Significant concentrations were found in all areas, being more pronounced in urban environments (513.39 ± 269.23 MP's/kg dry sediment) and to a lesser extent in areas of agricultural influence (207.57 ± 55.24 MP's/kg dry sediment) and prevailing fragment-type, light-decolored microplastics in a size range of 2361 μm to 3350 μm . It was concluded that the characteristics of microplastics and their concentrations vary according to the pollutant sources present in the different zones of influence, which with the application of a statistical approach through analysis of variance (ANOVA), it was demonstrated that not all sample groups (zones of influence) of the basin share the same load of microplastics.

Key words: Microplastics, Rimac river, hydrographic basin, river sediments, emerging contaminants.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUCCIÓN	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Motivación.....	2
1.2. Estado del arte	2
1.3. Descripción del problema.....	3
1.4. Formulación del problema.....	4
1.4.1. Problema general	4
1.4.2. Problemas específicos	4
1.5. Objetivos de la investigación	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6. Justificación del problema.....	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes de la investigación	7
2.1.1. Antecedentes Internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	8
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. Plásticos.....	10
2.2.2. Microplásticos:	11
2.2.3. Fuentes y Rutas de Contaminación de Microplásticos en Cuencas Hidrográficas	12
2.2.4. Efectos Ambientales y de Salud Asociados a los Microplásticos:	12
2.2.5. Microplásticos en Cuencas Hidrográficas	13
2.2.6. Marco Normativo y Regulación:	13
3. VARIABLES E HIPÓTESIS	15
3.1. Operacionalización de las variables	15
3.1.1. Variable Independiente.....	15

3.1.1. Variable Dependiente	16
3.2. Hipótesis de la investigación	20
3.2.1. Hipótesis general	20
3.2.2. Hipótesis específicas	20
4. METODOLOGÍA	21
4.1. Diseño de investigación.....	21
4.1.1. Limitaciones	21
4.2. Descripción de la metodología	21
4.2.1. Etapas del desarrollo de la tesis Implementación de la investigación.....	21
a. Determinación del área de estudio	21
b. Recolección de muestras	25
4.2.2. Pruebas realizadas	35
4.3. Población y muestra	48
4.1.1. Población de estudio.....	48
4.1.2. Selección y tamaño de la muestra	48
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48
4.5. Instrumentos de recolección de datos.....	49
4.6. Resultados	49
4.6.1. Recuento de microplásticos por Color	51
4.6.2. Recuento de microplásticos por Forma	55
4.6.3. Recuento de microplásticos por Tamaño	58
4.6.4. Concentración.....	61
5.1. Sobre la metodología empleada	73
5.2. Sobre las concentraciones de microplásticos	73
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS.....	83
Anexo 1. Matriz de consistencia	83
Anexo 2. Glosario	86
Anexo 3. Resultados de la caracterización por microscopía.....	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de la variable.....	18
Tabla 2. Detalle de los puntos de muestreo.....	24
Tabla 3. Técnicas de recolección de datos.....	48
Tabla 4. Recuento total de microplásticos por muestra.....	50
Tabla 5. Recuento de microplásticos por color y rango de tamaño.....	51
Tabla 6. Recuento de microplásticos por forma y rango de tamaño.....	55
Tabla 7. Recuento de microplásticos por rango de tamaño.....	59
Tabla 8. Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según el color del microplástico.....	62
Tabla 9. Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según forma del microplástico.....	64
Tabla 10. Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según forma del microplástico.....	65
Tabla 11. Concentración total de microplásticos por zona de influencia.....	67
Tabla 12. Prueba de normalidad.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento de la producción mundial de plásticos, 1950-2014.....	10
Figura 2. Consumo plástico registrado y proyectado por región.....	11
Figura 3. Zonas de la cuenca del río Rímac.....	22
Figura 4. Zonas de estudio.....	23
Figura 5. Recolección de muestras.....	26
Figura 6. Limpieza del punto de toma de muestras.....	26
Figura 7. Garantía de calidad en la toma de muestras.....	27
Figura 8. Retiro de materia visible.....	28
Figura 9. Secado de muestras.....	28
Figura 10. Proceso de tamizado.....	29
Figura 11. Muestras tamizadas.....	30
Figura 12. Muestras en solución saturada.....	31
Figura 13. Fijación de papel filtro.....	31
Figura 14. Sistema de filtrado al vacío.....	32
Figura 15. Proceso de recuperación de microplásticos.....	33
Figura 16. Fotografía digital de la revelación de microplásticos ocultos.....	33
Figura 17. Prueba de Shapiro – Wilk.....	34
Figura 18. Planteamiento matemático ANOVA.....	35
Figura 19. Diagrama de flujo de la tesis.....	36
Figura 20. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-1.....	38
Figura 21. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-2.....	39
Figura 22. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-3.....	39
Figura 23. Inmediaciones de la estación de monitoreo EME-1.....	40

Figura 24. Inmediaciones de la estación de monitoreo EME-2.....	41
Figura 25. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-1.....	41
Figura 26. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-2.....	42
Figura 27. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-3.....	43
Figura 28. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-1.....	43
Figura 29. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-2.....	44
Figura 30. Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-3.....	44
Figura 31. Recuperación de microplásticos por filtrado al vacío.....	46
Figura 32. Fotografías digitales de los microplásticos identificados.....	47
Figura 33. Recuento de microplásticos por color y rango de tamaño.....	53
Figura 34. Proporción de microplásticos identificados por tipo de color.....	54
Figura 35. Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo.....	54
Figura 36. Recuento de microplásticos por forma y rango de tamaño.....	57
Figura 37. Proporción de microplásticos identificados por tipo de forma.....	57
Figura 38. Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo.....	58
Figura 39. Recuento de microplásticos por rango de tamaño.....	60
Figura 40. Proporción de microplásticos identificados por rango de tamaño.....	60
Figura 41. Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo.....	61
Figura 42. Media de la concentración de MP's y desviación estándar (color).....	63
Figura 43. Media de la concentración de MP's y desviación estándar (forma).....	65
Figura 44. Media de la concentración de MP's y desviación estándar (tamaño).....	67
Figura 45. Media de las concentraciones de microplásticos por zona de influencia.....	68
Figura 46. Media de las concentraciones de MP por grupo de muestra.....	72

INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada “Distribución de microplásticos en la Cuenca del río Rímac (zona baja y media) durante la temporada de estiaje, 2023” aborda la problemática ambiental relacionada a la presencia de microplásticos en las cuencas hidrográficas. Este fenómeno adquiere una significativa trascendencia en el contexto global, dado que los microplásticos, resultado de la descomposición de residuos plásticos, han emergido como una amenaza ambiental de alcance mundial. (GESAMP, 2015)

El aumento alarmante de problemas ambientales, derivados principalmente de la gestión inadecuada de residuos sólidos, ha desencadenado consecuencias perjudiciales, siendo una de las más notables la creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas fluviales.

La preocupante presencia de microplásticos en lugares remotos, desde las regiones polares (Lusher, Tirelli, O’Conno, & Officer, 2015) hasta productos cotidianos de consumo humano (Kim, Lee, Kim, & Kim, 2018), subraya la magnitud de este problema. Por lo que este estudio se enfoca específicamente en la cuenca baja y media del río Rímac, una fuente vital de agua para la población, que, a pesar de ser punto de depósito no controlado de residuos en Lima Metropolitana y el Callao (Autoridad Nacional del Agua, 2010), carece de investigaciones detalladas sobre la distribución de microplásticos.

Hasta la fecha, la mayoría de las investigaciones sobre microplásticos se han centrado en depósitos marinos, descuidando el papel crucial de los ríos como conductos de transporte de plásticos hacia el océano. (Andrady, 2011) Esta brecha de conocimiento se manifiesta de manera aguda en la cuenca del río Rímac, donde la falta de estudios detallados limita la comprensión del alcance del problema y sus posibles impactos en la salud humana y el entorno (Fimia, 2019).

Este estudio busca llenar esa brecha, proporcionando una visión preliminar de la distribución de microplásticos en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje de 2023. El enfoque metodológico se centra en la identificación y caracterización en las zonas de mayor influencia, abordando áreas urbanas, agropecuarias, energéticas e industriales a través de muestreos de sedimentos fluviales.

A medida que el mundo enfrenta una creciente producción de plásticos y sus derivados, comprender la presencia y distribución de microplásticos en las fuentes de agua dulce se vuelve esencial. Este estudio se presenta como un paso crucial para la comprensión

de un fenómeno emergente que amenaza tanto los ecosistemas acuáticos como la salud humana, proponiendo, además, un enfoque metodológico que podría sentar las bases para futuros estudios y estrategias de mitigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Motivación

Los problemas ambientales emergentes generados a partir de la inadecuada gestión de residuos sólidos, siendo uno de ellos, la creciente presencia de microplásticos en los ecosistemas a nivel mundial, están generando una preocupación alarmante en la comunidad científica y en la sociedad en general. Siendo una situación descontrolada, ya que factores como el aumento del consumismo y la falta de educación ambiental han contribuido a este fenómeno, alterando los ecosistemas y amenazando la salud humana. A tal grado llega la afectación actual, que los microplásticos se han encontrado en lugares remotos, como las regiones polares (Lusher, Tirelli, O'Conno, & Officer, 2015) hasta en alimentos de consumo cotidiano, lo que demuestra su amplia distribución e impacto en diferentes niveles. A pesar de esta creciente preocupación, a nivel nacional aún existen lagunas en la investigación sobre la presencia y distribución de microplásticos en cuerpos de agua, y especialmente en las cuencas hidrográficas, las cuáles son importantes fuentes de agua de consumo para la población.

1.2. Estado del arte

Hasta el momento, la mayoría de las investigaciones sobre microplásticos se han centrado en los depósitos marinos, descuidando el papel de los ríos como vías de transporte de plásticos hacia el mar. Sin embargo, diversos estudios han resaltado la presencia de microplásticos en cuerpos de agua dulce, así como la capacidad de estos para adherirse a otros contaminantes y ser transportados en la cadena alimentaria, lo que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente.

En el contexto específico de la cuenca del río Rímac, aún hay una escasez de estudios detallados sobre la identificación, cuantificación y caracterización de microplásticos en la zona. A pesar de que Lima Metropolitana y el Callao generan una gran cantidad de residuos plásticos diariamente, y que una parte de estos residuos

terminan en los ríos, los cuáles eventualmente desembocan en el océano. Esta falta de datos limita nuestra comprensión del alcance del problema y de sus posibles efectos en la salud humana y en el entorno.

La presente investigación busca complementar el conocimiento que se viene adquiriendo respecto a este problema ambiental emergente, proporcionando una visión preliminar sobre la distribución de microplásticos en la cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del 2023. El enfoque de la investigación se centra en la identificación de zonas de influencia que podrían estar afectando en mayor medida los cursos de los ríos a través de la determinación de la presencia de microplásticos, con muestreos de sedimentos fluviales en áreas cercanas a zonas urbanas, agrícolas, energéticas e industriales.

1.3. Descripción del problema

La inadecuada gestión de residuos sólidos, se ha ido incrementando en las últimas décadas, producto del consumismo y la falta de educación ambiental para su correcta disposición, y ha alterado notablemente los ecosistemas del mundo, principalmente por la presencia de plásticos. Solo en el 2015 se fabricaron más de 322 millones de toneladas de estos polímeros, excluyendo fibras, a nivel mundial (Beckman, 2018).

El transporte de los residuos por acción del viento, ha permitido que se puedan hallar restos de plásticos y microplásticos en lugares remotos como el Ártico (Lusher, Tirelli, O'Conno, & Officer, 2015), los Alpes y en las precipitaciones en las Montañas Rocosas (Katz, 2019). Asimismo, en productos de consumo cotidiano para la sociedad como la sal de mesa (Kim, Lee, Kim, & Kim, 2018), bolsas de té (Genbo, Larsson, Tahara, & Tufenkji, 2019), en elevadas concentraciones en organismos marinos (Opitz, 2017), entre otros. Lo que evidencia que la presencia de microplásticos está en varios niveles, ya sea aire, suelo: y siendo lo más preocupante, que se muestren indicios de que sean partícipes del ciclo del agua.

En lo que corresponde a los cuerpos de agua, las investigaciones se han centrado en los depósitos marinos, aunque tanto como el 80% de los desechos marinos se originan en la tierra, se prestó poca atención al papel de los ríos como caminos de desechos plásticos hacia el mar. Por lo que el Organismo Mundial de la Salud (2019) resalta en su reporte sobre la presencia de microplásticos en el agua potable que, aunque la información aún es limitada, se proyecta que la presencia de ellos represente un problema ambiental emergente con riesgo sobre la salud humana. Tal como otros estudios indican que existe un incremento en la transferencia de plásmidos en bacterias asociadas a microplásticos, ya que proporciona una

superficie para que los microorganismos se adhieran y colonicen (conocidos como biopelículas) siendo algunos de ellos, como indica Arias, Klümper, Rojas, & Grossart (2018), agentes patógenos; creando de esta forma una mayor resistencia a los antibióticos.

A nivel nacional, este tema aún no es investigado a detalle. Si bien existen estudios, aún son escasas las que se centran en la identificación, cuantificación y caracterización de microplásticos las cuáles tienen principalmente como objeto de estudio, la arena de playa y sedimentos fluviales. En lo que corresponde a registros de la calidad de agua en las cuencas hidrográficas y su concentración de microplásticos, la información es nula. En Lima Metropolitana y el Callao, la generación promedio es de 886 toneladas de residuos sólidos de tipo plástico al día, representando el 46% de dichos residuos en el país, además que en un 43% de ellos serán depositados en botaderos, llegando hasta los ríos y océanos.

En ese sentido, la presente investigación pretende brindar un punto de preliminar en los estudios para el análisis de la distribución de microplásticos en una de las principales fuentes de agua potable del país, como es la cuenca del Río Rímac.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿De qué forma se distribuyen los microplásticos en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje en el 2023?

1.4.2. Problemas específicos

¿Cuál es la concentración de microplásticos de las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?

¿Cuáles son los colores de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?

¿Cuáles son las formas de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?

¿Cuál es el tamaño de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Analizar la distribución de los microplásticos en la cuenca del río Rímac con el fin de evidenciar las zonas de influencia que la afecten en mayor medida a través del muestreo de sedimentos fluviales realizados durante la temporada de estiaje del 2023.

1.5.2. Objetivos específicos

Calcular la concentración de microplásticos en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac

Identificar los colores de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac

Identificar la forma de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.

Determinar el tamaño de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.

1.6. Justificación del problema

Esta investigación se desarrolla con el propósito de brindar información sobre la distribución de microplásticos en las cuencas hidrográficas. Dado que la información en

cuerpos de agua dulce es limitada, se priorizará los puntos de mayor cercanía a zonas urbanas y actividades económicas, para establecer una relación con el nivel de afectación. Y, con su caracterización, determinar los productos plásticos con mayor impacto sobre la reserva hídrica.

La presente investigación propone una metodología adaptada para la cuantificación de microplásticos en cuencas hidrográficas, la cual sienta un precedente, para ser complementada en el proceso de la estandarización del monitoreo a nivel nacional. Llevando a obtener datos de confiabilidad en su cuantificación como parámetro para la determinación del nivel de contaminación ambiental por microplásticos.

Los microplásticos son partículas que varían en forma, tamaño y composición. Dichos polímeros suelen ser considerados de baja toxicidad, ya que, al ser insolubles, es poco probable que sean absorbido por el tracto gastrointestinal (GI) pero generalmente si interactúan con matrices biológicas; ya que el tamaño de partícula influye en la absorción y la toxicidad; es decir, las partículas más pequeñas pueden representar un mayor peligro. (GESAMP, 2015) Afectando la salud de las personas y el desarrollo de las mismas por la presencia de los microplásticos en su organismo. Asimismo, se consideran disponibles, por su superficie específica, para la adhesión de otros tipos de contaminantes como los antibióticos (Arias, Klümper, Rojas, & Grossart, 2018) y los metales pesados (Oz, Kadizade, & Yurtsever, 2019), actuando como instrumento de transporte hacia la cadena alimentaria y permitiendo, en el caso de los metales pesados, la bioacumulación en los organismos. Es por ello que es de vital importancia identificar las fuentes de agua con elevada concentración de microplásticos para proyectar un posterior tratamiento.

Un gran porcentaje de las actividades económicas que se desarrollan en el país, utilizan las cuencas hidrográficas como fuente de agua, ya sea en la agricultura y pesca, que son las más resaltantes. Emplear dichas fuentes con una elevada concentración de microplásticos, permite su transporte y adhesión a los cultivos o en caso de los peces que ingieren los microplásticos cuando los confunden con alimentos, magnificando su concentración en el animal y luego bioacumulándose cuando es ingerido por otros seres vivos, como son los humano (Melgarejo, 2022). Si esto se llegara a conocer en el mercado, los productos no serían aptos para el consumo, por lo que puede tener implicaciones económicas significativas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

El estudio de Augusto (2022) tuvo como objetivo estudiar la presencia de microplásticos en muestras de agua y sedimentos fluviales en un tramo de 258.3 km del río Mondego, en donde se desarrollan actividades económicas como la agricultura, tráfico marítimo, pesca, industrias de papel y material de construcción. Evaluaron 10 puntos de muestreo a realizarse en julio de 2020 (verano) y febrero de 2021 (invierno), en el caso de las muestras de sedimentos fluviales, estas fueron superficiales, tomados a una profundidad de 1-2 cm. Como resultado se evidenció una mayor concentración en la época de verano (22,22 - 140 MP.kg-1), en valores promedios se identificaron 3 tipos de MP: fibras (85%), fragmentos (13.4%) y pellets (1%), en invierno y fibras (90.7%), fragmentos (7.6%) y pellets (1.7%), en verano.

El objetivo de la investigación realizada por Gonzalez (2019) fue determinar a través del muestreo de sedimentos fluviales y agua, la abundancia y distribución de los microplásticos en las cuencas de los ríos Besos y Tordera para discernir si su distribución está asociada a los usos del suelo, tales como: agrícola, urbano y de bosque. Se evaluó 15 puntos de muestreo en la cuenca de Besos en abril del 2019 y 14 puntos de muestreo en junio 2019, en la cuenca de Tordera. Como resultado se evidenció que la cantidad de microplásticos verdes en el agua entre cuencas fue similar, en relación de la los rangos de tamaño entre 50-100 μm , se encontró en promedio 74.5 ± 60.4 MP.g-1 en la cuenca de Besos y 73.6 ± 20.5 MP.g-1 en la cuenca de la Tordera y los rangos de tamaño variaron entre 50-100 μm .

El estudio de He, Goonetilleke, Ayoko, & Rintoul (2020) tuvo como objetivo determinar el alcance de la contaminación por microplásticos en muestras de sedimentos y caracterizar sus patrones de distribución espacial en el río Brisbane en donde se identifican 4 tipos de uso de suelo: áreas naturales, residenciales, comerciales e industriales. Se evaluaron 22 puntos de muestreo en el mes de diciembre (verano) del 2017 y marzo (otoño), junio (invierno) y setiembre (primavera) del 2018, estas fueron muestras superficiales, tomadas del centro del curso del río a una profundidad de 0-3 cm. Como resultado se evidenció que la fracción de masa de microplásticos varió entre 0,18 y 129,20 mg.kg-1, y el número de microplásticos se calculó como 10–520 artículos.kg-1; además, se evidenció que

el polietileno es el tipo de microplástico predominante en los sedimentos del río Brisbane. Las formas de microplásticos identificados en el estudio fueron: películas, fragmentos y fibras.

La investigación de Mora & Rojas (2023) tuvo como objetivo determinar la composición y abundancia de microplásticos en muestras de aguas superficiales y sedimentos fluviales tomados en del río Daule, Sector Pascuales y La Aurora, en 3 puntos de muestreo por cada sector, el cual se realizó de forma puntual el 13 de enero de 2023 en un trayecto de 9.65 km. compuesto por zonas agrícolas, industriales y urbanas. En los resultados se determinó que el número de microplásticos varió entre 716.6. y 972.2 artículos.kg-1, en los sectores de Pascuales y La Aurora, respectivamente. Con un tamaño promedio de 1.509 mm y siendo el PET, el material con mayor presencia.

El objetivo de la investigación de Komlan, Perea, Sparks, & Opeolu (2023) fue determinar las características y distribución de la contaminación por microplásticos en muestras de aguas superficiales y sedimentos en 4 puntos de monitoreo en un tramo de 10 km del río Plankenburg en Sudáfrica, con presencia de zona residencial e industrial. Las muestras fueron superficiales, a una profundidad aproximada de 5 cm tomadas en primavera, verano, otoño e invierno. En los resultados del análisis de sedimentos el rango de tamaño de 500 a 1000 μm la que predominó, la concentración osciló entre $2133,33 \pm 898.15$ a 616.67 ± 160.73 MPs/kg, siendo la temporada de primavera la que presentó mayor concentración media con $1587,50 \pm 599,32$ MP/kg-1; las fibras, la forma de microplástico que predominó y el polietileno, el tipo más predominante.

2.1.2. Antecedentes nacionales

La investigación de Huanaco (2019) tuvo como objetivo determinar si la presencia de los microplásticos en las muestras de sedimentos laterales tomadas en noviembre de 2017 (época de avenida) y en agosto de 2018 (época de estiaje) en 7 puntos de muestreo distribuidos en la cuenca baja del río Rímac, provenientes del uso de polímeros en el desarrollo de las actividades antropogénicas y los residuos derivados con el fin de determinar si los niveles registrados representan una amenaza ambiental. Las muestras fueron superficiales, a una profundidad de 2 cm. Se identificaron 538,9 MPs/m² en noviembre de 2017, y 16 566,7 MPs/m² en agosto de 2018. En base a los 3 tipos de polímeros estudiados, se evidenció que el poliestireno es el que tipo de microplástico que predomina, en un tamaño promedio de 1.64 mm y en color blanco.

El objetivo del estudio de Lino (2022) fue determinar la presencia de microplástico en muestras de agua y sedimentos fluviales obtenidas de 6 estaciones de muestreo distribuida en el cauce de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla durante los meses de febrero (época de crecida), abril (época intermedia) y junio (época de estiaje) del 2020. Las muestras fueron superficiales, a una profundidad de 5 cm. Las concentraciones en sedimentos fluviales por estación de muestreo oscilaron entre 6.2 y 68.1 MP.kg-1, siendo el polietileno de alta densidad el tipo de microplástico que predominó.

En el estudio de Martínez & Quispe (2021) se planteó como objetivo determinar la presencia de microplásticos en muestras de sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura, tomadas durante el mes de abril del 2021 en 8 estaciones distribuidas equitativamente entre los ríos Lurín y Chillón para su caracterización. Se evidenció la presencia de microplásticos con un peso de 3.033 g, con un tamaño de 850 μm en el río Chillón y un peso de 1.223 g, con tamaño variable que 850 y 2000 μm (con prevalencia de los microplásticos de 850 μm), en el río Lurín. Acorde al tipo de polímeros, se presentaron en mayor proporción el polipropileno y el polietileno de alta densidad.

El objetivo de la investigación de Melgarejo (2022) planteó la evaluación de la relación entre los microplásticos presentes en muestras de agua y sedimentos fluviales con la concentración de estos, en peces y crustáceos extraídos de tres estaciones de monitoreo distribuidas en 5.3 km del cauce del río Lacramarca durante los meses de octubre y noviembre del 2021. Las muestras fueron superficiales, a una profundidad de 3 cm. Los resultados mostraron que la concentración media en sedimentos fluviales fue de 725 MP's/kg, en el cuál predominaba la forma de fragmentos y tamaños que oscilaron entre los 10 y 2500 μm .

El estudio de Manrique (2019) tuvo como objetivo determinar la presencia de microplásticos en muestras de sedimentos superficiales recolectados en 4 estaciones de monitoreo distribuidos en un tramo aproximado de 25 km del río Jequetepeque (cuenca baja) durante el mes de agosto del 2018 e identificar el tipo de polímero existente y caracterizarlo. El área de estudio posee gran influencia por parte de la actividad agrícola. Las muestras fueron superficiales, a una profundidad de 5 cm. Los resultados mostraron que se solo se detectaron microplásticos en una estación de monitoreo, con una concentración promedio de 90 items.kg-1 o 8.9 mg.kg-1, de tamaño de 500 μm a 1 mm, en el cuál predominaba como forma y tipo de microplásticos, los fragmentos y el polietileno, respectivamente.

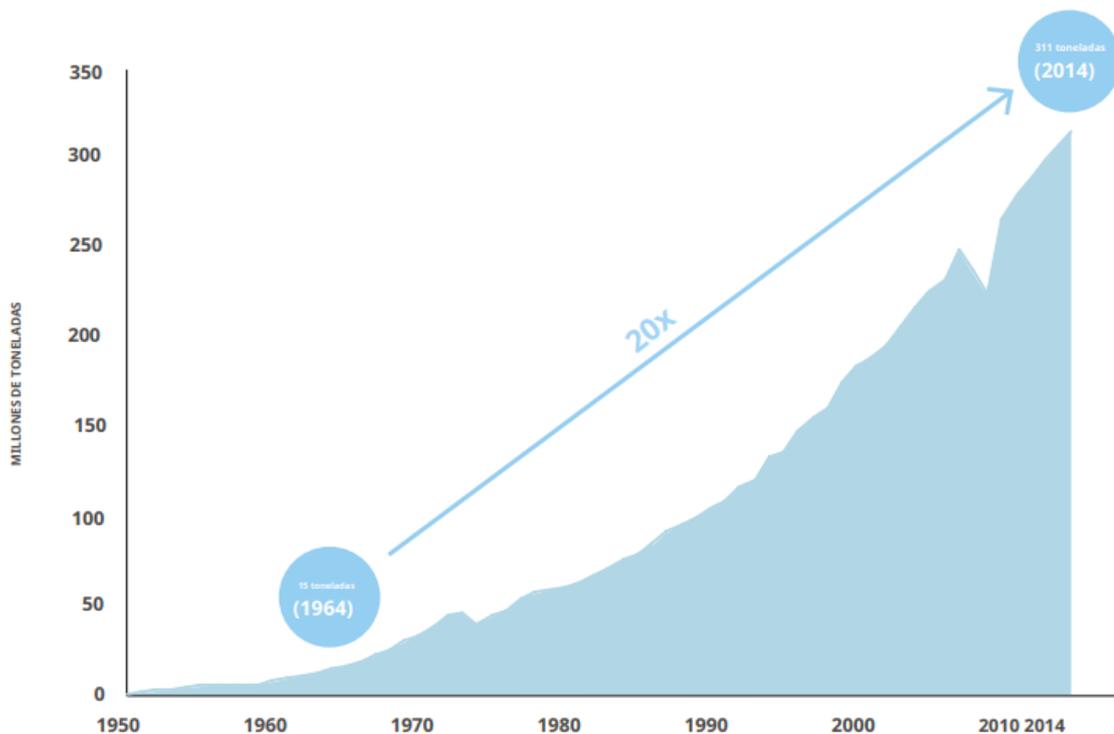
2.2. Bases teóricas

2.2.1. Plásticos

A través de las décadas el consumo de elementos e insumos plásticos se ha incrementado exponencialmente. Por lo que indica el Foro Económico Mundial en la figura 1, dicho consumo con corte al año 2014 es 20 veces mayor que el de hace 50 años (World Economic Forum, 2016), ello podemos evidenciar en la actualidad ya que el uso de productos plásticos se ha vuelto indispensable para las personas, ya sea porque son versátiles, durables, ligeros y económicos, a modo de ejemplo, este material podemos encontrarlos en las bolsas desechables, las cápsulas de café, hasta en los equipos eléctricos y electrónicos.

Figura 1

Crecimiento de la producción mundial de plásticos, 1950-2014

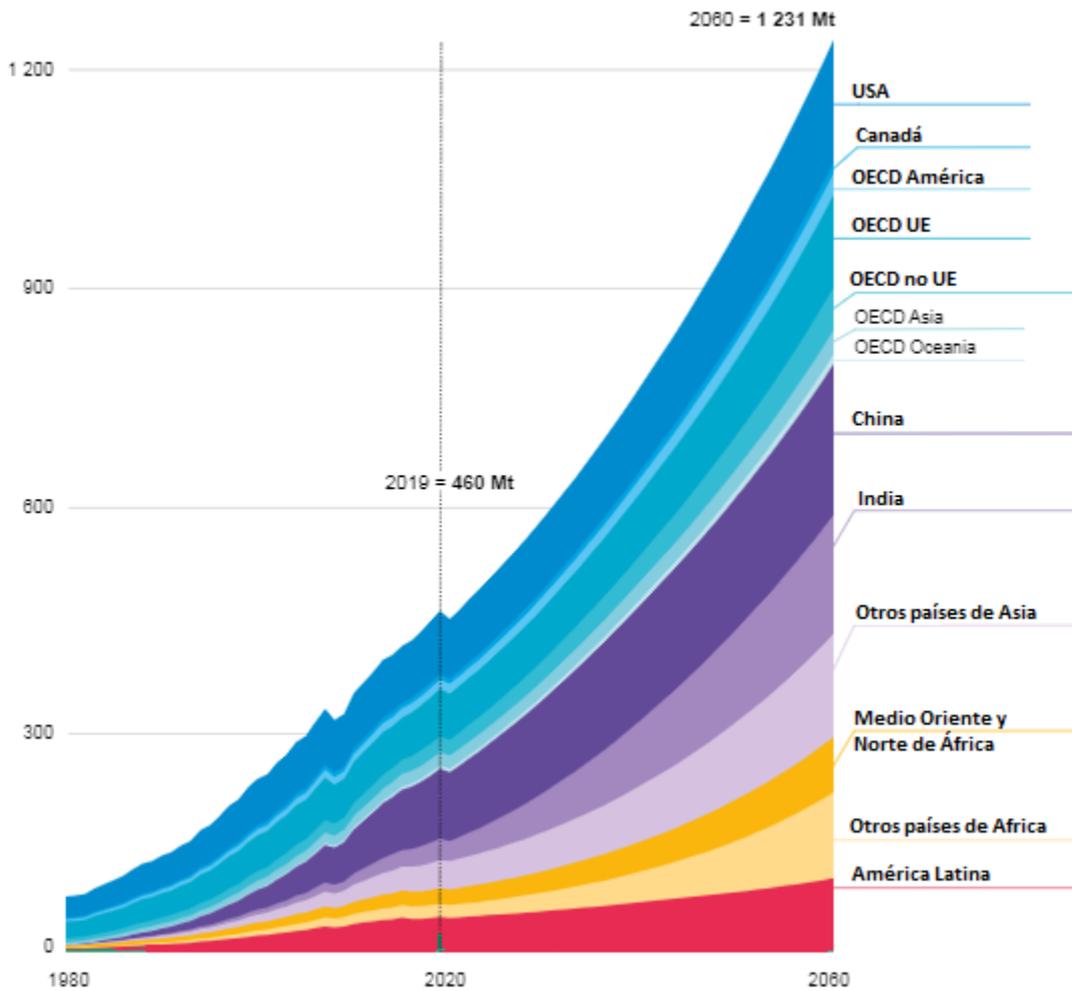


Nota: Producción únicamente a partir de materia prima virgen. Fuente: PlasticsEurope, Plastics – the Facts 2013 (2013); PlasticsEurope, Plásticos: los hechos 2015; de OCDE (2022)

Como se muestra en la figura 2, esta dependencia excesiva, acorde a los estudios realizados por la OCDE proyecta que el consumo mundial sea triplicado para el 2060 (OECD, 2022)

Figura 2

Consumo plástico registrado y proyectado por región



Nota: Uso de plásticos en millones de toneladas (Mt), escenario base del 2019.

2.2.2. Microplásticos:

El término "microplásticos" cobró mayor relevancia en la década de 2000 en un artículo científico titulado "Perdido en el mar: ¿Dónde está todo el plástico?", en el cual se empleó dicho término para hacer referencia para describir partículas de plástico diminutas que se encuentran en el medio ambiente. (Thompson, y otros, 2004) Su tamaño reducido y persistencia los convierte en un desafío para la gestión ambiental, ya que se acumulan en ambientes acuáticos, incluyendo ríos y océanos. Sus diferentes formas y composiciones pueden afectar la fauna y flora acuática, alterar el equilibrio ecológico y representar un riesgo para la salud humana al ingresar a la cadena alimentaria. Estas partículas son generalmente

menores a 5 milímetros de diámetro y pueden ser divididas en dos categorías: microplásticos primarios y microplásticos secundarios (GESAMP, 2015).

A. Microplásticos Primarios:

Los microplásticos primarios son partículas de plástico que se producen directamente en pequeño tamaño. Estos pueden ser fabricados intencionalmente para su uso en productos cosméticos, productos de limpieza y exfoliantes, conocidos como microesferas de plástico, que terminan en el ambiente a través de desagües y sistemas de tratamiento de aguas residuales. (GESAMP, 2015) También se consideran microplásticos primarios las microfibras que se desprenden de textiles sintéticos durante el lavado. (Duch, 2018)

B. Microplásticos Secundarios:

Los microplásticos secundarios se generan a partir de la degradación y fragmentación de plásticos más grandes debido a la exposición a la luz solar, el calor y la acción mecánica, como el movimiento del agua y la abrasión. (GESAMP, 2015) Los plásticos de desecho que no son gestionados adecuadamente terminan en el medio ambiente, donde se degradan con el tiempo en partículas más pequeñas. Estos microplásticos secundarios pueden provenir de diversas fuentes, como residuos plásticos abandonados, desechos plásticos arrojados en cuerpos de agua y fragmentación de productos de plástico en la naturaleza.

2.2.3. Fuentes y Rutas de Contaminación de Microplásticos en Cuencas

Hidrográficas

Las cuencas hidrográficas actúan como receptores naturales de microplásticos, ya que diferentes actividades humanas generan y dispersan estas partículas a través de diversas rutas. (Huanaco, 2019) Entre las principales fuentes se encuentran la descarga de aguas residuales (Reyes, Vilorio, & Caballero, 2022), la escorrentía urbana con arrastre de plásticos (Andrady, 2011), la agricultura que utiliza plásticos en los sistemas de riego (United Nations Environment Programme, 2022), la actividad industrial y la contaminación atmosférica (Manrique, 2019), que permite la deposición de microplásticos en cuerpos de agua. Una vez presentes en la cuenca, los microplásticos pueden transportarse a través de ríos y arroyos hasta desembocar en los océanos. (Agencia Sinc, 2023)

2.2.4. Efectos Ambientales y de Salud Asociados a los Microplásticos:

La presencia de microplásticos en el medio ambiente acuático puede tener diversos efectos ambientales y de salud. Para la vida acuática, los microplásticos pueden ser ingeridos

por organismos marinos, causando daño físico y obstrucción de sus sistemas digestivos. (Melgarejo, 2022) Además, los microplásticos pueden acumular contaminantes químicos que se adhieren a su superficie (Pazos y Gómez, 2021 citado por Narvárez & Tipán, 2022, p. 15), lo que puede afectar negativamente la salud de los organismos que los consumen. A nivel humano, existe preocupación por la ingesta inadvertida de microplásticos a través del consumo de pescado y mariscos contaminados (Departamento Científico de Greenpeace, 2016), lo que podría tener implicaciones para la salud humana.

2.2.5. Microplásticos en Cuencas Hidrográficas

Aunque gran parte de la atención se ha centrado en la contaminación marina, es esencial investigar la presencia y distribución de microplásticos en cuencas hidrográficas, como la del río Rímac. Estas cuencas juegan un papel crucial en la dispersión de microplásticos hacia los océanos y representan una fuente importante de contaminación para los cuerpos de agua dulce y, en última instancia, para el suministro de agua potable. El estudio de estas cuencas permitirá entender mejor el alcance del problema de contaminación y su impacto en la disponibilidad de agua limpia y segura.

2.2.6. Marco Normativo y Regulación:

La implementación de políticas y regulaciones que promuevan la gestión adecuada de residuos sólidos, la reducción del uso de plásticos de un solo uso y la promoción de prácticas sostenibles en la producción y consumo de plásticos son fundamentales para mitigar la contaminación por microplásticos en cuencas hidrográficas. En ese sentido, a continuación, se desarrolla a detalle las normas legales que se cuenta en el país para regular la contaminación por microplásticos:

La Ley N° 30884 , en su artículo 2 sobre la reducción progresiva de bolsas de base polimérica plantea que están sean reemplazadas por bolsas reutilizables o bolsas de plástico biodegradable con el fin de que su degradación no genere contaminación por microplásticos o sustancias peligrosas para poder ser valorizada.

El Decreto Supremo N° 006-2019-MINAM tiene como objetivo principal establecer medidas para la gestión adecuada de los plásticos de un solo uso y promover la reducción de residuos plásticos en general. Para abordar la generación de microplásticos, es importante considerar que este decreto aborda los aspectos clave relacionados con la producción, el uso y la gestión de plásticos:

- Restricciones en plásticos de un solo uso: El decreto prohíbe la entrega gratuita de bolsas de plástico en comercios y promueve el uso de bolsas reutilizables. Esto puede contribuir a reducir la generación de microplásticos, ya que los plásticos de un solo uso son una fuente importante de fragmentación.
- Fomento de la economía circular: El decreto también promueve la economía circular al establecer responsabilidades para los productores y empresas en la gestión de los residuos de envases y embalajes. Esto puede reducir la entrada de plásticos en el medio ambiente y, por lo tanto, la generación de microplásticos.
- Educación y sensibilización: La normativa incluye disposiciones para la sensibilización y educación ambiental sobre la reducción del uso de plásticos con ello se espera cambiar los patrones de consumo y reducir la generación de microplásticos a través de la conciencia pública.

3. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Operacionalización de las variables

3.1.1. Variable Independiente

Cuenca del río Rímac: Se define como la extensión geográfica que abarca el área de influencia del río Rímac, considerando sus afluentes, durante la temporada de estiaje del año 2023. Se delimita en base a los límites geográficos establecidos en el punto 1.4.1. y abarca las zonas de influencia urbana, zonas de influencia de actividad agropecuaria y zonas de influencia de actividad energética, así como sus dimensiones las cuáles se definen a continuación:

Zona de influencia urbana:

La zona de influencia urbana se refiere a las áreas dentro de la cuenca del río Rímac que están densamente pobladas y caracterizadas por ser fuente contaminante la cuenca, a través de descargas de aguas residuales, disposición inadecuada de residuos sólidos y realizarse actividades de lavado de ropa. Se delimita en base a los límites geográficos en base a lo proyectado en el punto 4.2.1. inciso a).

Zona de influencia de actividad agropecuaria:

La zona de influencia de actividad agropecuaria abarca las áreas dentro de la cuenca del río Rímac donde se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas. Incluye terrenos destinados al cultivo de cultivos alimentarios y/o forraje, así como áreas dedicadas a la cría de animales para la producción de carne, leche u otros productos agropecuarios y en donde se hayan identificado fuentes contaminantes por descarga de aguas residuales de dicha actividad en los cuerpos de agua de la cuenca del río Rímac.

Zona de influencia de actividad energética:

La zona de influencia de actividad energética se refiere a las áreas dentro de la cuenca del río Rímac que están asociadas con la producción de energía. Esto puede incluir plantas de generación de energía eléctrica, centrales hidroeléctricas, y en donde se hayan identificado fuentes contaminantes por descarga de aguas residuales de dicha actividad en los cuerpos de agua de la cuenca del río Rímac.

Zona de influencia de actividad industrial:

La zona de influencia de actividad industrial abarca las áreas dentro de la cuenca del río Rímac que están relacionadas con actividades industriales y productivas. Incluye zonas donde se lleva a cabo la producción, transformación, fabricación o procesamiento de bienes, así como instalaciones industriales y fábricas. En donde se hayan identificado fuentes contaminantes por descarga de aguas residuales de dicha actividad en los cuerpos de agua de la cuenca del río Rímac.

3.1.1. Variable Dependiente

Distribución de microplásticos: Se considera para el estudio como variable dependiente, ya refiere sobre la presencia y disposición de microplásticos en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje. La distribución se evalúa considerando las siguientes dimensiones:

Concentración de microplásticos:

Se define como la cantidad de microplásticos (MP's) entre unidad de masa de microplásticos por kilogramo (kg) de muestra seca de sedimento fluvial de las muestras obtenidas en cada una de las zonas de influencia (urbana, agropecuaria, energética e industrial) de la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del año 2023. Se expresa en unidades de medida adecuadas para describir la densidad de microplásticos presentes.

Indicador de concentración por cantidad

Cantidad de microplásticos por kilogramo de muestra seca de sedimento fluvial (MP.kg-1).
--

Color de los microplásticos:

El color de los microplásticos se define como la tonalidad y apariencia visual que presentan las partículas de material plástico presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en cada una de las zonas de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del año 2023. Se evalúa mediante la técnica de observación visual directa. Esta dimensión cuenta con los

siguientes indicadores: Tonos blancos - transparentes , tonos claros – decoloridos y tonos vivos – oscuros.

Forma de los microplásticos:

La forma de los microplásticos se refiere a la estructura física y morfología que presentan las partículas de material plástico en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en cada una de las zonas de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del año 2023. Se identifica y describe mediante la técnica de observación visual directa. Esta dimensión cuenta con los siguientes indicadores: Fragmento, película, esfera, filamento.

Tamaño de los microplásticos:

El tamaño de los microplásticos se define como las dimensiones lineales o diámetros característicos de las partículas de material plástico presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en cada una de las zonas de influencia urbana, agropecuaria y energética de la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del año 2023. Se mide y registra utilizando técnicas de medición y clasificación adecuadas, como microscopía y tamizado.

En resumen, se muestra a continuación la Tabla 1 de la matriz de operacionalización de la variable:

Tabla 1

Matriz de operacionalización de la variable

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE: Cuenca del río Rímac	Importante cuenca hidrográfica que se origina en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes a una altitud máxima de aproximadamente 5,508 metros, y cuya extensión de superficie es de 3.503.9 km ² , del cual se abastece de agua para el consumo humano, agrícola y energético a la ciudad de Lima. (Rodríguez, y otros, 2013)	Se define como la extensión geográfica que abarca zona baja y media (Figura 3) de la cuenca del río Rímac, políticamente ubicada en el distrito de La Punta (Límite Oeste) y los distritos de San Antonio y Chaclacayo (Límite Este), cuya longitud de cauce principal es 57.29 km y de quebrada 44.14 km., durante la temporada de estiaje del año 2023. Compuesta por la zona de influencia urbana, zona de influencia de actividad agropecuaria, zona de influencia de actividad energética y zona de influencia de actividad industrial.	Zona de influencia urbana	Densidad poblacional
			Zona de influencia de actividad agropecuaria	Puntos de vertimientos
			Zona de influencia de actividad energética	Puntos de vertimientos
			Zona de influencia industrial	Puntos de vertimientos

VARIABLE DEPENDIENTE:
Distribución de microplásticos

Se refiere a la presencia y disposición de partículas de materiales plásticos de tamaño mayores a 1 μm y menores a 5 mm (Arthur et al. 2009 citado por Thompson, R.C., 2015, p. 191) detectados en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas

Evalúa mediante las dimensiones de la variable, como son: la concentración de microplásticos, el color, la forma y el tamaño de partículas encontradas en las muestras de sedimentos fluviales. Se realizan muestreos en diferentes áreas de influencia urbana, de actividad agropecuaria, de actividad energética y de actividad industrial dentro de la cuenca, durante la temporada de estiaje del 2023.

Concentración

Cantidad de microplásticos por kilogramo de muestra seca de sedimento fluvial

Color

Tonos blanco-transparentes

Tonos claros-decoloridos

Tonos vivos - oscuros

Forma

Esfera

Fragmento

Película

Filamento

Tamaño

2360 μm – 3350 μm

710 μm – 2360 μm

63 μm – 710 μm

3.2. Hipótesis de la investigación

3.2.1. Hipótesis general

Existe una distribución variable de microplásticos en los distintos puntos de monitoreo de sedimentos fluviales a realizarse en la cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del 2023 siendo la zona de influencia urbana la que genera mayor afectación en la cuenca.

3.2.2. Hipótesis específicas

La concentración de microplásticos en las muestras de sedimentos fluviales será mayor en la zona de influencia urbana en comparación con las zonas de influencia de actividad agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.

Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac mostrarán una diversidad de colores

Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac tendrán diversas formas, como fragmentos, fibras o partículas esféricas.

Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac tendrán un rango de tamaño variado.

4. METODOLOGÍA

4.1. Diseño de investigación

Este estudio se enmarca dentro de una investigación descriptiva y exploratoria. Se busca caracterizar la presencia de microplásticos en sedimentos fluviales de la Cuenca del río Rímac, identificando sus concentraciones, colores, formas y tamaños en diferentes zonas de influencia, como la urbana, agropecuaria, energética e industrial.

La estrategia de diseño de investigación se define como la planificación establecida para adquirir la información necesaria en un proyecto de investigación. En particular, el diseño no experimental descriptivo transversal implica la recopilación de datos en un único momento con el objetivo de describir las variables y sus interrelaciones. En este estudio, se implementó este diseño específico, ya que la recolección de datos se llevó a cabo en un periodo determinado sin alterar el entorno ambiental y sin manipulación de la variable.

4.1.1. Limitaciones

Las limitaciones potenciales incluyen la variabilidad estacional en la distribución de microplásticos y posibles cambios en las condiciones del río durante el período de muestreo. La representatividad de las muestras también podría verse afectada por factores locales, como eventos climáticos extremos o actividades humanas inesperadas.

4.2. Descripción de la metodología

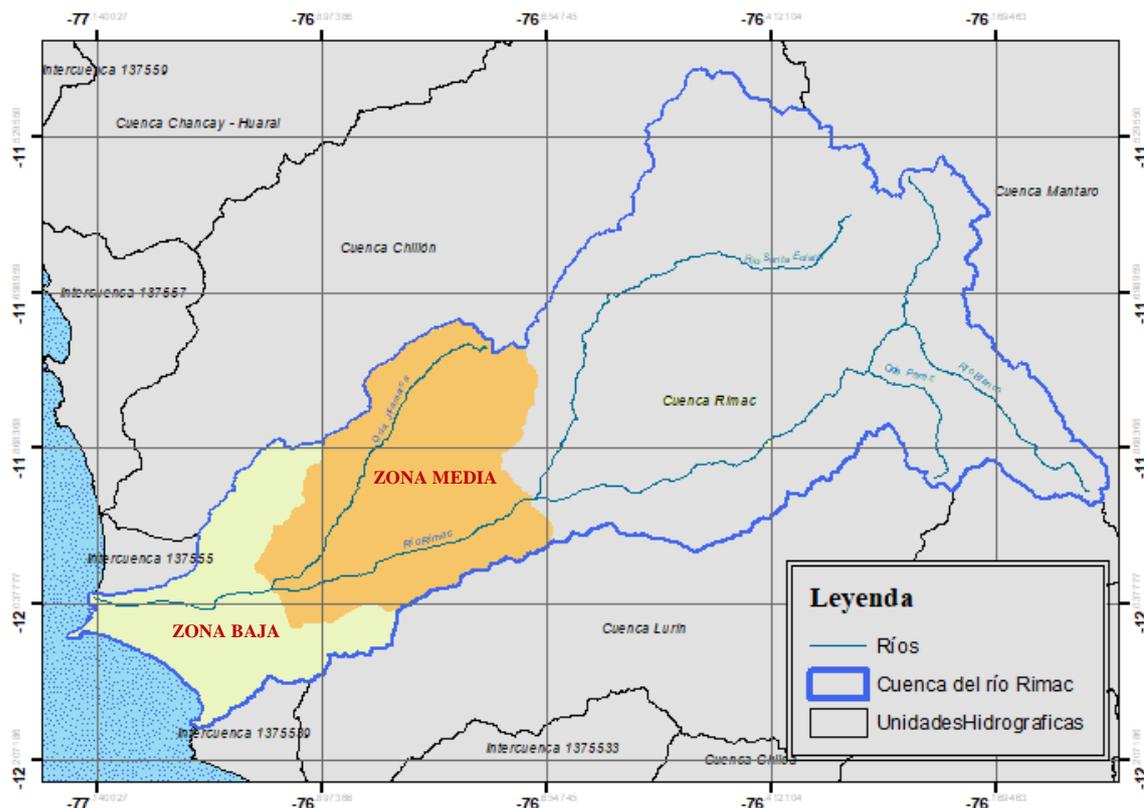
4.2.1. Etapas del desarrollo de la tesis Implementación de la investigación

a. Determinación del área de estudio

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la zona baja y media (Figura 3) de la cuenca del río Rímac, políticamente ubicada en el distrito de La Punta (Límite Oeste) y los distritos de San Antonio y Chaclacayo (Límite Este), cuya longitud de cauce principal es 57.29 km y de quebrada 44.14 km.

Figura 3

Zonas de la cuenca del río Rímac



Fuente: Elaboración Propia

En la investigación, la temporalidad está determinada en base al caudal promedio de la cuenca, definiéndose que el desarrollo del muestreo y evaluación se ejecutó en la temporada de estiaje de la cuenca que se presenta durante el mes de agosto del 2023.

El área de estudio se encuentra en la cuenca del río Rímac específicamente en la zona baja y media de la cuenca.

La zona baja de la cuenca del río Rímac tiene un área de 438,46 km² que representa 12,58% del área total. Desde la unión entre la quebrada de Jicamarca y el río Rímac hasta la desembocadura en el Mar Peruano tiene un recorrido total de 22.7 km. Dicha zona, para fines del presente estudio, se considera como zona de influencia urbana.

La zona media de la cuenca del río Rímac tiene un área de 755,63 km² que representa 21,68% del área total. Desde la unión entre la quebrada de Jicamarca (incluyendo el recorrido de la quebrada) y el río Rímac hasta la unión de la quebrada de Santa Eulalia y el río Rímac

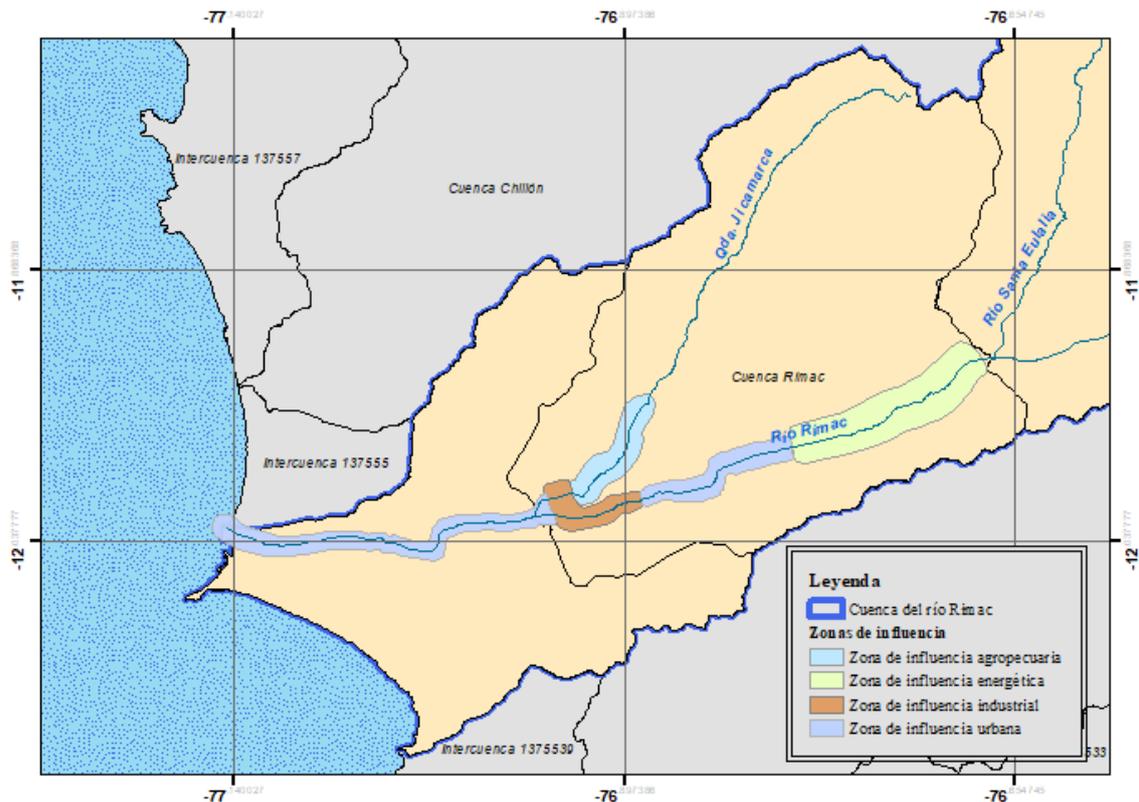
tiene un recorrido de 44.14 km. de quebrada y 34.59 km de cauce principal del río Rímac. Dicha zona, para fines del presente estudio, estará compuesta de 4 zonas:

- Zona de influencia urbana
- Zona de influencia de actividad agropecuaria
- Zona de influencia de actividad energética
- Zona de influencia de actividad industrial

El diseño y la selección de las zonas de muestreo se basó en el análisis de la información disponible, del reconocimiento del entorno del área de estudio y la verificación de acceso actual a los puntos de muestreo.

Figura 4

Zonas de estudio



Fuente: Elaboración propia

Para la verificación de acceso de los puntos de muestreo se realizó una inspección previa a las zonas de influencia el 12 de agosto de 2023 para definir las ubicaciones, en ese sentido, se tuvo que descartar un punto de muestreo destinado a la zona de influencia energética por ser una zona de acceso restringido. La codificación, coordenadas y puntos de referencia se detalla en la tabla N°2:

Tabla 2*Detalle de los puntos de muestreo*

PUNTOS DE MUESTREO	REFERENCIA	MARGEN	COD. MUESTRA	WGS84 (18S)		D.P
				ESTE	NORTE	
EME-1	A 15 m del Puente Papelera	Izquierda	EME-1.1	306051.6	8675514.5	7.64
			EME-1.2			
			EME-2.1			
EME-2	A 400 m del Puente Morón	Izquierda	EME-2.2	306052.6	8675515.4	5.32
			EME-2.1			
EMA-1	A 50 m Puente Petramas	Derecha	EMA-1.1	293827.3	8676502.3	6.14
			EMA-1.2			
EMA-2	A 370 m del paradero Cadena	Derecha	EMA-2.1	293234.2	8674425.5	5.69
			EMA-2.2			
EMA-3	A 40 m de Calle Tulipanes	Izquierda	EMA-3.1	292833.3	8673922.9	6.07
			EMA-3.2			
EMI-1	A 15 m del Puente Santa Clara	Derecha	EMI-1.1	293989.6	8671340.6	6.2
			EMI-1.2			
EMI-2	A 200 m de Puente Inka Kola	Derecha	EMI-2.1	291233	8672563.9	7.14
			EMI-2.2			
EMI-3	A 10 m de Puente San Antonio de Padua	Izquierda	EMI-3.1	289739	8671806	6.83
			EMI-3.2			
EMD-1	A 200 m de Puente FONCODES	Derecha	EMD-1.1	296774.5	8671998.8	6.55
			EMD-1.2			
EMD-2	Hito 25 Autopista Ramiro Prialé	Derecha	EMD-2.1	288355.3	8670483.7	2
			EMD-2.2			
EMD-3	A 250 m del Puente Malecón Checa	Izquierda	EMD-3.1	283716.8	8669733.4	6.65
			EMD-3.2			

Nota: D.P es distancia en metros entre los puntos de submuestra. Elaboración propia

b. Recolección de muestras

La metodología empleada se basó en la revisión descrita en el artículo de la revista *Science of the Total Environment* de Adomat & Grischek (2021) adaptada a las condiciones para el muestreo en la cuenca del río Rímac y las necesidades de la investigación;

El diseño del muestro se basó en un sistema determinista el cual consiste en contar con ubicaciones específicas sobre la base de conocimientos previos, como es la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) sobre fuentes contaminantes del Perú.

Para el muestreo de los sedimentos fluviales, se empleó una pala de acero a una profundidad aproximada de 5 cm, y en un punto ubicado a 1 m. aproximadamente del borde del río, previamente habiéndose trazado 2 muestras individuales que conformaran la muestra compuesta, con áreas de 50 x 50 cm con un cuadrante de madera de similares dimensiones, para extraer un aproximado de 1 kg de sedimento, y siendo recubiertos de papel aluminio, los cuales fueron almacenados en bolsas ziploc. En relación a la muestra compuesta, la norma ISO 5667-12 indica que este tipo de muestra es suficiente para evitar resultados conflictivos y obtener resultados promedio de microplásticos (MP's) en sedimentos (DIN German Institute for Standardization, 2016, citado por Adomat & Grischek, 2021, p. 4). Con el GPS se toman las coordenadas del transecto muestreado.

Figura 5

Recolección de muestras



Nota: (a) Toma de distancia a margen de río. (b) Recolección de muestras individuales. (c) Toma de distancia entre puntos de recolección de muestras individuales. (d) Cuarteo de la muestra. Elaboración propia.

Se dieron casos en los que se tuvo que retirar manualmente de la muestra materia orgánica y piedras con dimensión mayor a 5 mm.

Figura 6

Limpieza del punto de toma de muestras



Para su traslado, las muestras fueron almacenadas con su cadena de custodia en un cooler con divisiones de cartón, para evitar la fricción entre muestras y se garantizará su preservación con un refrigerante que mantendrá la temperatura a 4 ° C.

En los casos que se evidenció materia orgánica en las muestras de sedimentos fluviales, se le adicionó aproximadamente 100 mL de hipoclorito de sodio con una concentración de 10%, con el fin de degradar la materia orgánica de la muestra, debido a que las muestras serán trasladadas al laboratorio para el análisis, 48 horas posterior a la toma de muestras.

Para minimizar la posible contaminación causada por fibras o partículas transportadas por el aire, se dispone un control de blancos en los márgenes del río utilizando placas de Petri abiertas que contengan membrana de filtro húmedo. La concentración obtenida durante el análisis se tomará en consideración.

Figura 7

Garantía de calidad en la toma de muestras



Nota: Comprende el desarrollo de buenas prácticas de campo destinadas a minimizar la contaminación de MP durante el procedimiento

A pesar que en el desarrollo de la presente investigación se procuró el no uso de implementos de origen polimérico, y se reemplazó por materiales de vidrio, metal y algodón, en el caso del mandil de laboratorio, el transportar las muestras en bolsas de ziploc no se considera como aspecto de contribución de contaminación microplástica, además que su uso está dispuesta en diversas guías (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021)

c. Análisis de laboratorio

- Preparación de la muestra

Se extrajeron 500 g de cada una de las 22 muestras compuestas de sedimentos obtenidas y se depositaron en vasos precipitados de 600 ml, procurando retirar piedras o materia no relacionada a la presente investigación (con dimensión mayor a 1 cm).

Figura 8

Retiro de materia visible



Nota: Se procede a retirar piedras, material plástico con dimensión mayor a 1 cm, raíces, entre otros. Elaboración propia.

Se procedió a secar en la estufa a 70° C entre 3 a 7 días, el tiempo estuvo determinado por el momento en que las muestras obtuvieron un peso constante (Manrique, 2019).

Figura 9

Secado de muestras



Para evitar la contaminación cruzada entre las muestras estas fueron cubiertas superficialmente con papel de aluminio

Una vez las muestras de sedimento estuvieron secas, se procedió a tamizar por un tiempo de 20 min, empleando tamices de malla de acero inoxidable con aberturas de 63 μm (No. Tamiz ASTM #230), 710 μm (No. Tamiz ASTM #25), 2360 μm (No. Tamiz ASTM #8) y 3350 mm (No. Tamiz ASTM #6). En los casos que se presentó compactación de la muestra como resultado del secado, se procedió a triturar en un mortero.

Estos tamaños fueron elegidos para resaltar el espectro más pequeño de contaminación microplástica (63 μm) y los demás acorde a la disponibilidad del mercado de los tamices de acero.

Figura 10.

Proceso de tamizado



Se pasaron las muestras de sedimentos fluviales por la columna de tamices ajustados a la agitadora por un tiempo de 10 min. cada una.

Los tamices se enjuagaron a fondo usando una botella de chorro llena de agua destilada. El material retenido en cada tamiz (No. Tamiz ASTM #8, #25 y #230) se raspa con una espátula de metal y una cuchara, y se enjuaga (usando una cantidad mínima de agua) en vasos de precipitados de 500 ml y se trasvasa en una bolsa ziploc debidamente etiquetada.

Figura 11

Muestras tamizadas



Posteriormente, se somete a un proceso de secado a 70°C por 12 h para determinar el peso de la muestra seca.

- Separación por densidad

Según (Toledo, 2019), la densidad de los plásticos es variable, en un rango de 0.8 a 1.4 g cm⁻³, acorde al tipo de polímero que se analice. Por lo que, para realizar la separación por densidad se empleó una solución saturada de NaCl, el cual fue preparado a partir de 540 g de NaCl (QP) al 99% y diluido en 1500 mL de agua destilada, ambas sustancias deben ser mezcladas durante 30 minutos aproximadamente con un agitador magnético o en su defecto, hasta que no se observó cristales de cloruro de sodio en la base del vaso de precipitado. Para la presente investigación se verificó la densidad de la solución, la cual fue en promedio de 1.216 g/ml.

Se introdujo cada muestra tamizada de sedimento en un vaso de precipitado de 600 ml y se le adicionó la solución saturada de NaCl, se agitó vigorosamente por 5 min con una bagueta de vidrio con el fin de aumentar la densidad de la solución homogéneamente. Posterior a ello, se dejó reposar cada muestra por al menos 24 horas para obtener como sobrenadante los microplásticos presentes en la muestra.

Figura 12

Muestras en solución saturada



- Recuperación de microplásticos

Del paso anterior, se obtendrá 2 partes: el sobrenadante y el fondo, a partir de ello se procederá al usar 1 filtro de fibra de vidrio Wattman Nro. 40 contenido en un embudo Büchner, en cuál será ubicado en el centro con una pinza metálica, procurando que cubra la totalidad de superficie disponible del embudo, el papel filtro deberá ser humedecida una vez colocada en el embudo para asegurar su fijación.

Figura 13

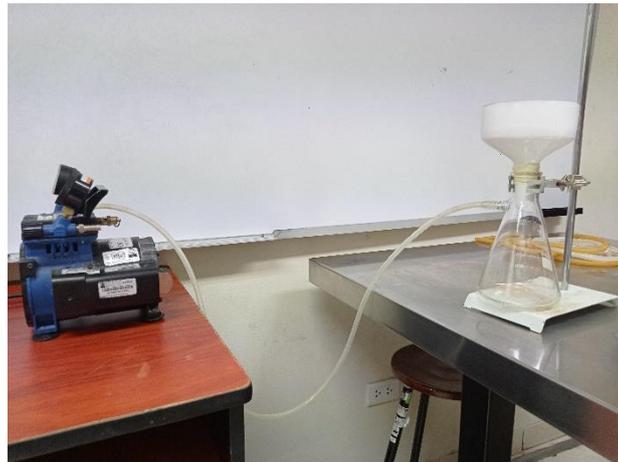
Fijación de papel filtro



Para completar el sistema de filtrado al vacío que se aplicará para la recuperación de microplásticos, previamente se armó el sistema compuesto por el embudo Büchner el cual fue acoplado herméticamente con un tapón de goma a un matraz Kitasato, y este fue conectado desde su toma lateral, a través de un tubo de silicona, a una Bomba de alto rendimiento, 220 V/50 Hz ®Milipore.

Figura 14

Sistema de filtrado al vacío



Una vez encendida primero la bomba, con una varilla de vidrio se vaciará el sobrenadante de cada vaso de precipitado en el centro de la superficie disponible del embudo de Buschner, para su filtración.

Terminado el proceso, los papeles filtro serán retirados con una pinza metálica de los embudos y colocados en placas Petri. Estas placas pasarán por un proceso de secado a 70°C por 24 horas.

Figura 15

Proceso de recuperación de microplásticos



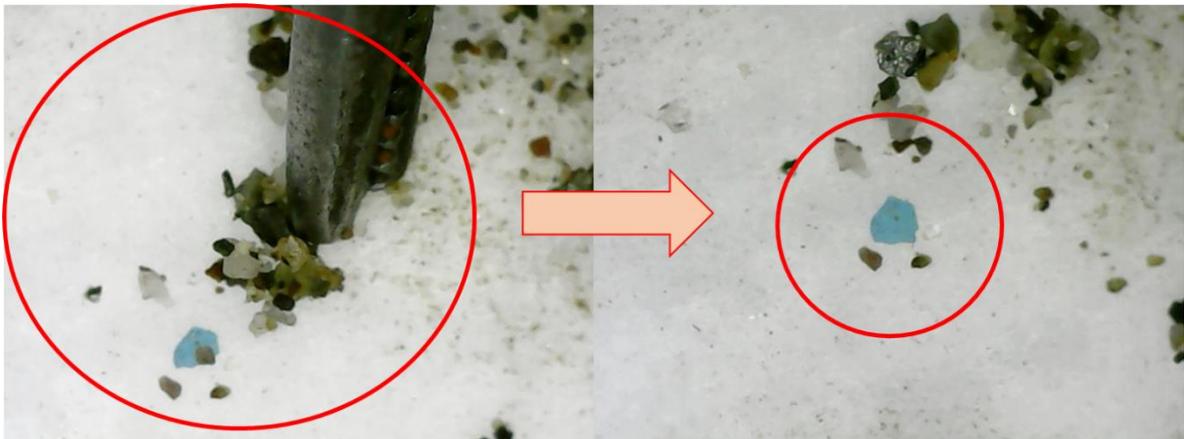
Nota: A la derecha, muestra filtrada. A la izquierda, muestras puestas a secado.

- Caracterización de microplásticos

Se analizará la muestra con el uso del Microscopio Digital USB U1600X en busca de partículas microplásticas. Asegurando que al analizar los microplásticos, estos pueden estar atascados y por lo tanto ocultos debajo de elementos más grandes. También fue útil mover objetos ya analizados a un lado de la placa de Petri.

Figura 16

Fotografía digital de la revelación de microplásticos ocultos



Nota: Las fotografías se capturaron empleando el programa AMCap a través del Microscopio Digital USB U1600X.

A continuación, se presentan algunas características que identifican partículas microplásticas en la muestra: Por ejemplo, no hay estructura celular, bordes irregulares, afilados, torcidos, grosor uniforme, colores distintivos (azul, verde, amarillo, etc.) (Sartain, Wessel, & Sparks, 2021). Se registra en la tabla de observación el rango de tamaño, la forma, el color y la cantidad de las partículas microplásticas.

d. Análisis de datos

Las partículas recolectadas en cada muestra se promediaron con las recolectadas en la muestra duplicada. Se procesó la información a través de la prueba de normalidad y posterior Análisis de varianza (ANOVA) en el programa SPSS 23, para establecer la relación de la concentración y características de los microplásticos con las zonas de influencia de la cuenca del Río Rímac.

La prueba de normalidad es una evaluación estadística que se utilizó para determinar si la muestra de datos sigue una distribución normal. En base a ello, se tuvo que optar por la prueba de Shapiro-Wilk ya que se contaba con menos de 50 observaciones (Pedraza, Alcalá, Santa, & Treviño, 2021). La ecuación tiene el siguiente planteamiento:

Figura 17

Prueba de Shapiro – Wilk

$$W = \frac{\sum a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i)^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Nota: a_{n-i+1} = cuantiles esperados de x_i ; x_{n-i+1} = dato mayor de la muestra ordenada; x_i = dato menor de la muestra ordenada; x = dato de la muestra ordenada; \bar{x} = media de la muestra.

Elaborado por: Pedraza, Alcalá, Santa, & Treviño, 2021.

La hipótesis nula es que los datos siguen una distribución normal. La cual se acepta si $p > 0.05$.

Para las concentraciones de microplásticos en las diferentes zonas de influencia (urbana, agropecuaria, energética e industrial), se aplicó esta prueba. El cual al determinar el p-value > 0.05 se pudo proceder con un método paramétrico de análisis estadístico como es el análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, que se utiliza cuando se compara la media de un grupo con la media de dos o más grupos independientes. Este método nos ayuda a

responder preguntas como: "¿Existen diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de las concentraciones de las zonas de influencia?"

Figura 18

Planteamiento matemático ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Medias cuadráticas	Prueba F
Modelos	$\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	1	$\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{1}$	$\frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{1} \cdot \frac{1}{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$
Residuales	$\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$	n-2	$\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}$	
Total	$\sum (y_i - \bar{y})^2$	n-1		

las hipótesis que se plantean son típicamente dos:

Hipótesis Nula (H0): Esta hipótesis asume que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos. En términos estadísticos, establece que la variabilidad entre los grupos es igual a la variabilidad dentro de los grupos. Se expresa generalmente como:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k, \text{ donde } \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k \text{ son las medias de los grupos}$$

Hipótesis Alternativa (H1 o Ha): Esta hipótesis sugiere que hay al menos una diferencia significativa entre las medias de los grupos. En términos estadísticos, afirma que la variabilidad entre los grupos es mayor que la variabilidad dentro de los grupos. Puede expresarse como:

$$H_1: \text{al menos una } \mu_i \text{ es diferente, donde } \mu_i \text{ es la media de algún grupo específico.}$$

El objetivo del análisis de varianza es evaluar si hay evidencia suficiente en los datos para rechazar la hipótesis nula a favor de la hipótesis alternativa. Si se rechaza la hipótesis nula, se concluye que al menos un grupo tiene una media significativamente diferente de los demás.

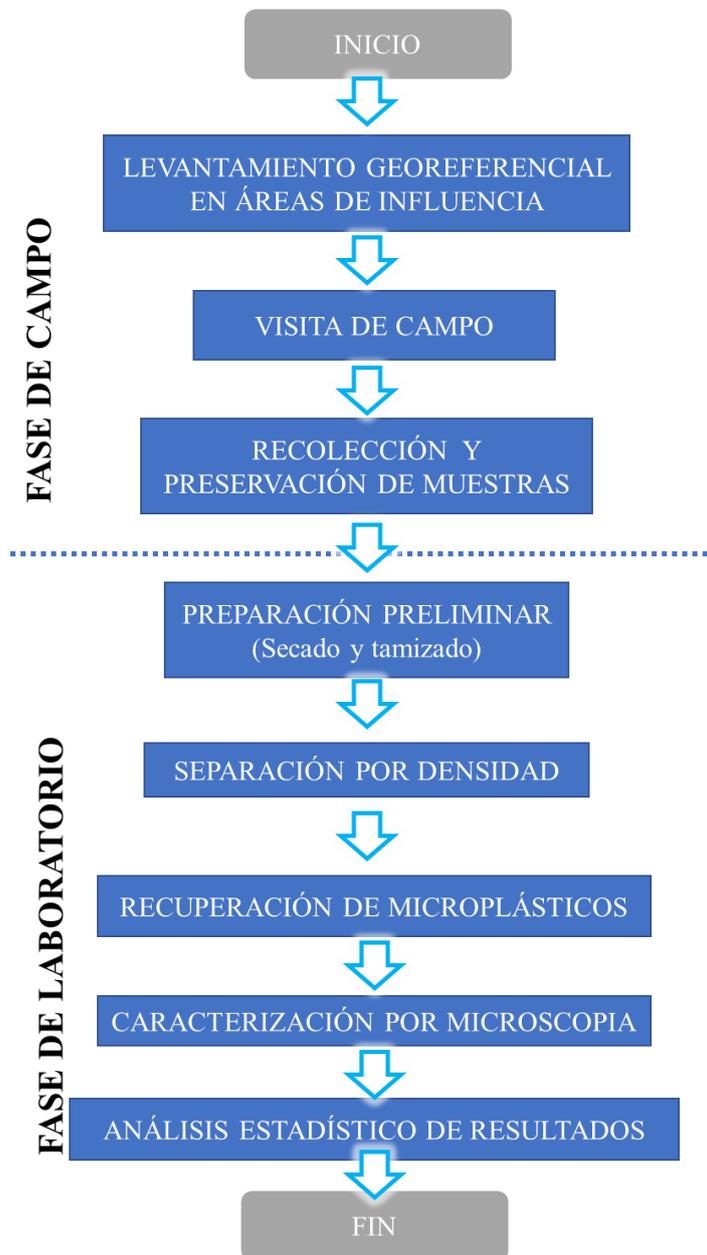
La hipótesis nula se rechaza si $p\text{-value} < 0.05$.

4.2.2. Pruebas realizadas

A continuación, en la Figura 19 se presenta de forma resumida los procesos involucrados en el desarrollo de la tesis:

Figura 19

Diagrama de flujo de la tesis



Nota: Elaboración propia.

El trabajo de investigación se dividió en 2 fases, la primera fase de campo que se realizó en el recorrido de la cuenca media y baja del río Rímac los días 12, 13 y 20 de agosto de 2023 y la segunda fase a nivel de laboratorio se desarrollaron del mes de setiembre a noviembre

del 2023 en las instalaciones del laboratorio de Química Ambiental de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, a excepción del proceso de preparación preliminar de tamizado el cuál se realizó en las instalaciones del laboratorio de Investigación y Desarrollo de la facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

FASE 1: FASE DE CAMPO

A continuación, se muestra la descripción y evidencias de las estaciones de muestreo detalladas en la Tabla 2.

ZONA DE INFLUENCIA DE ACTIVIDAD INDUSTRIAL

Estación EMI-1:

La estación de muestreo se caracteriza por ubicarse a 200 m de una bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad industrial con código 137554_AR_IN_001 identificado en el GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en el distrito de Ate y a 15 m del Puente Santa Clara, en la margen derecha.

Figura 20

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-1



Nota: (a) Bocatoma no mapeada encontrada en campo cercana al punto de muestreo (b) Descarga de aguas residuales a cauce del río Rímac (c) Bocatoma 137554_AR_IN_001. Elaboración propia.

Estación EMI-2:

La estación de muestreo se caracteriza por ubicarse a 1 km de una bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad industrial con código 137554_AR_IN_002 identificado en la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y a 200 m de Puente Inka Kola.

Figura 21

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-2



Nota: Puntos de descarga no mapeada encontrada en campo cercana al punto de muestreo.

Estación EMI-3:

La estación de muestreo se caracteriza por ubicarse a 20 m de una bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad industrial con código 137554_AR_IN_003 identificado en la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y a 10 m del Puente San Antonio de Padua.

Figura 22

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMI-3



Nota: (a) Bocatoma de descarga de aguas residuales (b) Vista del área de toma de muestras.

Elaboración propia

ZONA DE INFLUENCIA DE ACTIVIDAD ENERGÉTICA

Estación EME-1:

Estación de muestreo caracterizado por ubicarse a 1.5 km de la Central Hidráulica de Moyopampa y a 200 m de la bocatoma de descarga de aguas residuales de la actividad que se desarrolla en las instalaciones. El ingreso al punto de muestreo se encuentra al costado de la Centro Comercial “Alameda”.

Figura 23

Inmediaciones de la estación de monitoreo EME-1



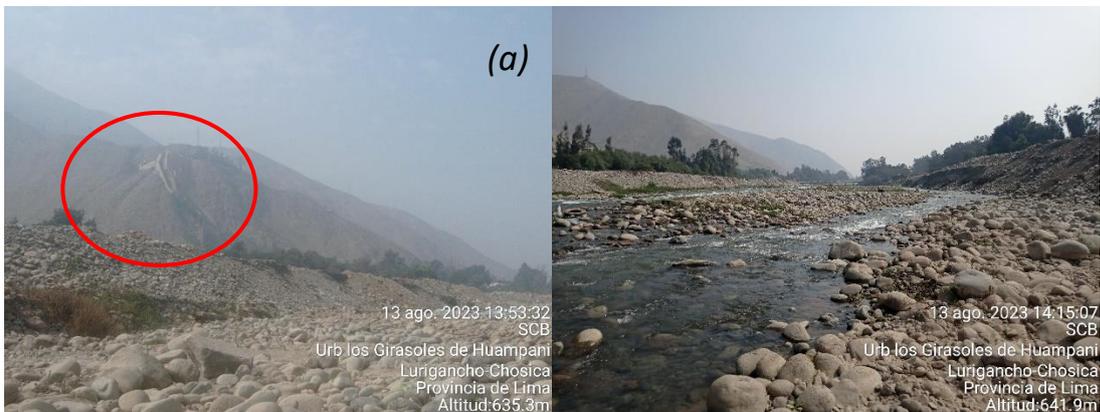
Nota: (a) Vista del área de toma de muestras. (b) Bocatoma de descarga de aguas residuales.
Elaboración propia.

Estación EME-2

El punto de monitoreo está caracterizado por ubicarse a 1 km de la Central Hidroeléctrica de Huampaní y a 600 m de la bocatoma de descarga de las aguas residuales de la actividad.

Figura 24

Inmediaciones de la estación de monitoreo EME-2



Nota: (a) Central Hidroeléctrica Huampaní (b) Vista del área de toma de muestras. Elaboración propia.

ZONA DE INFLUENCIA DE ACTIVIDAD AGROPECUARIA

Estación EMA-1

El punto de monitoreo está caracterizado por ubicarse en la quebrada seca de Huaycoloro, a 600 m de la bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad agropecuaria con código 137554_AR_AP_006 identificado en la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el cual está a 260 m de Puente Petramás.

Figura 25

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-1



Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Entorno del punto de muestreo. Elaboración propia.

Estación EMA-2

El punto de monitoreo está caracterizado por ubicarse en la quebrada seca de Huaycoloro, a 300 m corriente arriba de la bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad agropecuaria con código 137554_AR_AP_008 identificado en la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) el cual está a 800 m del paradero Cadena.

Figura 26

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-2



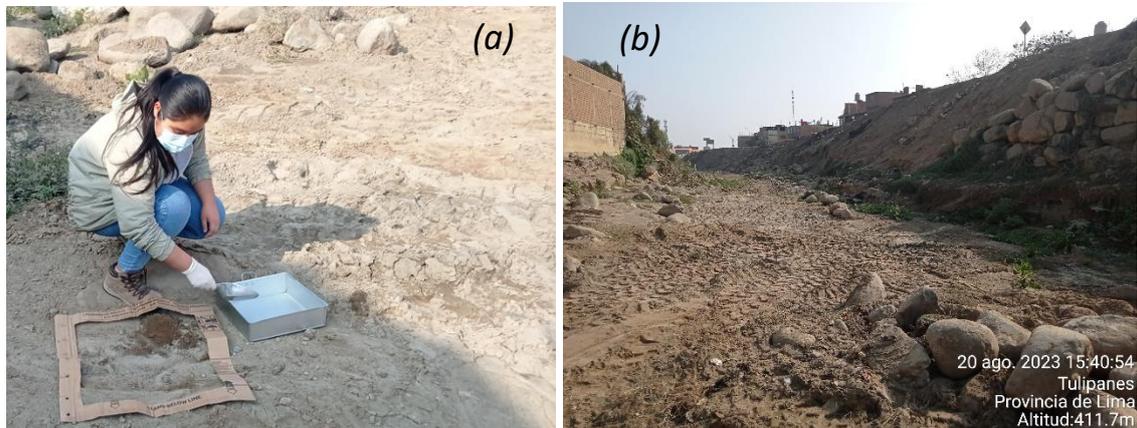
Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Entorno del punto de muestreo. Elaboración propia.

Estación EMA-3

El punto de monitoreo está caracterizado por ubicarse en la quebrada seca de Huaycoloro, a 400 m corriente abajo de la bocatoma de vertimiento de aguas residuales de la actividad agropecuaria con código 137554_AR_AP_008 identificado en la GeoDataBase de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y a la misma distancia de la calle Tulipanes.

Figura 27

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMA-3



Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Entorno del punto de muestreo. Elaboración propia.

ZONA DE INFLUENCIA URBANA

Estación EMD-1

El punto de monitoreo está caracterizado por ser un área destinada al lavado de ropa de los pobladores que residen en las zonas aledañas.

Figura 28

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-1



Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Área destinada al lavado de ropa
Elaboración propia.

Estación EMD-2

El punto de monitoreo está caracterizado estar ubicado a 200 m de la bocatoma de recepción de agua de la planta de tratamiento de agua potable La Atarjea. A la altura del Hito 25 de SEDAPAL.

Figura 29

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-2



Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Punto de referencia del área de toma de muestra. Elaboración propia

Estación EMD-3

El punto de monitoreo está caracterizado ser punto de descarga de aguas residuales domésticas y sus riberas depósito clandestino de residuos sólidos domésticos.

Figura 30

Inmediaciones de la estación de monitoreo EMD-3



Nota: (a) Vista del área de toma de muestras (b) Puntos de depósitos de residuos sólidos.

Elaboración propia

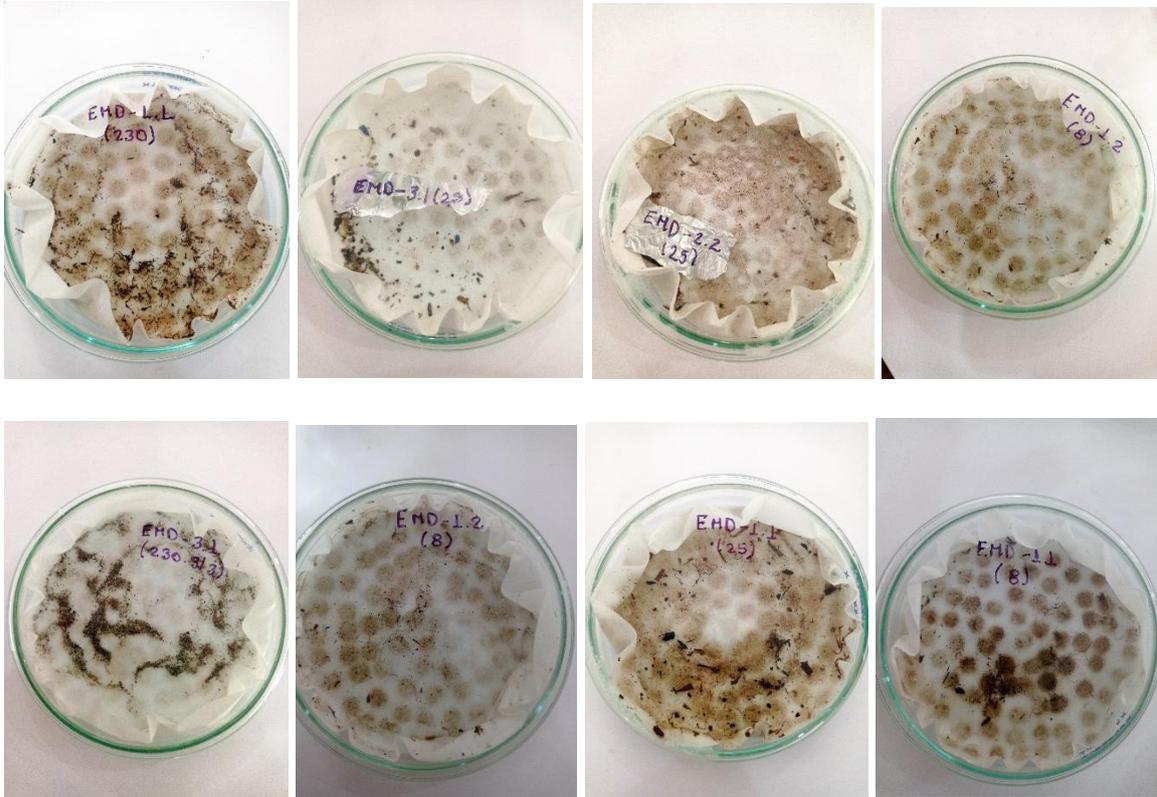
FASE 2: FASE DE LABORATORIO

La presente fase se desarrolló acorde a lo estipulado en el inciso 4.1.1.c) correspondiente al análisis de laboratorio.

La recuperación de microplásticos presentó inconvenientes relacionado a la presencia de materia orgánica, mayormente de origen vegetal, el cual generó que los filtros se saturen y tengan que ser subdivididos.

Figura 31

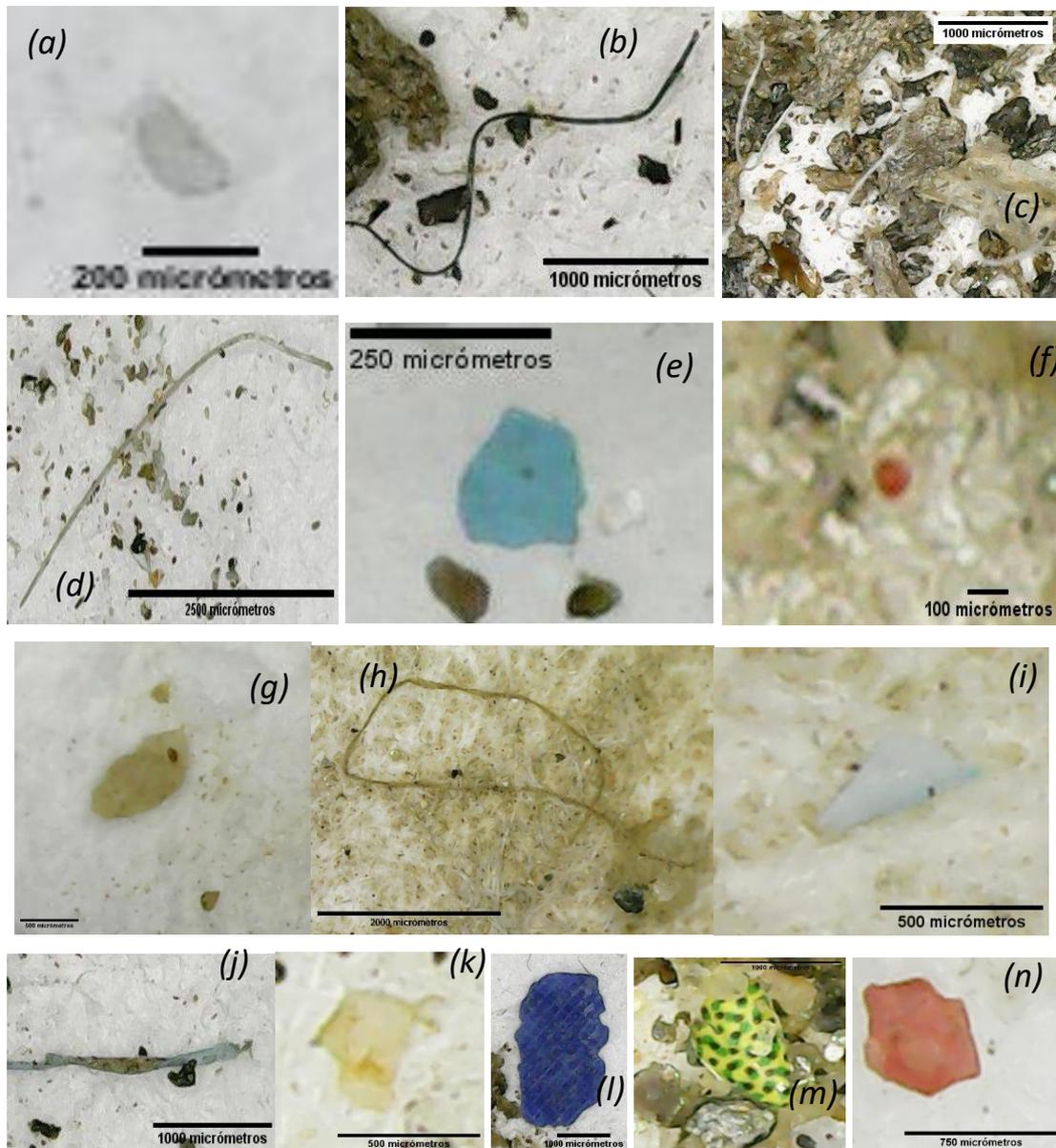
Recuperación de microplásticos por filtrado al vacío



En relación a la caracterización por microscopía, esta se realizó siguiendo los siguientes criterios para la determinación de forma y color de los microplásticos identificados:

Figura 32

Fotografías digitales de los microplásticos identificados



Nota: (a) MP de Tono blanco-transparente y fragmento (b) MP de Tono vivo-oscuro y filamento (c) MP de Tono blanco-transparente y filamento (d) MP de Tono claro-decolorido y filamento (e) MP de Tono vivo-oscuro y fragmento (f) MP de Tono vivo-oscuro y esfera (g) MP de Tono claro-decolorido y fragmento (h) MP de Tono vivo-oscuro y filamento (i) MP de Tono blanco-transparente y fragmento (j) MP de Tono claro-decolorido y filamento (k) MP de Tono vivo-oscuro y película (l) MP de Tono vivo-oscuro y fragmento (m) MP de Tono vivo-oscuro y fragmento (n) MP de Tono claro-decolorido y fragmento. Las fotografías se capturaron empleando el programa AMCap a través del Microscopio Digital USB U1600X.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población de estudio

Río Rímac

4.3.2. Selección y tamaño de la muestra

La selección de la muestra es No Probabilística intencional o de conveniencia (Hernández, Fernández y Baptista, 2014), en donde se seleccionan intencionadamente 3 puntos de monitoreo en cada zona de influencia. Con un peso de muestreo por punto establecido de 1 kg de sedimento, considerando además para el aseguramiento de la cantidad, muestras duplicadas.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la Tabla 3 se visualiza las técnicas a aplicar en el presente estudio acorde a cada fase que involucra:

Tabla 3.

Técnicas de recolección de datos

TECNICA	INSTRUMENTO	DESCRIPCION
Toma de muestras	Ficha de muestreo	Se registró la información obtenida, tales como, volumen de muestra, parámetros fisicoquímicos, entre otros
Levantamiento Georreferencial	ArcGis 10.4.1 Google Maps	Google Maps se emplea para la toma de coordenadas El ArcGis 10.4.1, se emplea para la compilación, análisis y salida de datos
Caracterización de microplásticos	Fichas de observación	Para la caracterización de muestras

4.5. Instrumentos de recolección de datos

Punto de muestreo	Codigo de muestra	Rango de tamaño	Peso de muestra seca (Kg)	Clasificación por forma				Clasificación por color			Recuento MP
				esfera	filamento	fragmento	película	Tonos blanco-transparentes	Tonos claros - decolorados	Tonos vivos - oscuros	
EMA-1	EMA-1.1	2360 µm – 3350 µm									
EMA-1	EMA-1.2	2360 µm – 3350 µm									
EMA-1	EMA-1.1	710 µm – 2360 µm									
EMA-1	EMA-1.2	710 µm – 2360 µm									
EMA-1	EMA-1.1	63 µm – 710 µm									
EMA-1	EMA-1.2	63 µm – 710 µm									
EMA-2	EMA-2.1	2360 µm – 3350 µm									
EMA-2	EMA-2.2	2360 µm – 3350 µm									
EMA-2	EMA-2.1	710 µm – 2360 µm									
EMA-2	EMA-2.2	710 µm – 2360 µm									
EMA-2	EMA-2.1	63 µm – 710 µm									
EMA-2	EMA-2.2	63 µm – 710 µm									
EMA-3	EMA-3.1	2360 µm – 3350 µm									
EMA-3	EMA-3.2	2360 µm – 3350 µm									
EMA-3	EMA-3.1	710 µm – 2360 µm									

4.6. Resultados

El análisis de los resultados de microplásticos encontrados en los sedimentos fluviales de la cuenca baja y media del río Rímac, se realizó considerando las siguientes categorías:

- Recuento por:
 - o Morfología
 - o Color
 - o Tamaño
- Concentración

Los resultados considerando las categorías mencionadas se presentan en el Anexo 3. Los cuales muestran registros de microplásticos (MP) de 4 zonas de muestreo (EMA, EMD, EME y EMI), 3 puntos de muestreo de cada una a excepción de la zona EME que solo tuvo 2, y muestras duplicadas por cada punto.

En la tabla 4 se muestran las cantidades globales por punto de muestreo:

Tabla 4

Recuento total de microplásticos por muestra

Zona de influencia	Punto de muestreo	Código de muestra	de Recuento MP
Zona de influencia de actividad agropecuaria	EMA-1	EMA-1.1	62
		EMA-1.2	66
	EMA-2	EMA-2.1	75
		EMA-2.2	57
	EMA-3	EMA-3.1	71
		EMA-3.2	31
Zona de influencia urbana	EMD-1	EMD-1.1	181
		EMD-1.2	137
	EMD-2	EMD-2.1	57
		EMD-2.2	61
	EMD-3	EMD-3.1	329
		EMD-3.2	361
Zona de influencia de actividad energética	EME-1	EME-1.1	72
		EME-1.2	64
	EME-2	EME-2.1	70
		EME-2.2	57
Zona de influencia industrial	EMI-1	EMI-1.1	49
		EMI-1.2	68
	EMI-2	EMI-2.1	92
		EMI-2.2	75
	EMI-3	EMI-3.1	113
		EMI-3.2	168
TOTAL			2316

El máximo registro fue de 329 MPs en el punto de muestreo EMD-3 y de 361 MP's identificados en su muestra duplicada, dicho punto de muestreo se encuentra ubicado en el Puente Malecón Checa, en el límite entre los distritos de San Juan de Lurigancho y El Agustino. El registro mínimo fue 71 MP's en el punto de muestreo EMA-3 y de 31 MP's identificados en su muestra duplicada, la ubicación de este punto es en la calle Los Tulipanes, en la quebrada seca del Huaycoloro del distrito de San Juan de Lurigancho.

Los microplásticos identificados fueron caracterizados en función de su color, forma y tamaño.

4.6.1. Recuento de microplásticos por Color

Los MP's de Tonos claros-decolorados se presentaron en mayor proporción a nivel global con un 67%. A nivel de zonas, los microplásticos de Tonos claros-decolorados identificados se evidenciaron en mayor proporción en la zona de influencia de actividad industrial representaron un 82%. Por el contrario, en la zona de influencia de actividad agropecuaria se presentó una mayor proporción de microplásticos de Tonos vivos – oscuros, representando un 49%.

Se presentaron en menor proporción los MP's de Tonos blanco-transparentes, el cual a nivel global represento un 12% y se presentaron casos en los que no se pudo identificar este color durante la caracterización por microscopía, como se evidencia en las muestras con rango de tamaño de 710 μm a 2360 μm de la zona de influencia de actividad industrial.

Tabla 5

Recuento de microplásticos por color y rango de tamaño

Zonas	Rango de tamaño	Clasificación por color					
		Tonos blanco-transparentes		Tonos claros - decolorados		Tonos vivos - oscuros	
		Cant. MP	%	Cant. MP	%	Cant. MP	%
Zona de influencia de	2360 μm – 3350 μm	11	9%	63	53%	46	38%
	710 μm – 2360 μm	3	3%	34	37%	56	60%
	63 μm – 710 μm	10	7%	64	43%	75	50%

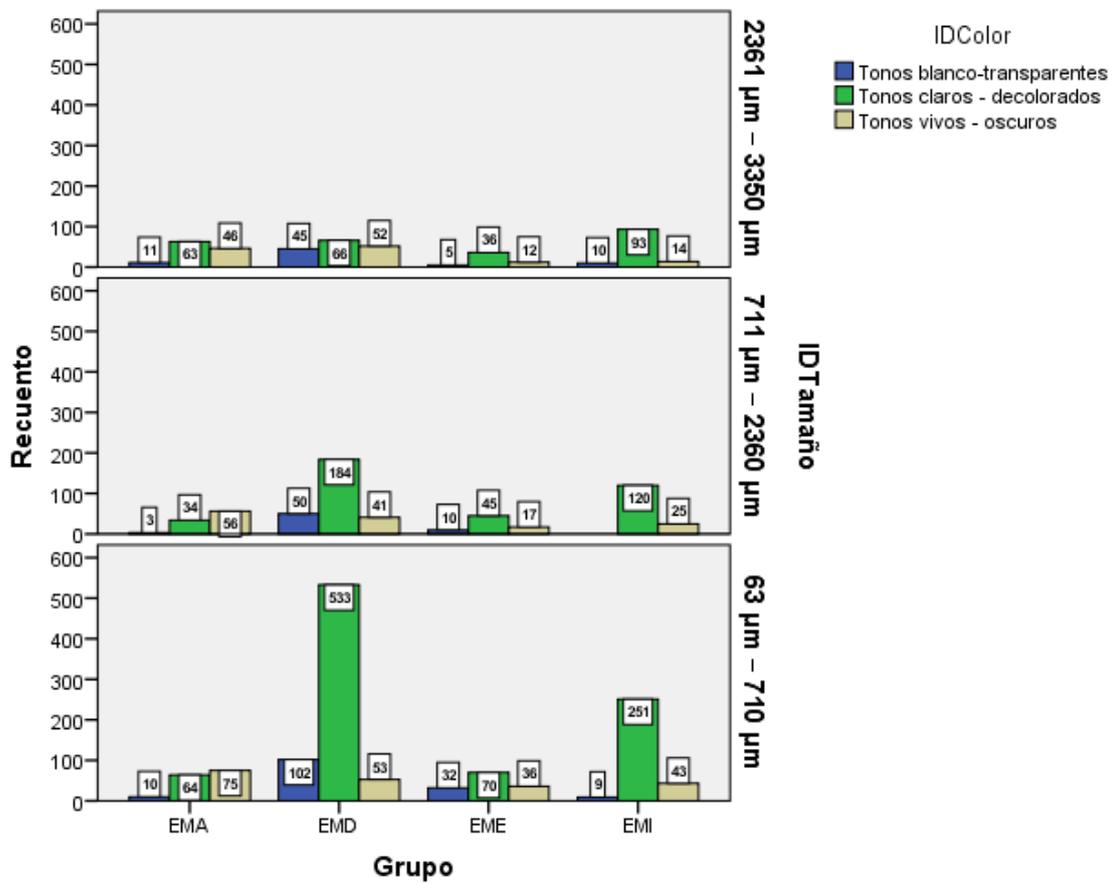
actividad
agropecuaria

Subtotal			24	7%	161	44%	177	49%
Zona	de	2360 μm – 3350 μm	45	28%	66	40%	52	32%
influencia	de	710 μm – 2360 μm	50	18%	184	67%	41	15%
urbana		63 μm – 710 μm	102	15%	533	77%	53	8%
Subtotal			197	17%	783	70%	146	13%
Zona	de	2360 μm – 3350 μm	5	9%	36	68%	12	23%
influencia	de	710 μm – 2360 μm	10	14%	45	63%	17	24%
actividad		63 μm – 710 μm	32	23%	70	51%	36	26%
energética								
Subtotal			47	18%	151	57%	65	25%
Zona	de	2360 μm – 3350 μm	10	9%	93	79%	14	12%
influencia	de	710 μm – 2360 μm	0	0%	120	83%	25	17%
actividad		63 μm – 710 μm	9	3%	251	83%	43	14%
industrial								
Subtotal			19	3%	464	82%	82	15%
Total general			287	12%	1559	67%	470	20%

A continuación, se muestra la representación gráfica de la Tabla 5:

Figura 33

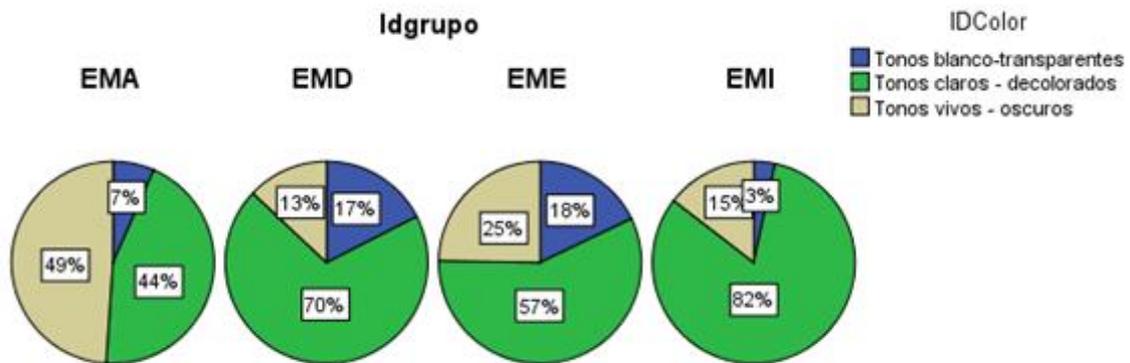
Recuento de microplásticos por color y rango de tamaño



Como se muestra en la figura 34, la mayor proporción de microplásticos de tono vivos-oscuros que se presenta en la zona de influencia de actividad agropecuaria puede deberse a que no presenta una exposición prolongada al ambiente, lo que puede evidenciar que la contaminación microplástica que se ha dado en esta zona es reciente a diferencia de las otras zonas de influencia.

Figura 34

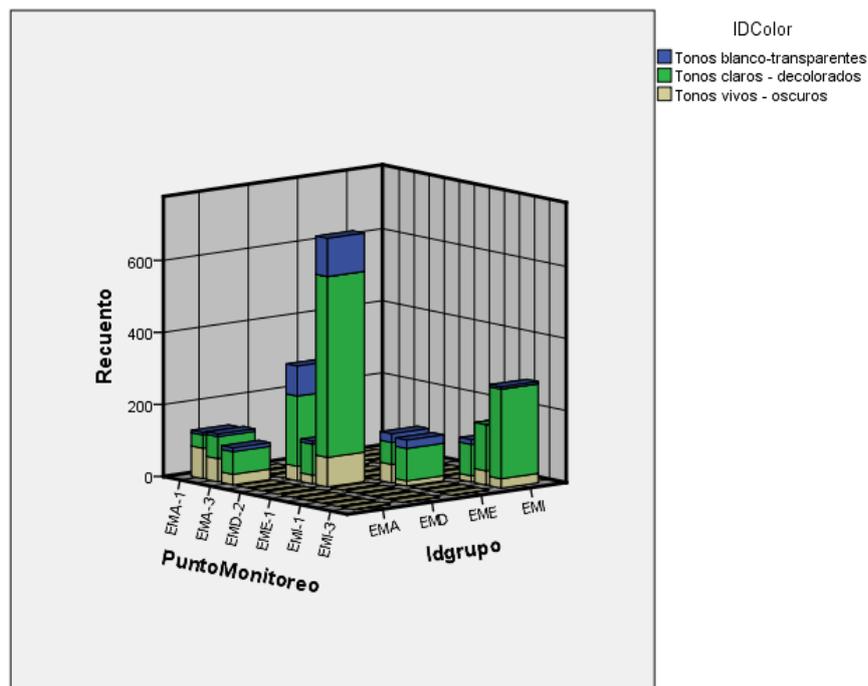
Proporción de microplásticos identificados por tipo de color



Para mayor detalle, en la figura 35 se evidencia la contribución de cada punto de muestreo a la zona de influencia correspondiente, evidenciándose que el punto de muestreo EMD-3 tuvo una mayor contribución a la proporción de microplásticos de Tonos claros-decolorados presentada en la Zona de Influencia Urbana, Y dándose el caso de que los puntos de muestreo EME-1 y EME-2 tuvieron una contribución equitativa.

Figura 35

Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo



4.6.2. Recuento de microplásticos por Forma

Los MP's en forma de Fragmento representaron la mayor proporción a nivel global (82%) y las formas de esfera y película a pesar de haber sido identificadas durante la caracterización por microscopía, no supusieron porcentaje alguno del global ya que la cantidad fue mínima (10 MP's con forma de esfera y 2 MP's con forma de película de un global de 2316 MP's).

A nivel de zonas, los microplásticos con forma de fragmento predominaron en la zona de influencia urbana, representando el 87% del total de MP's de esta zona y en menor proporción en la zona de influencia agropecuaria, representando un 68% del total de MP's de esta zona.

Los MP's en forma de película solo se presentaron en la zona de influencia de actividad agropecuaria en un rango de tamaño de 2360 μm – 3350 μm , representando el 2% de la muestra de dichas categorías.

Los MP's en forma de esfera se presentaron en las zonas de influencia agropecuaria, urbana y energética solo en rangos de tamaño de 63 μm – 710 μm y 2360 μm – 3350 μm , por el contrario, en la zona de influencia de actividad industrial no se logró identificar este tipo de MP durante la caracterización por microscopía.

Los MP's en forma de filamento tuvieron una mayor presencia (30%) en la zona de influencia de actividad agropecuaria a diferencia de las demás zonas.

Tabla 6

Recuento de microplásticos por forma y rango de tamaño

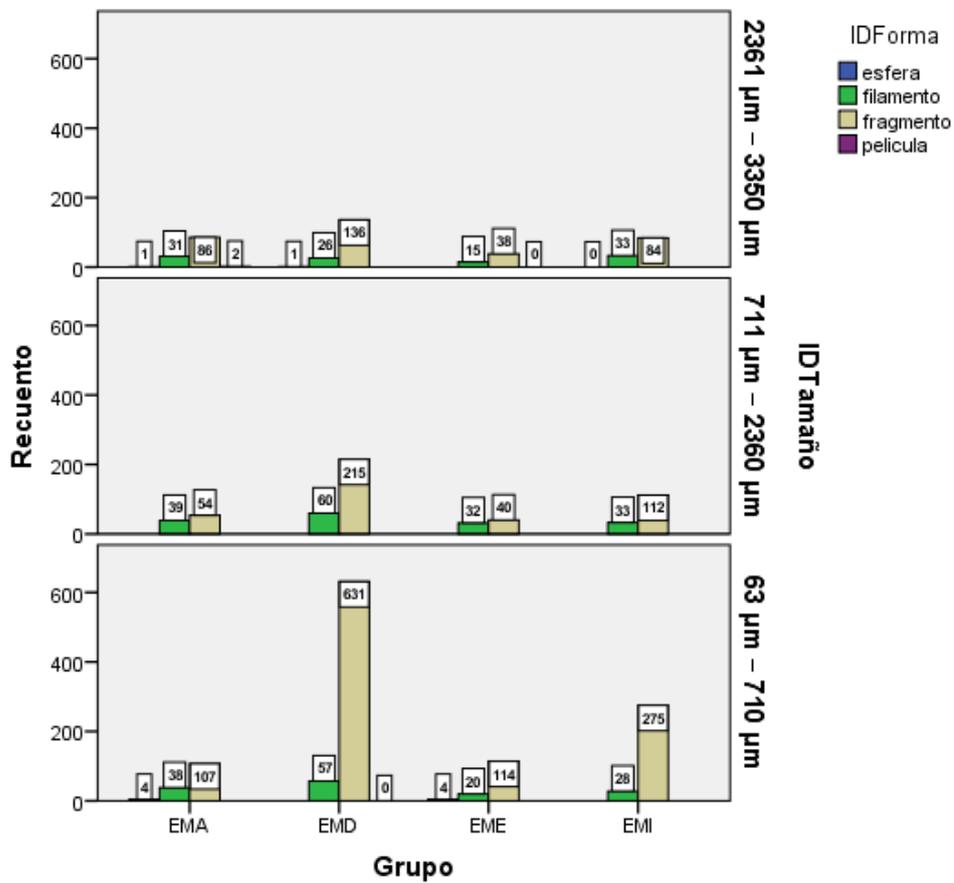
Zonas	Rango de tamaño	Clasificación por forma							
		Esfera		Filamento		Fragmento		Película	
		Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%
		MP		MP		MP		MP	
Zona de influencia de actividad agropecuaria	2360 μm – 3350 μm	1	1%	31	26%	86	72%	2	2%
	710 μm – 2360 μm	0	0%	39	42%	54	58%	0	0%
	63 μm – 710 μm	4	3%	38	26%	107	72%	0	0%
Subtotal		5	1%	108	30%	247	68%	2	1%

Zona de influencia urbana	2360 μm – 3350 μm	1	1%	26	16%	136	83%	0	0%
	710 μm – 2360 μm	0	0%	60	22%	215	78%	0	0%
	63 μm – 710 μm	0	0%	57	8%	631	92%	0	0%
Subtotal		1	0%	143	13%	982	87%	0	0%
Zona de influencia de actividad energética	2360 μm – 3350 μm	0	0%	15	28%	38	72%	0	0%
	710 μm – 2360 μm	0	0%	32	44%	40	56%	0	0%
	63 μm – 710 μm	4	3%	20	14%	114	83%	0	0%
Subtotal		4	2%	67	25%	192	73%	0	0%
Zona de influencia industrial	2360 μm – 3350 μm	0	0%	33	28%	84	72%	0	0%
	710 μm – 2360 μm	0	0%	33	23%	112	77%	0	0%
	63 μm – 710 μm	0	0%	28	9%	275	91%	0	0%
Subtotal		0	0%	94	17%	471	83%	0	0%
Total general		10	0%	412	18%	1892	82%	2	0%

A continuación, se muestra la representación gráfica de la Tabla 6:

Figura 36

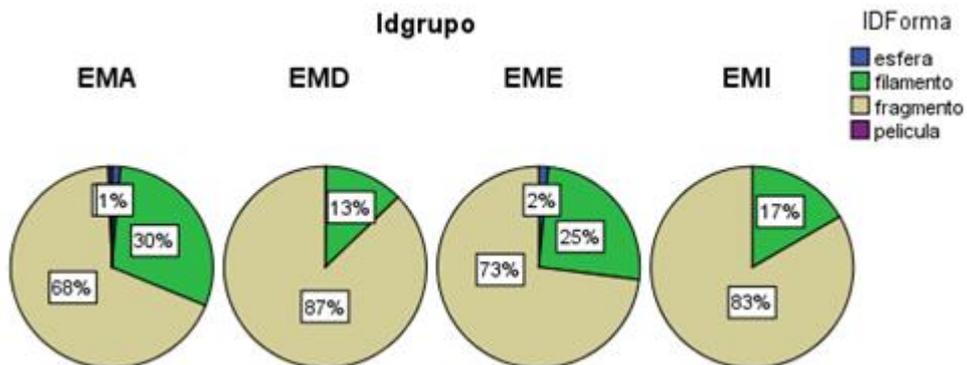
Recuento de microplásticos por forma y rango de tamaño



Como se muestra en la figura 37, la mayor proporción de microplásticos son en forma de fragmento, siendo en el caso de la zona de influencia de actividad urbana el 87% y la menor proporción en la zona de influencia de la actividad agropecuaria con un 68%.

Figura 37

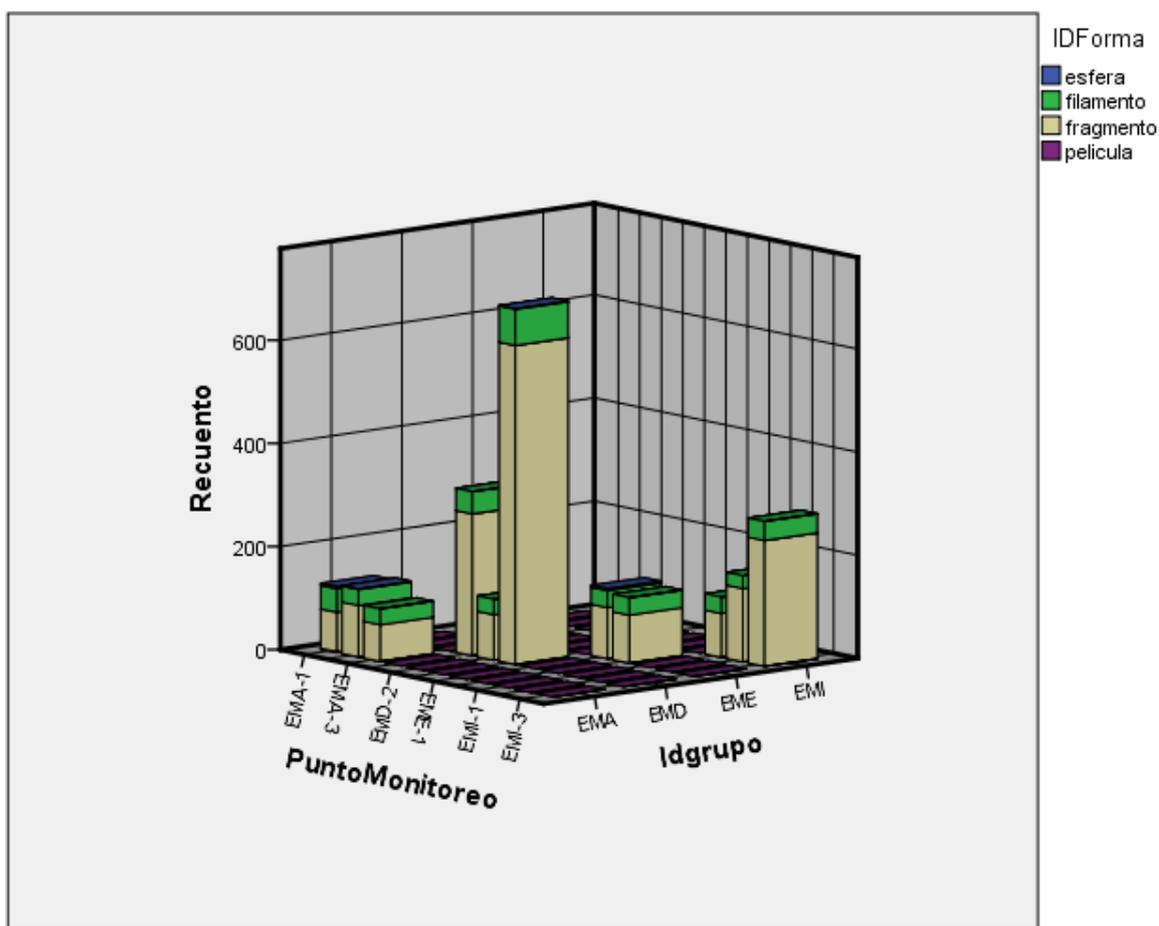
Proporción de microplásticos identificados por tipo de forma



Para mayor detalle, en la figura 38 se evidencia la contribución de microplásticos por cada tipo de forma por cada punto de muestreo a la zona de influencia correspondiente, evidenciándose que el punto de muestreo EMD-3 tuvo una mayor contribución a la proporción de microplásticos de forma de fragmento encontrados en la Zona de Influencia Urbana, Y dándose el caso de que los puntos de muestreo EME-1 y EME-2 tuvieron una contribución equitativa.

Figura 38

Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo



4.6.3. Recuento de microplásticos por Tamaño

Los MP's identificados en el rango de tamaño de 63 μm a 710 μm se presentaron en mayor proporción a nivel global, representando el 55%. A nivel de zonas, también los

microplásticos identificados en un rango de tamaño de 63 μm a 710 μm se encontraron en mayor proporción en la zona de influencia de urbana, representando un 61%. Por el contrario, en la zona de influencia de actividad agropecuaria se presentó una menor proporción de microplásticos en este rango de tamaño a diferencia de las demás zonas, representando un 41%.

Acorde a la caracterización por microscopía, se logra identificar en menor proporción a los MP's en el rango de tamaño de 2360 μm a 3350 μm , sobre todo en la zona de influencia urbana, donde solo el 14% de los MP's identificados en esta zona pertenecen a este rango.

Tabla 7

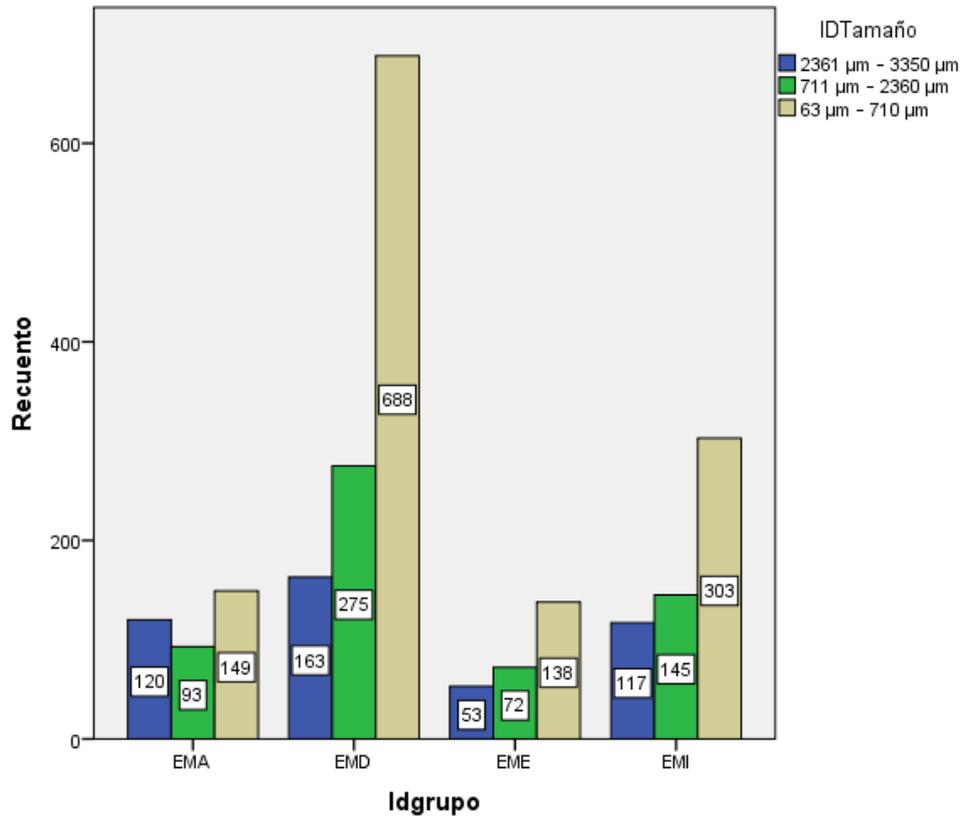
Recuento de microplásticos por rango de tamaño

Zonas	Clasificación por rango de tamaño						Totales por zona	
	2360 μm – 3350 μm		63 μm – 710 μm					
	Cant. MP	%	Cant. MP	%	Cant. MP	%	Cant. MP	%
Zona de influencia de actividad agropecuaria	120	33%	93	26%	149	41%	362	100%
Zona de influencia urbana	163	14%	275	24%	688	61%	1126	100%
Zona de influencia de actividad energética	53	20%	72	27%	138	52%	263	100%
Zona de influencia industrial	117	21%	145	26%	303	54%	565	100%
TOTAL	453	20%	585	25%	1278	55%	2316	100%

A continuación, se muestra la representación gráfica de la Tabla 7:

Figura 39

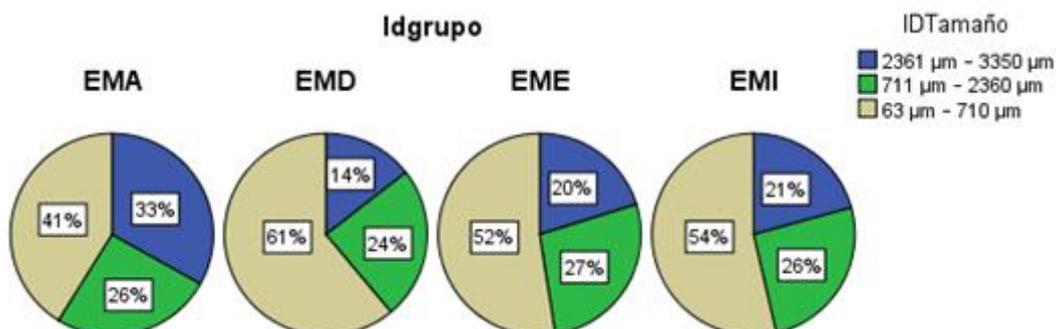
Recuento de microplásticos por rango de tamaño



Como se muestra en la figura 40, la mayor proporción de microplásticos se encuentran en el rango de tamaño de 63 µm a 710 µm, dándose el caso que en la zona de influencia de actividad urbana se presenta en una proporción de 61% y la menor proporción en la zona de influencia de la actividad agropecuaria con un 41%.

Figura 40

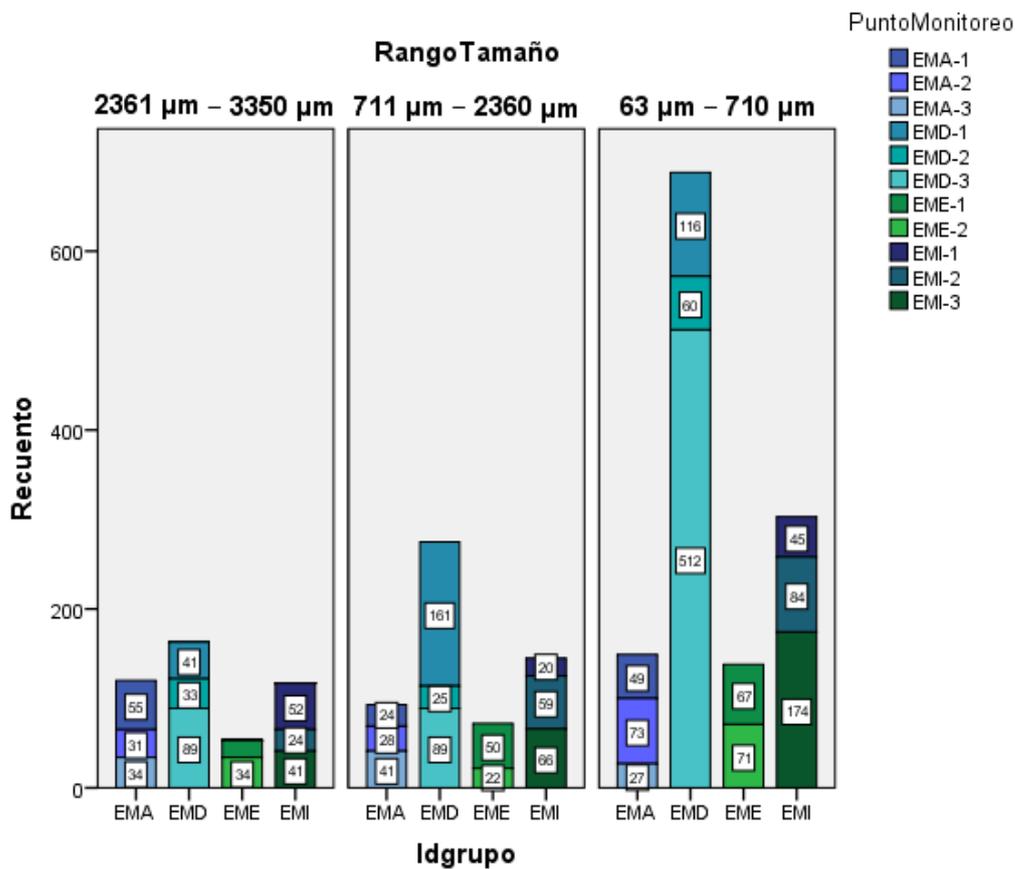
Proporción de microplásticos identificados por rango de tamaño



Para mayor detalle, en la figura 41 se evidencia la contribución de microplásticos por cada rango de tamaño por cada punto de muestreo a la zona de influencia correspondiente, evidenciándose que el punto de muestreo EMD-3 tuvo una mayor contribución a la proporción de microplásticos en el rango de tamaño de 63 μm a 710 μm identificados en la Zona de Influencia Urbana, Y dándose el caso de que los puntos de muestreo EME-1 y EME-2 tuvieron una contribución equitativa en este rango de tamaño.

Figura 41

Recuento de microplásticos por color y punto de muestreo



4.6.4. Concentración

A partir del recuento realizado durante la caracterización por microscopía se realiza un análisis de la media de las concentraciones de microplásticos identificados según su color, forma y tamaño. El cálculo se basa en la masa de sedimento seco (expresada en Kg.) de cada muestra tamizada.

- Concentración según color del microplástico

En la tabla 8 se muestra la media de las concentraciones calculadas por grupo de color y zona de influencia.

Tabla 8

Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según el color del microplástico

Zona de influencia	Grupo de color	Media	N	Desviación estándar
EMA	Tonos blanco-transparentes	13.7052	6	3.59206
	Tonos claros - decolorados	91.8150	6	48.45752
	Tonos vivos - oscuros	102.0550	6	48.61814
EMD	Tonos blanco-transparentes	97.9565	6	73.78187
	Tonos claros - decolorados	348.0043	6	182.55447
	Tonos vivos - oscuros	67.4329	6	32.97801
EME	Tonos blanco-transparentes	52.5771	4	29.28744
	Tonos claros - decolorados	171.8116	4	79.23566
	Tonos vivos - oscuros	67.2999	4	59.21677
EMI	Tonos blanco-transparentes	11.4757	6	15.59272
	Tonos claros - decolorados	212.0069	6	89.53892
	Tonos vivos - oscuros	37.7462	6	7.41645

Se determina en base a la Tabla 8 y figura 42 que la mayor concentración media de microplásticos de Tonos claros – decolorados se presenta en la zona de influencia urbana

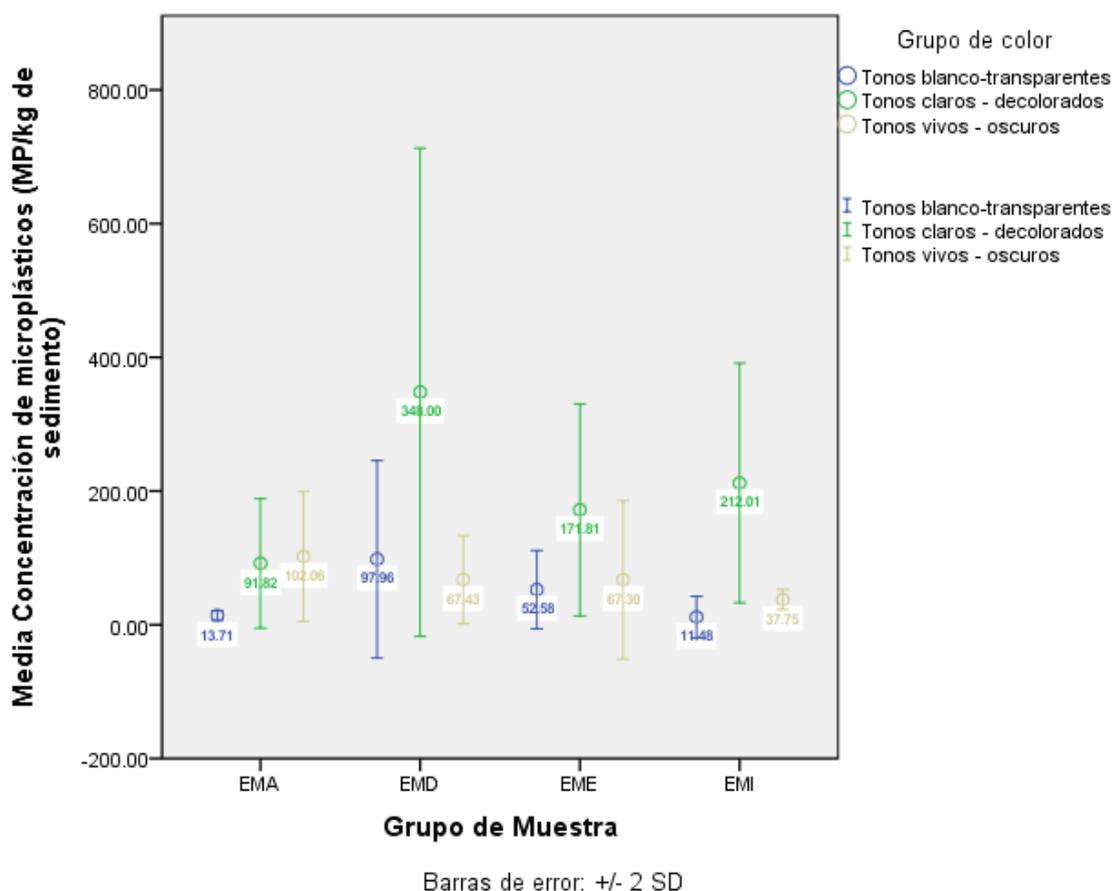
(348.0043 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad agropecuaria (91.81 MP's/kg de sedimento).

La mayor concentración media en tonos vivos-oscuros se presenta en la zona de influencia de actividad agropecuaria (102.01 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad industrial (37.75 MP's/kg de sedimento).

La mayor concentración media en tonos blancos-transparentes se presenta en la zona de influencia urbana (97.96 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad industrial (11.48 MP's/kg de sedimento).

Figura 42

Media de la concentración de MP's y desviación estándar (color)



- Concentración según la forma del microplástico

En la tabla 9 se muestra la media de las concentraciones calculadas por grupo de forma y zona de influencia.

Tabla 9

Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según forma del microplástico

Zona de influencia	Grupo de forma	Media	N	Desviación estándar
EMA	esfera	2.9038	6	4.09658
	filamento	62.0149	6	16.00562
	fragmento	141.4865	6	57.13253
	película	1.1701	6	2.86611
EMD	esfera	.3366	6	.82439
	filamento	68.4456	6	22.33462
	fragmento	444.6116	6	252.18167
	película	.0000	6	.00000
EME	esfera	3.9598	4	7.91954
	filamento	73.5239	4	26.69303
	fragmento	214.2049	4	65.27818
	película	.0000	4	.00000
EMI	esfera	.0000	6	.00000
	filamento	46.6919	6	20.18236
	fragmento	214.5369	6	90.43362
	película	.0000	6	.00000

Se determina en base a la Tabla 9 y figura 43 que la mayor concentración media de microplásticos con forma de fragmento que se presenta en la zona de influencia urbana (444.61 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad agropecuaria (141.49 MP's/kg de sedimento).

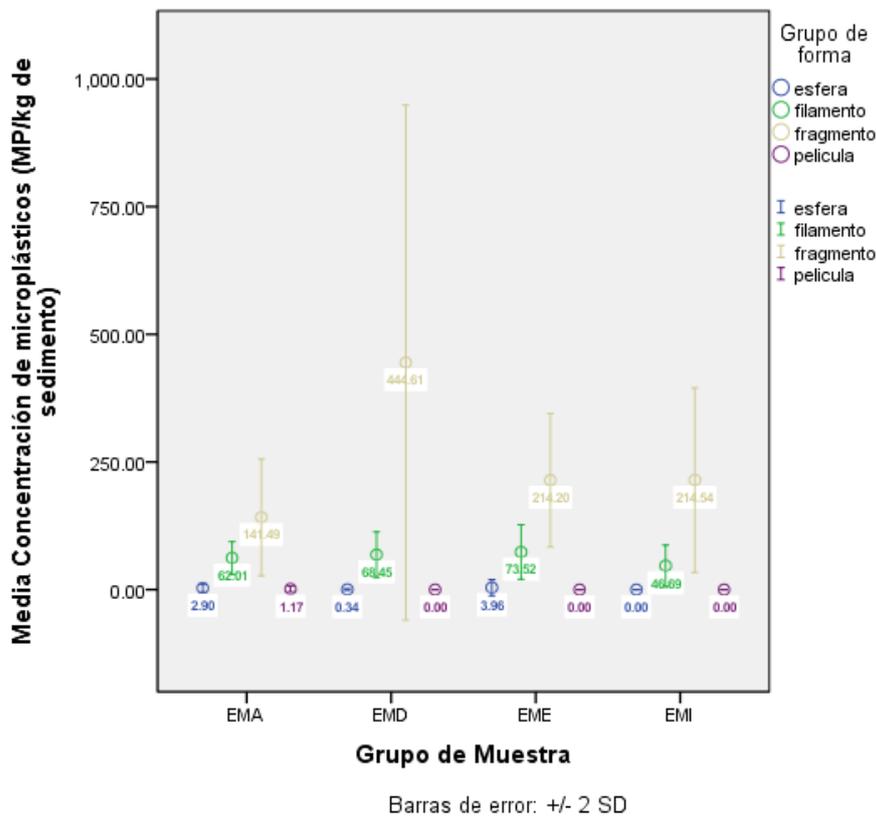
La mayor concentración media en microplásticos con forma de filamento se presenta en la zona de influencia de actividad energética (73.52 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad industrial (46.69 MP's/kg de sedimento).

La concentración media de microplásticos con forma de película en la zona de influencia de actividad agropecuaria fue de 1.17 MP's/kg de sedimento, no se puede establecer comparativa con otras zonas dado que fue la única en la que se identificaron esta forma de microplásticos.

La mayor concentración media en microplásticos con forma de esfera se presenta en la zona de influencia de actividad energética (3.96 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia urbana (0.34 MP's/kg de sedimento).

Figura 43

Media de la concentración de MP's y desviación estándar (forma)



- Concentración según el rango de tamaño del microplástico

En la tabla 10 se muestra la media de las concentraciones calculadas por grupo de tamaño y zona de influencia.

Tabla 10

Concentración de microplásticos (MP/kg de sedimento) según forma del microplástico

Grupo de Muestra	Grupo de Tamaño	Media	N	Desviación estándar
EMA	63 µm – 710 µm	114.0744	3	56.27761
	711 µm – 2360 µm	302.1306	3	201.33902

	2361 μm – 3350 μm	3593.7946	3	1592.05751
EMD	63 μm – 710 μm	257.3440	4	197.58131
	711 μm – 2360 μm	2693.2566	4	3194.91959
	2361 μm – 3350 μm	1816.9207	3	2630.21417
EME	63 μm – 710 μm	605.0119	6	1185.26392
	711 μm – 2360 μm	166.1311	6	74.55321
	2361 μm – 3350 μm	113.8213	6	87.54092
EMI	63 μm – 710 μm	86.2675	9	122.38700
	711 μm – 2360 μm	199.8609	9	84.01248
	2361 μm – 3350 μm	2124.1919	9	5841.84778

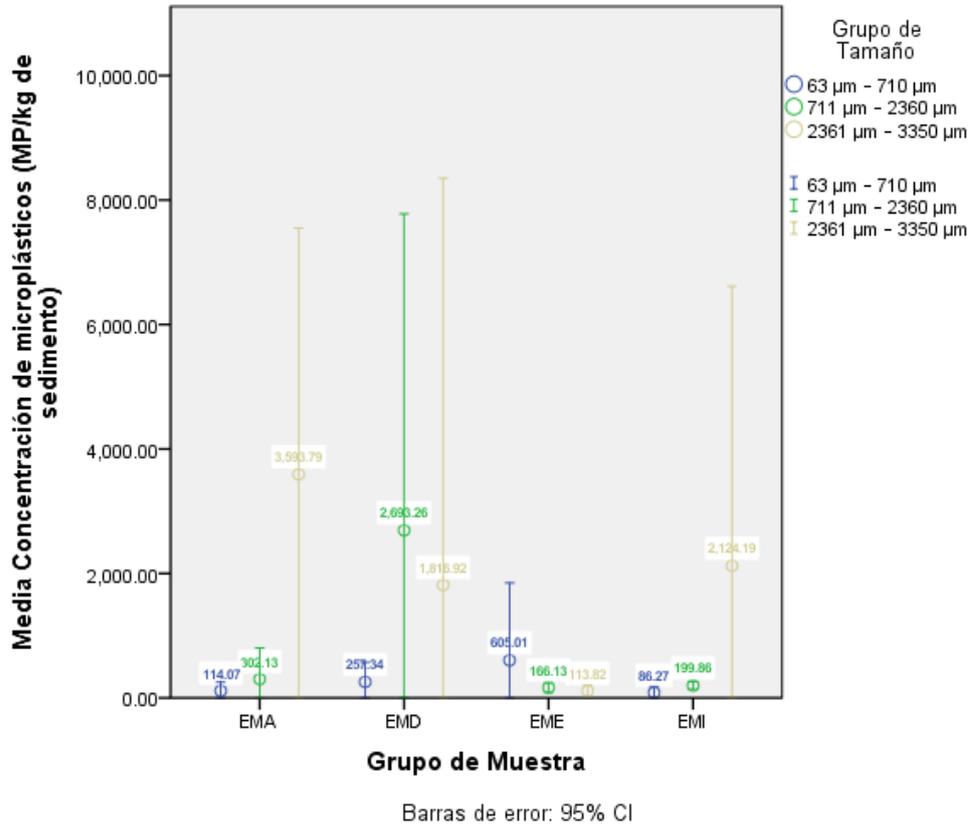
Se determina en base a la Tabla 10 y figura 44 que la mayor concentración media de microplásticos se presenta en el rango de tamaño de 2361 μm a 3350 μm en la zona de influencia de actividad agropecuaria (3593.79 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad energética (113.8213 MP's/kg de sedimento).

La mayor concentración media en microplásticos con rango de tamaño de 63 μm a 710 μm se presenta en la zona de influencia de actividad energética (605.01 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia de actividad industrial (86.27 MP's/kg de sedimento).

La mayor concentración media en microplásticos con rango de tamaño de 711 μm a 2360 μm se presenta en la zona de influencia urbana (2693.26 MP's/kg de sedimento) y la menor concentración media, en la zona de influencia energética (166.13 MP's/kg de sedimento).

Figura 44

Media de la concentración de MP's y desviación estándar (tamaño)



En base a la información recolectada, se determina además las concentraciones globales por cada zona de influencia, acorde al detalle que se presenta en la tabla 10

Tabla 11

Concentración total de microplásticos por zona de influencia

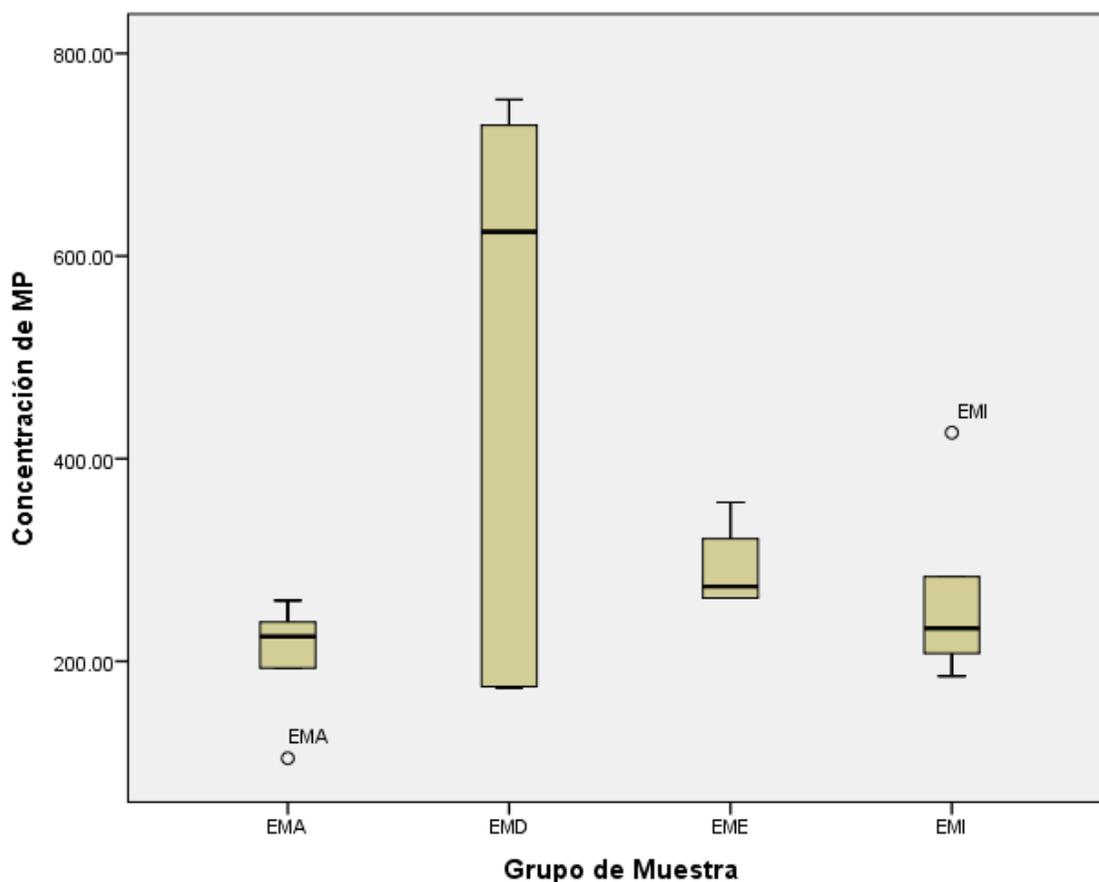
Zonas	Concentraciones totales por zona			
	N	Media ±DE	Min	Max
Zona de influencia de actividad agropecuaria	6	207.57 ±55.24	104.30	260.01
Zona de influencia urbana	6	513.39 ±269.23	173.88	754.48

Zona de influencia de actividad energética	4	291.68 ±44.77	262.34	356.89
Zona de influencia de actividad industrial	6	261.23 ±88.3	185.35	425.64
Total	22	320.91±188.58	104.30	754.48

Como se muestra en la tabla 11 y figura 45, la mayor concentración de microplásticos se presenta en la zona de influencia urbana, siendo esta de 513.39 ± 269.23 MP's/kg de sedimento seco, ello se debe a que las riberas del río que se pertenecen a esta zona generalmente son utilizados como depósitos no regulados de residuos sólidos domésticos, así como puntos de descarga de aguas residuales domésticas, con gran presencia de materiales plásticos (bolsas de un solo uso, envases descartables, entre otros).

Figura 45

Media de las concentraciones de microplásticos por zona de influencia



Para verificar la hipótesis de la presente investigación el cual indica que existe una distribución variable de microplásticos en los distintos puntos de monitoreo de sedimentos fluviales, se realizó en primer lugar la prueba de normalidad, para determinar si las concentraciones de cada zona de influencia cuentan o no con una distribución normal, de tal forma de identificar si se usaran pruebas paramétricas o no paramétricas en el análisis de medias de concentración. Los resultados de la prueba se muestran en la tabla 12:

Tabla 12

Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad

Grupo de Muestra	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Concentración de MP						
ZI Actividad agropecuaria	.239	6	.200*	.853	6	.166
ZI urbana	.266	6	.200*	.794	6	.052
ZI Actividad energética	.308	4	.	.786	4	.080
ZI Actividad industrial	.233	6	.200*	.832	6	.111

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Se optó por elegir la prueba de Shapiro – Wilk en vista que el análisis se realiza en menos de 50 elementos.

Como se muestra en la tabla 12, la prueba de Shapiro – Wilk otorga un valor de significancia (p-value) > 0.05 para las concentraciones de cada una de las zonas de influencia, lo que significa que se acepta la hipótesis nula de la prueba de normalidad, la cual refiere que los datos siguen una distribución normal.

En ese sentido, se pudo optar por una prueba paramétrica como método estadístico para examinar las diferencias en las medias de los cuatro grupos de investigación (zonas de influencia), el cual se realiza en base al análisis de varianza (ANOVA) de un factor:

Tabla 13

Modelo estadístico de ANOVA de un factor

ANOVA

Concentración de MP

	Suma cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	324156.149	3	108052.050	4.601	.015
Dentro de grupos	422686.333	18	23482.574		
Total	746842.481	21			

El análisis de varianza mostrado en la tabla 13, otorga un valor de significancia (p-value) < 0.05, lo que significa que al menos una de las medias de las concentraciones de las zonas de influencia no es igual por lo que se determina que existe diferencia estadística de concentraciones entre las medias de los grupos.

Para determinar la concentración media del grupo que presenta la condición de variación se debe realiza una prueba post-hoc. Para ello se emplea la prueba de Scheffe en vista que los grupos de muestra (zonas de influencia) no presentan el mismo tamaño

Los resultados de la prueba post hoc se muestran en la tabla 14:

Tabla 14

Prueba post hoc

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Concentración de MP

Scheffe

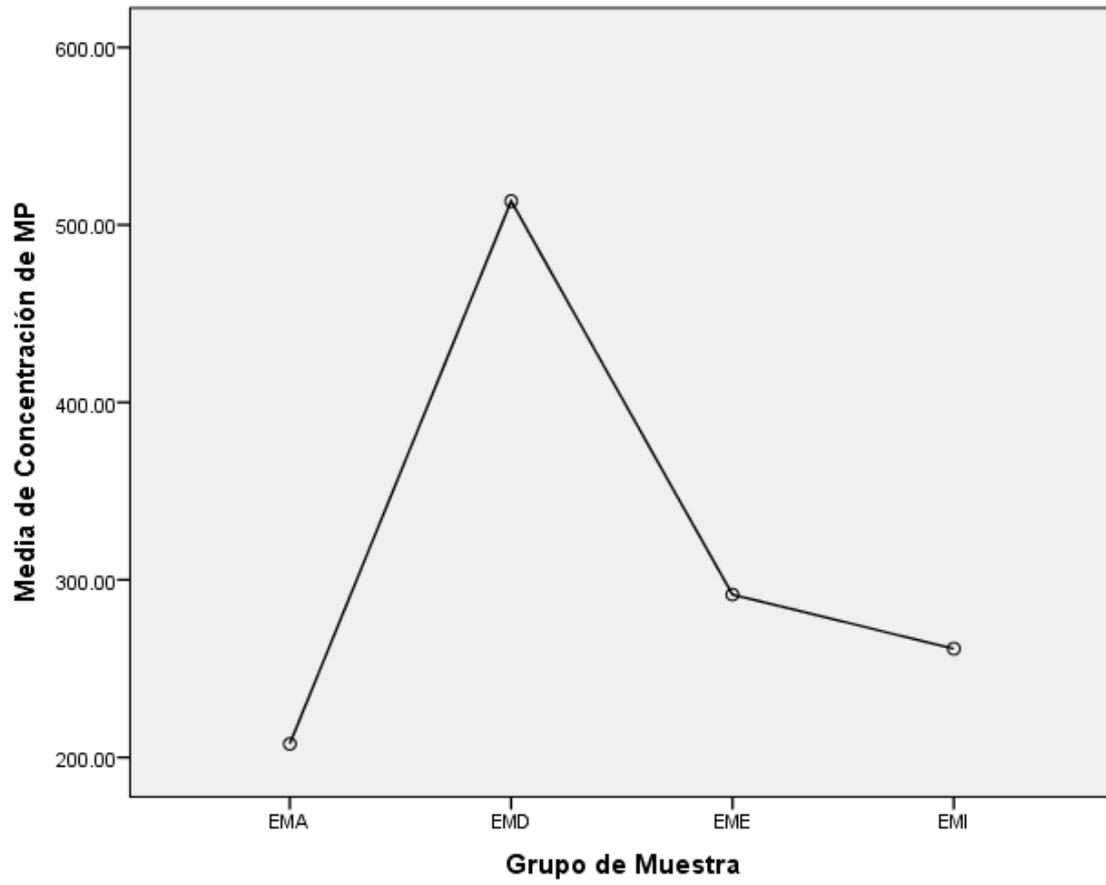
(I) Grupo de Muestra	(J) Grupo de Muestra	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EMA	EMD	-				
		305.81844	88.47330	.024	-578.2203	-33.4166
		*				
	EME	-84.10873	98.91616	.867	-388.6632	220.4458
	EMI	-53.65353	88.47330	.946	-326.0554	218.7483
EMD	EMA	305.81844	88.47330	.024	33.4166	578.2203
		*				
	EME	221.70971	98.91616	.208	-82.8448	526.2642
	EMI	252.16491	88.47330	.076	-20.2369	524.5668
EME	EMA	84.10873	98.91616	.867	-220.4458	388.6632
	EMD	-	98.91616	.208	-526.2642	82.8448
		221.70971				
	EMI	30.45520	98.91616	.992	-274.0993	335.0097
EMI	EMA	53.65353	88.47330	.946	-218.7483	326.0554
	EMD	-	88.47330	.076	-524.5668	20.2369
		252.16491				
	EME	-30.45520	98.91616	.992	-335.0097	274.0993

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Esta prueba determina que la media de las concentraciones de las zonas de influencia urbana y de actividad agropecuaria difieren significativamente, como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Media de las concentraciones de MP por grupo de muestra



5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Sobre la metodología empleada

En base a la recopilación de métodos de muestreo y procesamiento de microplásticos en sedimentos fluviales presentada por Adomat & Grischek (2021), se tuvo que omitir los métodos de digestión ya que, si bien optimiza las condiciones para la identificación de microplásticos al degradar la materia orgánica, por el tamaño de microplásticos y falta de evidencia en el tipo de polímeros presentes en las muestras podría resultar contraproducente al requerir que se empleen ácidos fuertes. Lo que corresponde a la técnica de separación por densidad, tal como se empleó en el estudio de Manrique (2019), se optó por usar cloruro de sodio en concentración de 99,0%, llegando a obtener una solución saturada con densidad de 1.216 g/ml para la identificación de plásticos de alto volumen de producción (PP, LDPE, HDPE, algunos PS).

5.2. Sobre las concentraciones de microplásticos

Los resultados obtenidos del análisis de microplásticos en los sedimentos fluviales de la cuenca baja y media del río Rímac ofrecen valiosa información sobre la distribución y características de estos contaminantes. Se abordaron distintas categorías, incluyendo morfología, color, tamaño y concentración.

Manrique (2019) menciona que en la época de estiaje se da un registro mayor de MPs en cada una de sus estaciones de evaluación por la influencia de descarga de efluentes, en especial, en las estaciones RM-5 y RM-7, en ese sentido el RM-7 se ubicó a 50 m aguas abajo del punto de muestreo EMD-3 de la presente investigación. Los MP's identificados por Manrique fueron 612 (A+B) en 600 g de sedimento (1020 MP's/kg de sedimento seco), los cuales fueron categorizados acorde a la forma en: 89 MP's con forma de película, 33 MP's con forma de filamento, 490 MP's en forma de fragmento, a diferencia que la concentración reportada para el punto de monitoreo EMD-3 fue de 698.02 MP's/kg de sedimento seco, categorizados acorde a la forma en: 0 MP's con forma de película, 70 MP's con forma de filamento, 619 MP's en forma de fragmento y 1 MP con forma de esfera.

En el libro de Rojo & Montoto (2017) mencionan que las concentraciones considerables de microplásticos se dan particularmente en áreas urbanas e industriales, dichos resultados coinciden con lo desarrollado en la presente investigación. al ser la zona de influencia urbana la que presenta una concentración media mayor a diferencia de las otras zonas de influencia.

Como menciona Zambrano (2022), la principal razón detrás de la descomposición de los materiales plásticos en el entorno se atribuye mayoritariamente a la exposición a la radiación ultravioleta (UV), un factor que facilita el proceso de degradación oxidativa. En el transcurso de esta reacción, los plásticos experimentan un fenómeno de decoloración, tornándose más frágiles y quebradizos. Este cambio en su estructura física los vuelve susceptibles a las fuerzas mecánicas externas, tales como la acción del viento, las olas, las actividades humanas y las mordeduras de animales, factores que pueden desencadenar su fragmentación en partículas más diminutas. Este fenómeno, a su vez, propicia un aumento en la superficie cubierta y en el número de partículas de microplásticos presentes en el entorno circundante. Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden y validan lo mencionado en vista que la concentración media mayor en las categorías de forma y color fueron fragmento y Tono claros-decoloridos, respectivamente.

6. CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN GENERAL

El análisis exhaustivo de la distribución de microplásticos en la cuenca baja y media del río Rímac ha revelado una realidad ambiental compleja y diversa. La investigación se centró en muestrear sedimentos fluviales durante la temporada de estiaje (agosto) del 2023, arrojando resultados que evidencian la presencia de los microplásticos y como sus concentraciones varían acorde a las fuentes contaminantes presentes en las distintas zonas de influencia de esta vital cuenca. La aplicación de un enfoque estadístico sólido, particularmente el análisis de varianza (ANOVA), fue fundamental para entender las disparidades en las concentraciones de microplásticos entre la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial. Los resultados demostraron, con significancia estadística, que no todos los grupos de muestra (zonas de influencia) de la cuenca comparten la misma carga de microplásticos. Con la prueba post hoc de Scheffe, se logró identificar que las diferencias significativas entre las medias de las concentraciones de microplásticos se presentan entre las zonas de influencia urbana y agropecuaria. Esta variabilidad subraya la necesidad de estrategias de gestión diferenciadas según la naturaleza específica de cada zona.

CONCLUSIÓN ESPECIFICA 1

La zona de influencia urbana exhibió la concentración más alta, siendo esta de 513.39 ± 269.23 MP's/kg de sedimento seco, destacando la importancia de la gestión de residuos sólidos en áreas urbanas para reducir la carga de microplásticos en el río. Contrariamente, la zona agropecuaria muestra concentraciones relativamente más bajas con una carga microplástica de 207.57 ± 55.24 MP's/kg de sedimento seco.

CONCLUSIÓN ESPECIFICA 2

La identificación de colores reveló que los tonos claros-decolorados fueron predominantes en todas las zonas, en donde si bien se evidencia una proporción más alta en la zona industrial con un 82% de presencia en las muestras de esta zona, la mayor concentración media de microplásticos de este color se presenta en la zona de influencia urbana con 348.0043 MP's/kg de sedimento. Esta observación podría estar relacionada con las actividades específicas en esta área. La zona agropecuaria muestra una proporción significativa de tonos vivos-oscuros con un 49% y también presenta la mayor concentración media de este color, siendo esta de 102.01 MP's/kg de sedimento, indicando posiblemente la entrada reciente de microplásticos en este entorno.

CONCLUSIÓN ESPECÍFICA 3

Las formas de fragmento fueron consistentemente las más abundantes en todas las zonas, representando entre el 68% y el 83% de los microplásticos identificados en cada zona, sugiriendo la presencia de residuos plásticos descompuestos. A nivel de concentración, los microplásticos en forma de fragmento se presentaron en mayor medida en la zona de influencia urbana con 444.61 MP's/kg de sedimento. La presencia mínima de microplásticos en forma de película (10 MP's identificados de un global de 2316 MP's) destaca su escasa contribución en comparación con otras formas.

CONCLUSIÓN ESPECÍFICA 4

Los microplásticos en el rango de tamaño de 63 μm a 710 μm prevalecieron en todas las zonas, evidenciando la fragmentación de plásticos más grandes. Sin embargo, la zona de influencia urbana muestra la mayor proporción en este rango con un 61%, lo que podría sugerir procesos de degradación únicos en esta área. Por el contrario, la mayor concentración media de microplásticos se presentó en el rango de 2361 μm a 3350 μm en la zona influencia de actividad agropecuaria con una carga microplástica de 3593.79 MP's/kg de sedimento, lo que apunta a posibles fuentes específicas de este tamaño en dicha área.

En conjunto, estos hallazgos subrayan la complejidad de la distribución de microplásticos en la cuenca del río Rímac y resaltan la importancia de abordar las fuentes de contaminación específicas en cada zona de influencia, no solo por las implicaciones ambientales, sino también por las posibles repercusiones en la salud humana y la biodiversidad acuática. La investigación continua en esta área es crucial para desarrollar e implementar estrategias efectivas de gestión y mitigación.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adomat, Y., & Grischek, T. (2021). Sampling and processing methods of microplastics in river sediments - A review. *Science of the Total Environment*, 758, 15.
- Agencia Sinc. (13 de Julio de 2023). *Noticias: Iagua*. Fonte: Un estudio mundial detalla la contaminación por microplásticos en lagos y embalses: <https://www.iagua.es/noticias/agencia-sinc/estudio-mundial-detalla-contaminacion-microplasticos-lagos-y-embalses>
- Andrady, A. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596-1605. doi:10.1016
- Arias, M., Klümper, U., Rojas, K., & Grossart, H. (2018). Microplastic pollution increases gene exchange in aquatic. *Environmental Pollution*, 237, 253-261.
- Augusto, T. (2022). *Microplásticos no rio Mondego – Variação sazonal*. Universidade NOVA de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa. Acesso em 7 de Julio de 2023, disponível em <https://run.unl.pt/handle/10362/147314>
- Autoridad Nacional del Agua. (2010). *Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac*. Acesso em 20 de 06 de 2023, disponível em <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/5>
- Beckman, E. (2018). *The world's plastic problem in numbers*. World Economic Forum.
- Bill, A., Gasser, M., Haarman, A., & Böni, H. (2019). *Procesamiento de plásticos de RAEE*.
- Congreso de la República. (2018). *Ley N.º 30884, Ley que Regula el Plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. Diario Oficial El Peruano. Obtenido de <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1724734-1>
- Congreso de la República. (2019). *Decreto Supremo N° 006-2019, Aprueban el Reglamento de la Ley N° 30884 Ley que regula el plástico de un solo uso y los recipientes o envases descartables*. El Peruano. Fonte: https://www.sbn.gob.pe/Repositorio/public/files/3-ds-n0-006-2019-minam-modifica-articulos-del-ds-n0-009-2009-2020-08-19_-1597874375.pdf
- Departamento Científico de Greenpeace. (25 de Agosto de 2016). *Inicio: Greenpeace*. Acesso em 30 de Julio de 2023, disponível em Plásticos en el pescado y el marisco: https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/Plasticos_en_el_pescado_y_el_mariscoLR.pdf

- Donoso, J. (2018). *Cuantificación de la presencia de microplásticos en la cuenca Alta del río Guayllabamba*. Tesis de titulación, Universidad de Las Américas, Facultad de ingeniería y ciencias aplicadas, Quito.
- Dris, R. (2016). *First assesement of sources and fate of macro and microplastics in urban hydrosystems : Case of Paris megacity*. Doctoral thesis, Université Paris-Est, Faculty of Environmental Science and Engineering, Paris.
- Duch, J. (22 de Noviembre de 2018). *Microplásticos: causas, efectos y soluciones*. Fonte: Noticias : Parlamento Europeo: https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/11/story/20181116STO19217/20181116STO19217_es.pdf
- Fimia, O. D. (2019). *Implicaciones de la exposición a microplásticos en la salud humana*. Granada.
- Garcés, O., Bayona, M., Castillo, V., & Rueda, R. (2018). Evaluación de impactos de microplásticos sobre el ecosistema de manglar en la ciénaga grande de Santa Marta. Em INVEMAR-MINAMBIENTE, *Cuarto Informe técnico. Convenio Interadministrativo 659 de 2017* (p. 374). Santa Marta.
- Genbo, E., Larsson, H., Tahara, R., & Tufenkji, N. (2019). Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environmental Science & Technology*.
- GESAMP. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment* (Vol. 90). (P. Kershaw, Ed.) IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection. Fonte: <http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90>
- Giedrè, B. (2019). *Effects of microplastics on organisms and impacts on the environment: Balancing the known and unknown*. University of Gothenburg, Department of Biological and Environmental Sciences, Sweden.
- Gonzalez, F. (2019). *Distribución y abundancia de microplásticos en cuencas Mediterráneas*. Universidad de Barcelona, Departamento de Biología Evolutiva, Ecología y Ciencias Ambientales, Barcelona. Acceso em 7 de Julio de 2023, disponível em https://www.ub.edu/fem/docs/treballs/TFM_FernandaGonzalez.pdf
- Greenpeace. (20 de Abril de 2018). *Greenpeace*. Fonte: Greenpeace: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/04/TOOLKIT-PLASTICOS-v3.pdf>

- He, B., Goonetilleke, A., Ayoko, G., & Rintoul, L. (2020). Abundance, distribution patterns, and identification of microplastics in Brisbane River sediments. *Science of The Total Environment*, 700, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134467>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). (M. Rocha, Ed.) México: Mc Graw Hill.
- Huanaco, R. (2019). *Diagnóstico de la presencia de microplásticos en sedimentos laterales en la cuenca baja del Río Rímac*. Tesis para optar el grado de Magister, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Acceso em 10 de Julio de 2023, disponível em <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19416>
- Hylton, L. (2017). *Microplastic pollution in Indiana's White river: an exploratory study*. Master thesis, Ball State University, Science Faculty, Muncie.
- Katz, C. (14 de Agosto de 2019). *Tiny pieces of plastic found in Arctic snow*. Fonte: sitio web de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/microplastics-found-in-arctic-snow/>
- Kim, J. S., Lee, H. J., Kim, S. K., & Kim, H. J. (2018). Global Pattern of Microplastics (MPs) in Commercial Food-Grade Salts: Sea Salt as an Indicator of Seawater MP Pollution. *Environmental Science & Technology*, 52(21), 12819-12828.
- Komlan, A., Perea, O., Sparks, C., & Opeolu, B. (2023). Spatio-temporal distribution of microplastics in water and sediment samples of the Plankenburg river, Western Cape, South Africa. *Environmental Pollution*, 323, 121303. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121303>
- Lacerda, S. (2022). *Evolução histórica da presença de microplásticos em sedimentos fluviais no alto curso do Rio Sorocaba , São Paulo*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista, São Paulo. Acesso em 14 de Julio de 2023, disponível em <http://hdl.handle.net/11449/238450>
- Lino, L. (2022). *Microplástico en el agua y sedimentos de los ríos Huallaga, Aucayacu y Sangapilla en la ciudad de Aucayacu*. Tesis de titulación, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Tingo María. Acceso em 11 de Julio de 2023, disponível em <https://hdl.handle.net/20.500.14292/2180>
- Lusher, A., Tirelli, V., O'Conno, I., & Officer, R. (2015). Microplastics in Arctic polar waters: The first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Scientific Reports*, 5(14947), 1-9.

- Maldonado, G., Aldana, D., & Labrada, V. (2022). Basura plástica en tortugas del Caribe. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 6.
- Mani, T., Hauk, A., Walter, U., & Burkhardt, P. (2015). Microplastics profile along the Rhine River. *Scientific Reports*, 5(17988), 1-7.
- Manrique, R. (2019). *Microplásticos sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del río Jequetepeque, Perú*. Tesis para optar el grado de magíster, Pontificia Universidad Católica del Perú, La Libertad. Recuperado el Julio de 2023, de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15030>
- Martínez, J., & Quispe, M. (2021). *Caracterización de Microplásticos en sedimentos fluviales de la cuenca baja y desembocadura del Río Lurín y Chillón, 2021*. Tesis de titulación, Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima. Acceso en 11 de Julio de 2023, disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73970>
- Melgarejo, G. (2022). *Microplásticos del agua y sedimento en relación con su acumulación en peces y crustáceos de la cuenca baja del río Lacramarca (Ancash, Perú)*. Tesis para optar el grado de magíster, Universidad Nacional de Santa, Nuevo Chimbote. Acceso en 11 de Julio de 2023, disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3917>
- MINAM. (16 de Septiembre de 2015). *Ministerio del Ambiente*. Fonte: Ministerio del Ambiente: <http://www.minam.gob.pe/menos-plastico-mas-vida/cifras-del-mundo-y-el-peru/>
- Mora, N., & Rojas, J. (2023). *Determinación de la composición y abundancia relativa de microplásticos en el Río Daule, sector Pascuales y La Aurora*. Trabajo de titulación, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Guayaquil. Acceso en 10 de Julio de 2023, disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/67217>
- Narváez, J., & Tipán, S. (2022). *Análisis de la calidad de agua y presencia de microplásticos en la parte alta media y baja del río Pumacunchi en la provincia de Cotopaxi, período 2022*. Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de ciencias agropecuarias y recursos naturales, Latacunga.
- OECD. (2022). *Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060*. Fonte: https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=1143_1143481-88j1bxuktr&title=Global-Plastics-Outlook-Policy-Scenarios-to-2060-Policy-Highlights

- Opitz, T. (2017). *Evaluación de los efectos de la contaminación con microplásticos, en el balance energético del recurso pesquero *Choromytilus chorus**. Tesis de maestría, Universidad de Chile, Programa de Gestión y Planificación Ambiental, Santiago.
- Oz, N., Kadizade, G., & Yurtsever, M. (2019). Investigation of heavy metal adsorption on microplastics. *Applied ecology and environmental research*, 17(4), 7301-7310.
- Pedraza, M., Alcalá, C., Santa, C., & Treviño, J. (2021). Criterio de validación de normalidad en muestras pequeñas; pruebas paramétricas o no paramétricas. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, 6.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Guía para inventarios de basura marina y microplásticos*. Panamá.
- Quispe, S. (2014). *Evaluación de la calidad de agua en los diferentes puntos de descarga de la cuenca del río Suchez*. Puno.
- Reyes, H., Vilorio, L., & Caballero, A. (2022). Contaminación marina por microplásticos en la península de Baja California. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 28-35.
- Rodríguez, J., Secaira, E., Lasch, C., H. S., Nakandakari, A., Benitez, S., . . . Vargas, S. (2013). *Planificación estratégica para la conservación en el esquema del Fondo de Agua para Lima y Callao*. Lima: The Nature Conservancy.
- Rojas, J., Loayza, L., & Cano, P. (2015). *Impacto de las actividades antrópicas sobre la calidad del agua de la subcuenca del río Shullcas – Huancayo – Junin*. Huancayo.
- Rojo, E., & Montoto, T. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Andalucía: Ecologistas en Acción.
- Sartain, M., Wessel, C., & Sparks, E. (2021). Microplastics: Sampling and processing guidebook. *Mississippi State University Extension Service*, 36. Fuente: Mississippi State University Extension Service: <http://extension.msstate.edu/sites/default/files/publications/publications/P3243.pdf>
- Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., Davis, A., Rowland, S., John, A., . . . Russell, A. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? *Science*, 304, 838. doi:10.1126/science.1094559
- Tintoré, B. (2016). *Abundancia y distribución de microplásticos y posibles impactos sobre el rorcual común (*Balaenoptera physalus*) en las costas del Garraf*. Tesis de grado, Universidad Central de Cataluña, Facultad de ciencia y tecnología, Vic.
- Toledo, A. (2019). *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano) plásticos en el medioambiente y en la biota marina*. Trabajo de fin de Master,

Universidad Nacional de Educación a Distancia, Departamento de Ciencias Analíticas.

United Nations Environment Programme. (2022). *Plastics in agriculture – an environmental challenge*. Nairobi: Foresight Brief 029.

Urgert, W. (2015). *Microplastics in the rivers Meuse and Rhine*. Master's thesis, Open University of Netherlands, Department of Science, Heerlen.

World Economic Forum. (2016). *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics*.
Fonte:
https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf

Zambrano, A. (2022). El impacto de microplásticos en organismos marinos. *Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 73(2), 58.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TITULO: Distribución de microplásticos en la Cuenca del río Rímac (zona baja y media) durante la temporada de estiaje, 2023

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General ¿De qué forma se distribuyen los microplásticos en la Cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje en el 2023?	Objetivo General: Analizar la distribución de los microplásticos en la cuenca del río Rímac con el fin de evidenciar las zonas de influencia que la afecten en mayor medida a través del muestreo de sedimentos fluviales realizados durante la temporada de estiaje del 2023.	Hipótesis General: Existe una distribución variable de microplásticos en los distintos puntos de monitoreo de sedimentos fluviales a realizarse en la cuenca del río Rímac durante la temporada de estiaje del 2023 siendo la zona de influencia urbana la que genera mayor afectación en la cuenca.	VARIABLE INDEPENDIENTE: Cuenca del río Rímac	Zona de influencia urbana	Densidad poblacional	Tipo de investigación: Aplicada
				Zona de influencia de actividad agropecuaria	Puntos de vertimientos	Nivel de investigación: Descriptiva
				Zona de influencia de actividad energética	Puntos de vertimientos	Diseño de la investigación: No experimental
				Zona de influencia industrial	Puntos de vertimientos	Enfoque de la investigación: Cuantitativo
Problema Específico 1: ¿Cuál es la concentración de microplásticos de las muestras de	Objetivo Específico 1: Calcular la concentración de microplásticos en las muestras de	Hipótesis Específica 1: La concentración de microplásticos en las muestras de sedimentos fluviales		Concentración	Cantidad de microplásticos por kilogramo de muestra seca de sedimento fluvial	Técnica: (1) Toma de muestras (2) Levantamiento Georreferencial (3) Caracterización de microplásticos Instrumentos:

<p>sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?</p>	<p>sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac</p>	<p>será mayor en la zona de influencia urbana en comparación con las zonas de influencia de actividad agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.</p>
--	---	---

VARIABLE
DEPENDIENTE:
Distribución de
microplásticos

(1) Fichas de muestreo
(2) ArcGis 10.4.1 /
Google Maps
(3) Fichas de
observación

Población:
44.15 km de la
Quebrada de Jicamarca
y 57.9 km del cauce
principal de Río Rímac

<p>Problema Específico 2: ¿Cuáles son los colores de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?</p>	<p>Objetivo Específico 2: Identificar mediante la técnica de observación, los colores de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac</p>	<p>Hipótesis Específica 2: Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac mostrarán una diversidad de colores</p>
--	---	---

Color

Tonos blanco-
transparentes

Tonos claros-
decolorados

Tonos vivos -
oscuros

Muestra:
12 puntos de muestreo
de Sedimentos
fluviales

Métodos de análisis de
datos:
Pruebas de correlación
Análisis de varianza
(ANOVA)
Interpolación espacial
(SIG)

<p>Problema Específico 3: ¿Cuáles son las formas de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?</p>	<p>Objetivo Específico 3: Identificar mediante la técnica de observación la forma de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.</p>	<p>Hipótesis Específica 3: Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac tendrán diversas formas, como fragmentos, fibras o partículas esféricas.</p>
<p>Problema Específico 4: ¿Cuál es el tamaño de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidas en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac?</p>	<p>Objetivo Específico 4: Determinar el tamaño de los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales obtenidos en la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac.</p>	<p>Hipótesis Específica 4: Los microplásticos presentes en las muestras de sedimentos fluviales de la zona de influencia urbana, agropecuaria, energética e industrial de la cuenca del río Rímac tendrán un rango de tamaño variado.</p>

Forma	Esfera
	Fragmento
	Película
	Fibra
Tamaño	2360 μm – 3350 μm
	710 μm – 2360 μm
	63 μm – 710 μm

Anexo 2. Glosario

1. Bien de base polimérica. Material compuesto por polímeros que pueden incluir otras sustancias para brindarle características particulares. (Congreso de la República, 2018, Ley 30884, p. 5)
2. Bioacumulación: Acumulación de sustancias contaminantes, como los microplásticos, en los tejidos de organismos a lo largo de su vida, especialmente en especies que ocupan un nivel alto en la cadena alimentaria.
3. Bioacumulación: Proceso por el cual los microplásticos y otros contaminantes se acumulan en organismos vivos a lo largo de la cadena alimentaria.
4. Concentración de microplásticos: Cantidad de partículas de microplásticos presentes en una muestra de sedimentos fluviales, que será determinada como parte de los objetivos de la investigación.
5. Contaminación ambiental: Introducción de sustancias o materiales perjudiciales en el medio ambiente, en este caso, la presencia de microplásticos en la cuenca del río Rímac.
6. Contaminantes emergentes: Sustancias químicas o partículas, como los microplásticos, que han sido recientemente reconocidas como contaminantes debido a su detección y efectos en el medio ambiente.
7. Cuenca del río Rímac: Área geográfica que abarca los territorios de la zona baja y media del río Rímac, donde se llevará a cabo la investigación sobre la distribución de microplásticos.
8. Cuencas hidrográficas: Áreas geográficas delimitadas por las divisiones topográficas donde todas las aguas de lluvia y corrientes fluyen hacia un río principal o lago, incluyendo su red de afluentes y arroyos.
9. Degradación: Proceso físico y químico por el cual los plásticos y microplásticos se descomponen en partículas más pequeñas debido a la exposición a factores ambientales, como la luz solar y el calor.
10. Efectos nocivos: Daños, impactos negativos o consecuencias perjudiciales causados por la presencia de microplásticos en el medio ambiente, la salud humana o la biodiversidad.
11. Efluentes: Desagües y residuos líquidos provenientes de fuentes industriales y urbanas que pueden transportar microplásticos hacia los cuerpos de agua.
12. Estiaje: Período de sequía o escasez de lluvias en una región, cuando los caudales de los ríos son bajos y las condiciones ambientales pueden influir en la distribución de microplásticos.

13. Gestión de residuos sólidos: Planificación, recopilación, tratamiento y disposición adecuada de los desechos sólidos generados por la actividad humana, incluyendo la correcta eliminación de plásticos y microplásticos.
14. Impacto ambiental: Efectos y consecuencias que la presencia de microplásticos y otros contaminantes tienen en los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad.
15. Microplásticos: Pequeñas partículas de plástico que miden generalmente menos de 5 milímetros de diámetro generados por producción intencionada (microplásticos primarios) o por fragmentación (microplásticos secundarios), los cuáles persisten en altas concentraciones, particularmente en ecosistemas acuáticos y marinos. (Congreso de la República, 2018, Ley 30884, p. 5)
16. Monitoreo ambiental: Proceso continuo y sistemático de recolección y análisis de datos para evaluar el estado y cambios en el medio ambiente, en este caso, para medir y seguir la presencia de microplásticos.
17. Monitoreo ambiental: Proceso de recopilación sistemática de datos para evaluar y controlar la calidad del medio ambiente, incluyendo la presencia de microplásticos en los ecosistemas acuáticos.
18. Polímeros: Moléculas de origen sintético o natural, compuestas por la repetición de unidades más pequeñas llamadas monómeros, que forman la estructura de los plásticos y microplásticos. (Congreso de la República, 2018, Ley 30884, p. 5)
19. Reserva hídrica: Fuentes de agua, como ríos y lagos, que abastecen de agua dulce a las comunidades y ecosistemas en una región, donde la presencia de microplásticos puede afectar su calidad y disponibilidad
20. Sedimentos fluviales: Partículas sólidas transportadas por el flujo de agua en un río, que se depositan en el lecho del río y sus alrededores y que serán muestreados para analizar la presencia de microplásticos.
21. Toxicidad: Capacidad de los microplásticos y otros contaminantes para causar daño o tener efectos nocivos en los organismos y el medio ambiente.
22. Zona de influencia de actividad agropecuaria: Área cercana a zonas agrícolas y ganaderas donde se recolectarán muestras de sedimentos fluviales para analizar la presencia de microplásticos.
23. Zona de influencia de actividad energética: Área cercana a instalaciones industriales y de generación de energía donde se llevarán a cabo muestreos para identificar la concentración de microplásticos.

24. Zona de influencia de actividad industrial: Área cercana a centros industriales donde se obtendrán muestras de sedimentos fluviales para analizar la presencia de microplásticos.

25. Zona de influencia urbana: Área cercana a asentamientos urbanos donde se realizarán los muestreos de sedimentos fluviales para determinar la concentración y distribución de microplásticos.

Anexo 3. Resultados de la caracterización por microscopía

Punto de muestreo	Código de muestra	Rango de tamaño	Peso de muestra seca (Kg)	Clasificación por forma				Clasificación por color			Recuento MP
				esfera	filamento	fragmento	película	Tonos blanco-transparentes	Tonos claros - decolorados	Tonos vivos - oscuros	
EMA-1	EMA-1.1	2360 µm – 3350 µm	0.01452	0	17	19	2	3	10	25	38
	EMA-1.2	2360 µm – 3350 µm	0.01204	0	1	16	0	1	10	6	17
	EMA-1.1	710 µm – 2360 µm	0.08492	0	6	6	0	0	2	10	12
	EMA-1.2	710 µm – 2360 µm	0.06933	0	6	6	0	1	3	8	12
	EMA-1.1	63 µm – 710 µm	0.18544	1	1	10	0	0	8	4	12
	EMA-1.2	63 µm – 710 µm	0.2038	3	15	19	0	2	4	31	37
EMA-2	EMA-2.1	2360 µm – 3350 µm	0.00388	0	2	12	0	0	9	5	14
	EMA-2.2	2360 µm – 3350 µm	0.00507	1	3	13	0	1	10	6	17
	EMA-2.1	710 µm – 2360 µm	0.06442	0	3	2	0	0	3	2	5
	EMA-2.2	710 µm – 2360 µm	0.06338	0	6	17	0	1	8	14	23
	EMA-2.1	63 µm – 710 µm	0.22015	0	12	44	0	4	19	33	56
	EMA-2.2	63 µm – 710 µm	0.22631	0	5	12	0	1	12	4	17
EMA-3	EMA-3.1	2360 µm – 3350 µm	0.00251	0	6	25	0	5	22	4	31
	EMA-3.2	2360 µm – 3350 µm	0.00397	0	2	1	0	1	2	0	3
	EMA-3.1	710 µm – 2360 µm	0.03225	0	7	15	0	0	13	9	22
	EMA-3.2	710 µm – 2360 µm	0.04486	0	11	8	0	1	5	13	19

	EMA-3.1	63 μm – 710 μm	0.2627	0	0	18	0	1	17	0	18
	EMA-3.2	63 μm – 710 μm	0.24839	0	5	4	0	2	4	3	9
EMD-1	EMD-1.1	2360 μm – 3350 μm	0.00418	0	4	9	0	6	4	3	13
	EMD-1.2	2360 μm – 3350 μm	0.00428	0	7	21	0	13	10	5	28
	EMD-1.1	710 μm – 2360 μm	0.01093	0	12	113	0	33	78	14	125
	EMD-1.2	710 μm – 2360 μm	0.01181	0	12	24	0	14	12	10	36
	EMD-1.1	63 μm – 710 μm	0.22479	0	5	38	0	4	33	6	43
	EMD-1.2	63 μm – 710 μm	0.21973	0	3	70	0	13	58	2	73
EMD-2	EMD-2.1	2360 μm – 3350 μm	0.03687	0	0	16	0	0	12	4	16
	EMD-2.2	2360 μm – 3350 μm	0.03057	0	4	13	0	0	14	3	17
	EMD-2.1	710 μm – 2360 μm	0.10099	0	2	11	0	0	12	1	13
	EMD-2.2	710 μm – 2360 μm	0.08352	0	12	0	0	0	8	4	12
	EMD-2.1	63 μm – 710 μm	0.18762	0	10	18	0	7	15	6	28
	EMD-2.2	63 μm – 710 μm	0.23672	0	2	30	0	1	25	6	32
EMD-3	EMD-3.1	2360 μm – 3350 μm	0.00039	0	9	44	0	24	26	3	53
	EMD-3.2	2360 μm – 3350 μm	0.00025	1	2	33	0	2	0	34	36
	EMD-3.1	710 μm – 2360 μm	0.01425	0	13	19	0	1	24	7	32
	EMD-3.2	710 μm – 2360 μm	0.01506	0	9	48	0	2	50	5	57
	EMD-3.1	63 μm – 710 μm	0.47866	0	18	226	0	35	194	15	244
	EMD-3.2	63 μm – 710 μm	0.4799	0	19	249	0	42	208	18	268
EME-1	EME-1.1	2360 μm – 3350 μm	0.01516	0	7	5	0	0	9	3	12

	EME-1.2	2360 μm – 3350 μm	0.0924	0	2	5	0	0	0	7	7
	EME-1.1	710 μm – 2360 μm	0.09045	0	10	6	0	0	8	8	16
	EME-1.2	710 μm – 2360 μm	0.13659	0	10	24	0	4	26	4	34
	EME-1.1	63 μm – 710 μm	0.14693	4	2	38	0	17	0	27	44
	EME-1.2	63 μm – 710 μm	0.01497	0	2	21	0	3	18	2	23
EME-2	EME-2.1	2360 μm – 3350 μm	0.11647	0	0	2	0	0	2	0	2
	EME-2.2	2360 μm – 3350 μm	0.02694	0	6	26	0	5	25	2	32
	EME-2.1	710 μm – 2360 μm	0.07721	0	6	4	0	5	4	1	10
	EME-2.2	710 μm – 2360 μm	0.16911	0	6	6	0	1	7	4	12
	EME-2.1	63 μm – 710 μm	0.00245	0	4	54	0	12	45	1	58
	EME-2.2	63 μm – 710 μm	0.02117	0	12	1	0	0	7	6	13
EMI-1	EMI-1.1	2360 μm – 3350 μm	0.00237	0	10	13	0	3	17	3	23
	EMI-1.2	2360 μm – 3350 μm	0.00057	0	2	27	0	7	22	0	29
	EMI-1.1	710 μm – 2360 μm	0.20905	0	3	6	0	0	5	4	9
	EMI-1.2	710 μm – 2360 μm	0.03498	0	7	4	0	0	7	4	11
	EMI-1.1	63 μm – 710 μm	0.02431	0	3	14	0	0	15	2	17
	EMI-1.2	63 μm – 710 μm	0.20421	0	7	21	0	3	21	4	28
EMI-2	EMI-2.1	2360 μm – 3350 μm	0.03015	0	5	9	0	0	9	5	14
	EMI-2.2	2360 μm – 3350 μm	0.02595	0	2	8	0	0	10	0	10
	EMI-2.1	710 μm – 2360 μm	0.17144	0	11	23	0	0	29	5	34
	EMI-2.2	710 μm – 2360 μm	0.11585	0	3	22	0	0	19	6	25

	EMI-2.1	63 μm – 710 μm	0.2406	0	3	41	0	0	34	10	44
	EMI-2.2	63 μm – 710 μm	0.26283	0	1	39	0	0	27	13	40
	EMI-3.1	2360 μm – 3350 μm	0.02764	0	12	6	0	0	14	4	18
	EMI-3.2	2360 μm – 3350 μm	0.02517	0	2	21	0	0	21	2	23
EMI-3	EMI-3.1	710 μm – 2360 μm	0.17397	0	2	17	0	0	17	2	19
	EMI-3.2	710 μm – 2360 μm	0.10174	0	7	40	0	0	43	4	47
	EMI-3.1	63 μm – 710 μm	0.23835	0	9	67	0	3	67	6	76
	EMI-3.2	63 μm – 710 μm	0.26779	0	5	93	0	3	87	8	98
Total											2316