UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

MICROPLASTICOS EN PRODUCTOS LIQUIDOS COMERCIALIZADOS EN RECIPIENTES PLASTICOS DE VENTA AMBULATORIA EN JULIACA, 2025.

Dialdin Lizbeth Puma Puma

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Cesar Julio Larico Mamani

Juliaca – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

MICROPLASTICOS EN PRODUCTOS LIQUIDOS COMERCIALIZADOS EN RECIPIENTES PLASTICOS DE VENTA AMBULATORIA EN JULIACA, 2025.

Dialdin Lizbeth Puma Puma

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Cesar Julio Larico Mamani

Juliaca - 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

MICROPLASTICOS EN PRODUCTOS LIQUIDOS COMERCIALIZADOS EN RECIPIENTES PLASTICOS DE VENTA AMBULATORIA EN JULIACA, 2025.

Dialdin Lizbeth Puma Puma

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO

AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesor: Dr. Cesar Julio Larico Mamani

Juliaca, 2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Puma Puma. D. (2024). *Microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en Juliaca, 2025.* ([Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

Autor: Dialdin Lizbeth Puma Puma

Título: Microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en Juliaca, 2025.

Publicación: Juliaca, 2026.

Descripción: Cantidad de páginas (081 páginas).

Nota: Tesis – Escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

Código: 01-000090-01/P96

Nota: Incluye bibliografía.

Asesor: Dr. Cesar Julio Larico Mamani

Palabras clave: Productos líquidos, microplásticos, plásticos, toxicidad.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

MICROPLÁSTICOS EN PRODUCTOS LÍQUIDOS COMERCIALIZADOS EN RECIPIENTES PLÁSTICOS DE VENTA AMBULATORIA EN JULIACA, 2025.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. Dialdin Lizbeth Puma Puma

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

M. Sc. Brandon Hernan Cuadros Amanqui

PRESIDENTE DE JURADO

Dr. Percy Fredy Quilla Coila

JURADO (secretario)

2° MIEMBRO

M. Sc. Hector Hugo Añamuro Luque

JURADO (Vocal)

3° MIEMBRO

Dr. Cesar Julio Larico Mamani

ASESOR DE TESIS

Dialdin Lizbeth Puma Puma

MICROPLASTICOS EN PRODUCTOS LIQUIDOS COMERCIALIZADOS EN RECIPIENTES PLASTICOS DE VENTA ...

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:643610559

Fecha de entrega
23 oct 2026, 4:05 p.m. GMT-5

Fecha de descarga
23 oct 2026, 4:09 p.m. GMT-5

Nombre del archivo
INFORME FINAL 4 f.pdf

Tamaño del archivo
2.2 MB

84 páginas

24.514 palabras

138.771 caracteres

Firmado digitalmente por AQUINO LARICO Elmer Rodrigo FAU 20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.10.2026 16:11:15 -05:00

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

7% Fuentes de Internet
1% Publicaciones
6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
Firmado digitalmente por AQUINO LARICO Elmer Rodrigo FAU 20448261272 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 23.10.2026 16:11:38 -05:00

DEDICATORIA

A Dios, autor de mi vida y fortaleza de mi alma, por ser la luz que guió mi esfuerzo y la mano que me sostuvo en cada momento de duda hasta alcanzar este sueño.

A mis padres, Leonidas y Ceferino, por su apoyo incondicional y por formarme con su firme ejemplo de perseverancia y constancia. Gracias a su esfuerzo y amor hoy veo cumplida esta meta.

A mis hermanos Guillermo, Jhon y Rossmery, cuya presencia, palabras de aliento y constante apoyo fueron fundamentales para culminar esta tesis. Gracias por estar siempre a mi lado y hacerme sentir tan orgullosa.

A Sergio, por convertirse en el pilar incondicional que me mantuvo de pie cuando las fuerzas flaqueaban y parecía que iba a desistir. Gracias por sostener mi fe y acompañarme con paciencia en cada momento difícil.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo representa el cierre de una etapa llena de aprendizajes, retos y crecimiento personal. No habría sido posible llegar hasta aquí sin las personas extraordinarias que me acompañaron en el camino.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, por darme la oportunidad de formarme académicamente en el campo que me apasiona.

A mi familia, mi mayor refugio y motor. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus palabras de aliento y por estar siempre presentes en cada paso. A mi novio Sergio, por su paciencia en los momentos de mayor presión, su escucha atenta y su apoyo incondicional durante todo este proceso.

A mi docente tutor(a), Dr. Julio Cesar Larico Mamani, por su generosidad al compartir su experiencia, su constante disposición y por guiar este trabajo con rigor y empatía. A todos los que, de una u otra forma, sumaron para que este sueño se hiciera realidad: gracias.

A las autoridades de la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarme las facilidades de la infraestructura universitaria para la ejecución de la Tesis, así como el personal administrativo que labora en universidad.

A los miembros del jurado por las revisiones y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo experimental y redacción para el enriquecimiento de esta investigación - Tesis.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **i**
AGRADECIMIENTO ..... **ii**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **v**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **v**
ÍNDICE DE ANEXOS ..... **vi**
ACRÓNIMOS ..... **vii**
RESUMEN **8**
ABSTRACT **9**
INTRODUCCIÓN **10**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema 11
1.1.1 Problema general 13
1.1.2 Problemas específicos 13
1.2 Objetivos de la investigación 13
1.2.1 Objetivo general 13
1.2.2 Objetivos específicos 13
1.3 Justificación de la investigación 14

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación 15
2.1.1 Antecedentes internacionales 15
2.1.2 Antecedentes nacionales 17
2.2 Bases teóricas 19
2.2.1. Plásticos 19
2.2.2. Macroplásticos 21
2.2.3. Microplásticos 22
2.2.4. Propiedades de microplásticos 23
2.2.5. Clasificación y fuentes 23
2.2.6. Dinámica ambiental de los microplásticos 24
2.2.7. Microplásticos en bebidas 25
2.2.8. Presencia en agua 25

2.2.9. Contaminación en envases 26
2.2.10. Riesgos de los microplásticos para la salud humana 27
2.2.11. Mecanismos de toxicidad 27
2.2.12. Efectos fisiológicos conocidos 28
2.2.13. Evaluación del riesgo 28

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación 30
3.2 Técnicas e instrumentos 30
3.3 Materiales e instrumentos 30
3.4 Ámbito de estudio 31
3.5. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto 32
3.5.1. Recolección de muestras 32
3.5.2. Extracción de microplásticos 35
3.5.3. Identificación de microplásticos 36
3.5.4. Control de calidad 38
3.5.5. Evaluación del riesgo para la salud humana 39
3.6. Tratamiento de datos 41

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración de microplásticos en productos 42
4.2. Características de las partículas microplásticas según su forma y color 44
4.2.1. Perfil cromático 45
4.2.2. Distribución de tamaño según matriz 46
4.3. Riesgo para la salud humana de los microplásticos 47
4.4. Discusión 50
4.4.1. Concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025. 50
4.4.2. Características físicas de los microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025. 51
4.4.3. Evaluación del riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en Juliaca, 2025 52

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones 54
5.2 Recomendaciones 55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56
ANEXOS 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Clasificación de muestras alimentarias según su estructura reológica y percepción térmica de expendio en Juliaca,2025.* 33
Tabla 2 *Escala de clasificación del nivel de contaminación ambiental según rangos del indicador MPCF en Juliaca, 2025.* 39
Tabla 3 *Escala de clasificación del riesgo ambiental según rangos del índice de carga de microplásticos (MPLI) en Juliaca, 2025.* 41
Tabla 4 *Concentración y frecuencia de detección de microplásticos (MPs/L) egún el tipo de matriz y temperatura de expendio de bebidas en Juliaca, 2025.* 43
Tabla 5 *Nivel de contaminación (MPCF) e índice de riesgo (MPLI) por zonas de compra en los mercados y puntos de expendio de Juliaca, 2025.* 47
Tabla 6 *Abundancia de microplásticos e Ingesta Diaria Estimada (EDI) en varones y mujeres según la zona de compra, ciudad de Juliaca, 2025.* 49
Tabla 7 *Matriz de consistencia del proyecto de investigación sobre contaminación por microplásticos en Juliaca, 2025.* 71
Tabla 8 *Los 71 puntos de recolección de muestras en la ciudad de Juliaca, 2025.* 75
Tabla 9 *Caracterización de Partículas en Muestras Blanco (Forma y Color), 2025.* 79
Tabla 10 *Ubicación geográfica y zonas de compra de las muestras, 2025.* 80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Código de identificación de resinas plásticas* *21*
Figura 2 *La delimitación geográfica del área de estudio* y la ubicación de los nueve *puntos de recolección de muestras en la ciudad de Juliaca,2025.* *31*
Figura 3 *Diagrama de flujo para la clasificación y categorización de las muestras según la textura de la matriz y la temperatura percibida en Juliaca, 2025.* *34*
Figura 4 *Etapas clave del protocolo de laboratorio para la extracción y retención de microplásticos en el Laboratorio de la universidad Nacional de Juliaca, 2025.* *36*

Figura 5 *Procedimiento para la caracterización física y determinación de la concentración neta de microplásticos en Juliaca, 2025.* *37*
Figura 6 *Diagrama de caja y bigotes representando la abundancia de microplásticos (MPs/L) en bebidas clasificadas por tipo de matriz en Juliaca, 2025.* *44*
Figura 7 *Distribución porcentual y abundancia relativa de microplásticos según su coloración en Juliaca, 2026.* *45*
Figura 8 *Distribución porcentual de microplásticos por rangos dimensionales de tamaño en la Ciudad de Juliaca, 2025.* *46*
Figura 9 *Recolección de muestras en puntos estrategias de la ciudad de Juliaca,2025...* *72*
Figura 10 *Muestras para estudio en laboratorio,2025.* *72*
Figura 11 *Proceso de decantación de las muestras,2025.* *73*
Figura 12 *Proceso de filtración de las muestras,2025.* *73*
Figura 13 *Lectura de filtros de las muestras en laboratorio,2025.* *74*
Figura 14 *Evidencia de lectura de muestras en laboratorio,2025.* *74*

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I. *Matriz de consistencia*..... *71*
Anexo II. *Panel Fotográfico del proceso* *72*
Anexo III. *Registro de estudio*..... *75*
Anexo IV. *Registro de blancos de estudio*..... *79*
Anexo V. *Coordenadas de las 71 muestra*..... *80*

ACRÓNIMOS

EDI	Ingesta Diaria Estimada
MPCF	Factores de Contaminación por Microplásticos
MPLI	Índice de Carga de Contaminación
HDPE	High-Density Polyethylene (El Polietileno de Alta Densidad)
LDPE	Low-Density Polyethylene (El Polietileno de Baja Densidad)
PA	Poliamida
PET	Polyethylene Terephthalate (El Polietileno Tereftalato)
PE	Polyethylene (Polietileno)
SPI	Sociedad de la Industria de Plásticos (Society of the Plastics Industry)
FTIR	Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier
MPs/L	Microplasticos por litro

RESUMEN

El incremento del uso de materiales plásticos en la vida cotidiana ha generado una problemática ambiental de creciente preocupación debido a su persistencia y fragmentación en partículas microscópicas conocidas como microplásticos, los cuales han sido detectados en distintos ecosistemas y productos de consumo humano. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo determinar los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes de plástico de venta ambulatoria y evaluar el riesgo asociado a la salud humana en la ciudad de Juliaca durante el año 2025. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental, con diseño transversal y nivel descriptivo, lo que permitió analizar el fenómeno en condiciones reales sin manipulación de variables. Se recolectaron 71 muestras de bebidas expendidas en mercados, centros comerciales y zonas de alta afluencia, haciendo especial énfasis en bebidas tradicionales de alto consumo en la ciudad de Juliaca (como quinua, cañihua, maca, refrescos y mates calientes), las cuales fueron clasificadas según sus propiedades físicas y condiciones térmicas. El procesamiento incluyó técnicas de separación por densidad, digestión oxidativa, filtración al vacío e identificación mediante microscopía estereoscópica, permitiendo la cuantificación y caracterización de microplásticos según forma, tamaño y color. Asimismo, se determinó la concentración de partículas por litro y se estimó el nivel de riesgo potencial para la salud humana asociado a su ingesta. Los resultados evidenciaron la presencia de microplásticos en el 97,18% del total de muestras analizadas con una abundancia media de 37,18 MPs/L, con una mayoría de partículas tipo fibra (98,03%), predominando el color morado (28,3%) y de tamaños entre 100 y 300 μm según el tipo de bebida y las condiciones de exposición. En conclusión, los productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria constituyen una vía potencial de exposición a microplásticos en la población estudiada, evidenciando la necesidad de fortalecer el control sanitario y promover investigaciones futuras sobre sus efectos en la salud humana.

Palabras clave: Productos líquidos, microplásticos, plásticos, toxicidad.

ABSTRACT

The increasing use of plastic materials in everyday life has created an environmental problem of growing concern due to their persistence and fragmentation into microscopic particles known as microplastics, which have been detected in various ecosystems and products intended for human consumption. In this context, the objective of this study was to identify microplastics in liquid products sold in plastic containers at street vendors and to assess the associated risk to human health in the city of Juliaca during the year 2025. The study employed a quantitative, non-experimental approach with a cross-sectional design and a descriptive focus, which allowed for the analysis of the phenomenon under real-world conditions without manipulating variables. A total of 71 samples of beverages sold in markets, shopping centers, and high-traffic areas were collected, with a special focus on traditional beverages widely consumed in the city of Juliaca (such as quinoa, cañihua, maca, soft drinks, and hot mate), which were classified according to their physical properties and thermal conditions. The analysis included density separation techniques, oxidative digestion, vacuum filtration, and identification via stereoscopic microscopy, enabling the quantification and characterization of microplastics based on shape, size, and color. Additionally, the concentration of particles per liter was determined, and the potential risk to human health associated with their ingestion was estimated. The results showed the presence of microplastics in 97.18% of the total samples analyzed, with an average abundance of 37.18 MPs/L, with a majority of fiber-type particles (98.03%), predominantly purple in color (28.3%), and ranging in size from 100 to 300 μm depending on the type of beverage and exposure conditions. In conclusion, liquid products sold in plastic containers at street vendors constitute a potential route of exposure to microplastics in the studied population, highlighting the need to strengthen health regulations and promote future research on their effects on human health.

Keywords: liquid products, microplastics, plastics,toxicity.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por microplásticos se ha consolidado como un problema ambiental y de salud pública de creciente relevancia a nivel global. Estos microplásticos pueden originarse por la degradación de residuos plásticos de mayor tamaño o ser fabricados directamente en dimensiones microscópicas, lo que facilita su dispersión en distintos ecosistemas terrestres, acuáticos y atmosféricos (García & García, 2025; Muñoz et al., 2024). Su presencia ha sido documentada no solo en ambientes naturales, sino también en la cadena alimentaria humana, incluyendo alimentos y bebidas de consumo cotidiano.

Diversos estudios han evidenciado la presencia de microplásticos en agua potable, bebidas embotelladas, refrescos, infusiones, leche y otros productos líquidos, lo que confirma que la ingestión constituye una vía directa de exposición humana (Kannan & Vimalkumar, 2021; Ma et al., 2024). Esta situación se agrava por factores como el uso de envases plásticos, la degradación del material, la exposición a temperaturas elevadas y la reutilización de recipientes, condiciones que favorecen la liberación de partículas hacia el contenido líquido (Al-Mansoori et al., 2025a; Liu et al., 2025).

En este contexto, los productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria constituyen un escenario crítico de exposición, especialmente en espacios de comercio informal donde no siempre se aplican controles sanitarios adecuados. En ciudades como Juliaca, esta práctica es frecuente debido a razones económicas y de accesibilidad, lo que podría incrementar el riesgo de ingestión de microplásticos en la población consumidora.

Frente a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo determinar la prevalencia de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria y evaluar el riesgo asociado a la salud humana en la ciudad de Juliaca, durante el año 2025. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental, nivel descriptivo y diseño transversal, permitiendo caracterizar la concentración y las propiedades de las partículas encontradas.

El estudio se estructura en cinco capítulos que abordan el planteamiento del problema, la revisión de literatura, la metodología, los resultados con su discusión, y las conclusiones junto con recomendaciones. Con ello, se busca aportar evidencia científica que contribuya a la comprensión del riesgo por microplásticos en bebidas de consumo humano y a la mejora de prácticas de manejo de envases en contextos urbanos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación del problema

En las últimas décadas, los plásticos se han convertido en materiales indispensables para la industria y la vida cotidiana por su versatilidad, durabilidad y bajo costo (Loredo et al., 2025; Prata et al., 2021). Sin embargo, el crecimiento acelerado de su producción ha generado una acumulación crítica de residuos posconsumo, los cuales persisten en el ambiente y se fragmentan progresivamente en partículas menores conocidas como microplásticos (Prata et al., 2021; Zhang et al., 2020). Esta situación se agrava por la deficiente gestión de residuos y el aumento de la producción global de plásticos, que alcanzó 430,9 millones de toneladas en 2024 (Plastics Europe, 2024).

La degradación física, química y biológica de los macroplásticos, mediante procesos como fotooxidación, estrés térmico y abrasión mecánica, facilita la formación de microplásticos secundarios, capaces de dispersarse en ecosistemas y cadenas tróficas (Amobonye et al., 2021; Cuesta, 2023; Materano et al., 2022; Alimi et al., 2021; Galafassi et al., 2019).Los microplásticos, definidos como partículas sintéticas menores a 5 mm, son contaminantes persistentes y ubicuos que afectan diversos ecosistemas a escala global (Al-Mansoori et al., 2025b). Su presencia ya no se limita a ambientes marinos, fluviales o lacustres, sino que también se ha identificado en suelos agrícolas, sedimentos y la atmósfera (Bhardwaj et al., 2024; Uddin et al., 2025; Vásquez et al., 2026; Zhang et al., 2020).

Esta problemática se relaciona con el uso masivo y poco controlado de materiales plásticos en actividades humanas (Sridharan et al., 2021). Además, la evidencia científica ha demostrado que los microplásticos ingresan a la cadena alimentaria mediante productos como pescado, leche, sal, azúcar, miel, carne de ave, frutas y verduras (Kadac-Czapska et al., 2022). En este escenario, las bebidas representan una vía relevante de exposición humana directa (Ma et al., 2024; Muhib et al., 2022; Zhang et al., 2020).

Diversos estudios han reportado microplásticos en bebidas de consumo humano, como agua embotellada, cerveza, leche, té frío, café, jugos de frutas y refrescos comerciales (Dafne et al., 2024; Al-Mansoori et al., 2025b; Soudavari et al., 2025; Ma et al., 2024; Sendra et al., 2020; Kannan & Vimalkumar, 2021). Esta evidencia confirma que la ingesta oral constituye una ruta directa de entrada al organismo humano (Kannan & Vimalkumar, 2021; Sendra et

al., 2020). La contaminación puede estar asociada al uso de envases plásticos, la ausencia de regulaciones específicas y la liberación de partículas por abrasión mecánica, como ocurre al abrir y cerrar tapas de botellas (Al-Mansoori et al., 2025a, 2025b; Soudavari et al., 2025; Cai et al., 2025; Gambino et al., 2022). Asimismo, el contacto de bebidas calientes con envases plásticos favorece la descamación termo-mecánica, incrementando la liberación de partículas hacia el líquido (Liu et al., 2025; Sewwandi et al., 2022).

En este contexto, la venta y consumo de bebidas en espacios informales o ambulantes constituye una vía de exposición de especial importancia, debido a que el entorno actúa como fuente directa de contaminación (Ma et al., 2024; Soudavari et al., 2025). En los puntos de venta al aire libre, los envases plásticos de baja calidad pueden degradarse por radiación solar, estrés térmico y abrasión mecánica (Al-Mansoori et al., 2025b; Cai et al., 2025). En los hogares, la problemática se vincula principalmente con la deposición atmosférica de partículas derivadas del desgaste de textiles y superficies domésticas (Belzagui et al., 2019; Dris et al., 2017; Socas-Hernández et al., 2024). Por ello, tanto la intemperie como los espacios cerrados sin protección adecuada convierten a las bebidas expuestas en posibles vectores de ingesta inadvertida de partículas antropogénicas (Catarino et al., 2018; Liu et al., 2025).

En la ciudad de Juliaca, donde se comercializan productos líquidos como refrescos, jugos y leche en recipientes de plástico, los comerciantes optan por esta práctica debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. Sin embargo, la mayoría de estos envases no pasa por procesos estandarizados de higiene o desinfección, lo que incrementa el riesgo de contaminación. Además, muchos de estos productos se expenden a temperatura ambiente e incluso algunos (como infusiones o mates) pueden estar calientes, lo que podría acelerar la liberación de microplásticos.

La venta ambulante de bebidas en países en vías de desarrollo cumple un rol importante dentro de la economía informal urbana, ya que facilita el acceso a productos de consumo inmediato para amplios sectores de la población trabajadora (Peimani & Kamalipour, 2022; Recchi, 2021). No obstante, este modelo comercial presenta limitaciones relacionadas con salubridad, infraestructura precaria y exposición directa al ambiente (Hernández & Albuja, 2021). Aunque la literatura científica se ha centrado principalmente en bebidas industriales, existe un vacío de conocimiento sobre las bebidas comercializadas en la vía pública.

1.1.1 Problema general

¿Cuál es la prevalencia de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes de plástico de venta ambulatoria y cuáles son los riesgos asociados para la salud humana en la ciudad de Juliaca, 2025?

1.1.2 Problemas específicos

¿Cuál es la concentración de microplásticos en productos líquidos en recipientes de plástico de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025?

¿Cuáles son las características (tipo, forma, tamaño y color de los polímeros) de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025?

¿Cuál es el riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Determinar la prevalencia de microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria y evaluar el riesgo asociado a la salud humana en la ciudad de Juliaca, 2025.

1.2.2 Objetivos específicos

Cuantificar la concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.

Identificar las características (tipo, forma, tamaño y color de los polímeros) de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.

Evaluar el riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipie ntes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.

1.3 Justificación de la investigación

La literatura internacional ha documentado la presencia de microplásticos en bebidas de procesamiento industrial, sin embargo, existe un vacío de conocimiento sobre su comportamiento en el comercio informal de países en desarrollo (Chaïb et al., 2025; Socas-Hernández et al., 2024). En estos contextos, como la preparación artesanal y la venta ambulatoria, las bebidas están expuestas a fuentes de contaminación como la deposición de partículas en recipientes abiertos (Su et al., 2025) y la reutilización de envases plásticos. En ese sentido, este estudio aporta evidencia sobre la contaminación en sistemas de producción a pequeña escala, especialmente en la región andina, donde aún es poco estudiada (Díaz et al., 2020).

Desde la perspectiva de salud pública, la investigación responde a la necesidad de reducir la exposición de la población a contaminantes invisibles presentes en su dieta diaria. En ciudades como Juliaca, el consumo de bebidas artesanales en envases deteriorados incrementa el riesgo de ingestión de microplásticos capaces de transportar compuestos tóxicos como bisfenoles, plastificantes y disruptores endocrinos (Sajedi et al., 2025; Sewwandi et al., 2023).). Esta situación representa un riesgo sanitario silencioso que este estudio ayuda a visibilizar, aportando evidencia para sensibilizar a comerciantes y consumidores sobre las consecuencias del uso inadecuado de envases (Ramaremisa et al., 2025).

Metodológicamente, el estudio aplica indicadores internacionales de evaluación de contaminación por microplásticos, como el Factor de Contaminación por Microplásticos (MPCF) y el Índice de Carga de Contaminación (MPLI) (Altunışık, 2023; Chakraborty et al., 2024). Esto permite generar datos estructurados y comparables, especialmente relevantes ante la ausencia de normativas que regulen la presencia de microplásticos en alimentos (Cai et al., 2025). En consecuencia, los resultados pueden servir como base para el diseño de políticas públicas, el fortalecimiento del control sanitario y la promoción de alternativas de envasado sostenibles (Soudavari et al., 2025).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Chaïb, et al. (2025) realizaron un estudio para cuantificar la presencia de microplásticos en diversas bebidas comerciales de Francia, incluyendo aguas, cervezas, vinos, refrescos y tés, con el propósito de analizar la influencia de la matriz y el envase sobre la contaminación. Las bebidas carbonatadas fueron previamente desgasificadas y posteriormente filtradas en campana de flujo laminar, utilizando agua purificada y etanol al 70 % para el lavado riguroso de paredes y embudos, complementado con tratamiento de NaCl al 2.6 % para decolorar la materia orgánica antes de la identificación mediante micro-FTIR. Los resultados indicaron concentraciones variables de microplásticos, desde 2.9 ± 0.7 MPs/L en aguas hasta 31.4 ± 16.0 MPs/L en refrescos tipo cola y 28.5 ± 13.1 MPs/L en tés fríos. El estudio concluye que todas las categorías de bebidas evaluadas presentan contaminación, operando como sumideros de partículas plásticas derivadas del envase y subrayando la necesidad de controles más estrictos en la industria alimentaria.

Al-Mansoori, et al. (2025a) evaluaron la liberación de microplásticos en bebidas frías y calientes comercializadas en el Reino Unido, incluyendo café, té, bebidas energéticas y refrescos, con el objetivo de estimar la exposición humana total. Se empleó filtración al vacío en entorno estéril y digestión de los filtros con, H_2O_2 al 30 % a 60 °C, mientras los equipos se esterilizaron repetidamente con etanol y agua ultrapura para evitar contaminación. Los resultados mostraron presencia de microplásticos en todas las muestras y que el estrés térmico en bebidas calientes aumentaba la liberación de partículas plásticas, lo que indica que la temperatura del líquido potencia la degradación de los envases. Se concluye que esta exposición crónica requiere reconsiderar materiales y procesos de envasado para reducir riesgos dietéticos.

Hoseinzadeh, et al. (2024) investigaron la presencia y caracterización de microplásticos en refrescos y bebidas no alcohólicas de alto consumo en Irán, con el objetivo de determinar la prevalencia, distribución por tamaño y color de estas partículas. Para ello, aplicaron filtración de las muestras junto con técnicas físicas y químicas de limpieza, utilizando agua destilada y etanol al 70 % para minimizar la contaminación ambiental. Adicionalmente,

emplearon el colorante fluorescente Rojo Nilo en metanol para identificar partículas poliméricas bajo microscopía de fluorescencia, complementando los análisis con pruebas de aguja caliente y espectroscopía FTIR. Los resultados evidenciaron una alta carga de microplásticos de diversas formas y colores, con variabilidad significativa entre muestras, lo que indica que los procesos de envasado y producción industrial aportan partículas constantemente. Este estudio resalta la necesidad de revisar políticas de seguridad alimentaria y protocolos de control de contaminación en productos de consumo masivo.

Socas-Hernández, et al. (2024) evaluaron la presencia de partículas antropogénicas, incluyendo microplásticos, en bebidas comerciales de España como agua, cerveza, vino y refrescos, con el fin de estimar la exposición de la población a estos contaminantes. Las muestras se procesaron mediante filtración al vacío, evitando digestiones químicas agresivas, y se emplearon agua purificada y etanol para limpiar cristalería y envases, controlando la contaminación de fondo. Posteriormente, se realizó observación microscópica y análisis químico de un submuestreo mediante micro-FTIR. Los resultados mostraron que la cerveza presentó la mayor carga de partículas (95.2 ± 91.8/L), seguida de vino y refrescos, siendo aproximadamente el 82 % fibras incoloras o blancas. Los autores concluyen que las bebidas comerciales representan una fuente constante de exposición a microfibras, destacando la importancia de investigar sus efectos crónicos sobre la salud pública.

Altunışık (2023) examinó la prevalencia de microplásticos en bebidas gaseosas envasadas en PET y Tetra Pak comercializadas en Turquía y evaluó el riesgo dietético para los consumidores. Se empleó filtración directa con controles de agua desionizada y etanol al 75 % para prevenir falsos positivos, seguido de análisis morfológico y confirmación por FT-IR. Los resultados mostraron una media de 8.9 ± 2.95 MPs/L, incluyendo fragmentos, fibras y láminas delgadas de PA, PET y PE. El estudio concluye que estas bebidas constituyen una vía de exposición diaria a microplásticos, lo que enfatiza la necesidad de estrategias preventivas desde el diseño de envases y la producción industrial para reducir riesgos de salud.

Crosta, et al. (2023) investigaron la presencia de microplásticos en tés fríos y refrescos en Italia utilizando un protocolo alternativo económico frente a métodos espectroscópicos tradicionales. El procedimiento incluyó separación por densidad con solución saturada de NaCl a 1.2 g/cm³ a 90 °C, digestión oxidativa con H_2O_2 al 30 % y marcado de partículas

mediante fluoróforo PBN disuelto en DMSO. Los resultados indicaron una concentración promedio de 9.94 ± 0.33 MPs/L, con predominio de microfibras coloreadas. Se concluye que esta metodología es robusta y que las bebidas analizadas presentan alta vulnerabilidad a contaminación ambiental, sugiriendo la necesidad de vigilancia constante en el mercado.

Shruti, et al. (2020) analizaron la contaminación por microplásticos en refrescos, tés fríos y bebidas energéticas en México, con el propósito de cuantificar la exposición de los consumidores a microfibras. La metodología incluyó filtración al vacío con estrictos controles de agua desionizada y etanol para evitar contaminación cruzada, seguida de inspección visual y análisis espectroscópico de partículas. Los resultados indicaron concentraciones de hasta 40 ± 24.53 MPs/L, predominando fibras de 100 a 3000 µm. Los autores concluyen que las bebidas no alcohólicas representan vectores directos de exposición crónica a microplásticos, resaltando la necesidad de estrategias de mitigación para la seguridad alimentaria.

Díaz et al. (2020) evaluaron microplásticos en alimentos líquidos y bebidas de producción industrial y artesanal en Ecuador, incluyendo miel, cerveza, leche y refrescos. Se aplicó digestión oxidativa de materia orgánica, filtración y sonicación con agua tipo I, H_2O_2 al 30 % y etanol absoluto. Se encontraron promedios de 32 MPs/L en cervezas artesanales y 40 MPs/L en bebidas y leches comerciales, predominando fragmentos y fibras de HDPE, LDPE y polipropileno. El estudio concluye que la manufactura artesanal incrementa significativamente la carga de microplásticos, evidenciando riesgos de exposición dietética y la necesidad de controles en la producción de alimentos y bebidas.

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el contexto nacional, la investigación científica sobre la presencia de microplásticos en alimentos de consumo humano y agua potable aún es incipiente. A la fecha, no se cuenta con estudios publicados que aborden directamente la presencia de microplásticos en productos líquidos comercializados para el consumo, tales como bebidas embotelladas, jugos, lácteos o aguas saborizadas. Esta limitación también se extiende a la evaluación de los efectos potenciales por bioacumulación en la salud humana dentro del ámbito peruano.

No obstante, se han reportado hallazgos relevantes en el análisis de microplásticos en peces, moluscos y crustáceos destinados al consumo humano, en diversas regiones del país, lo cual evidencia la presencia de estas partículas en la cadena alimentaria.

Cerna et al. (2024) realizaron un análisis de investigaciones recientes sobre la degradación de microplásticos, sus efectos en el medio ambiente y su vínculo con la industria alimentaria. Se evalúan tanto los impactos negativos como ciertos beneficios funcionales de los envases y utensilios utilizados. Entre las estrategias propuestas para mitigar el impacto ambiental destacan la reducción del uso de ácido poliláctico (PLA) y la disminución de la demanda de nuevos plásticos. El principal reto identificado es la degradación de polímeros como PE, PP, copolímeros de PP y PVC. Usando la metodología PICO y una búsqueda en SCOPUS, se seleccionaron 30 artículos publicados entre 2019 y 2024. El análisis bibliométrico evidenció tendencias clave y términos asociados como seguridad alimentaria, polímeros y contaminación ambiental, aportando una base sólida para futuras investigaciones en este campo.

Iannacone et al. (2021), evaluaron los microplásticos presentes en 5 especies de peces de importancia económica: Sciaena deliciosa, Isacia conceptionis, Scartichthys gigas, Mugil cephalus y Scomber japonicus, el contenido estomacal y branquial de cada especie fue digestado con KOH al 10% seguido de una filtración, obtuvieron la presencia de microplásticos en mayor cantidad en el S. gigas, en general obtuvieron la presencia de distintos microplásticos entre estas fibras, film de colores azul, negro y blanco.

Dávila & Montalvan (2021), investigaron la presencia de microplásticos en 14 especies ícticas de importancia comercial a lo largo del litoral de Ilo. Obtuvieron que el 56,2% de las especies cuenta con la presencia de estos contaminantes, predominando el color transparente con un 32%; usaron también el espectrofotómetro FT-IR, determinando que existe polipropileno en un 37%, poliestireno en un 25% y el tereftalato de polietileno en un 21%.

Chota-Macuyama, y Mendoza (2020) documentaron por primera vez la presencia de microplásticos en peces de consumo en la Amazonía peruana, específicamente en ejemplares de boquichico (*Prochilodus nigricans*) vendidos en el Mercado Belén de Iquitos, región Loreto. De 50 peces analizados pertenecientes a once especies, solo seis individuos de *P. nigricans* contenían microplásticos, sumando un total de 17 partículas, con un promedio de 0,34 ± 1,19 por individuo. La frecuencia de microplásticos fue de 12 % para el total de peces y 46,2 % para la especie afectada. Las partículas oscilaron entre 0,40 y 4,39 mm, siendo en su mayoría filamentos (14) y algunos fragmentos irregulares (3). Los colores predominantes fueron azul, rojo, verde y celeste. Estos resultados indican una posible contaminación de las zonas de pesca por residuos plásticos, lo que podría tener impactos negativos tanto en los

ecosistemas acuáticos como en la salud humana a través del consumo de especies contaminadas.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Plásticos

Los polímeros (del griego poly, muchos, y meros, parte, segmento) se producen por la unión de cientos de miles de pequeñas moléculas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de diversas formas. Existen polímeros naturales como el algodón, formado por fibras de celulosas, material que se encuentra en la madera y en tallos de muchas plantas, y que se emplean para hacer telas y papel. La seda y la lana, el hule de los árboles del caucho y los arbustos de guayule son también polímeros. Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que se usa en la vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas (Meira & Gugliotta, 2019). Estos materiales, derivados mayoritariamente de la industria petroquímica, se caracterizan por su alta resistencia a la degradación biológica y su estructura molecular estable, lo que facilita su persistencia prolongada en el entorno (Loredo et al., 2025; Mason et al., 2018; Ordóñez & Lizcano, 2024).

Aunque a menudo se utilizan los términos “plástico” y “polímero” como sinónimos, es necesario distinguir entre ambos: el concepto de “plástico” alude a la capacidad de un material para ser moldeado y procesado, mientras que el de “polímero” clasifica a una sustancia atendiendo a su estructura molecular. Si bien todos los plásticos comerciales son polímeros, no ocurre lo recíproco; el grupo de los polímeros incluye estructuras biológicas fundamentales como las proteínas, el almidón y el ADN, las cuales no se categorizan como plásticos (Heras et al., 2016). En el ámbito industrial, los polímeros se clasifican generalmente en tres categorías principales según su respuesta térmica y sus propiedades físicas: termoplásticos, termoestables y elastómeros (Mittal et al., 2023). Adicionalmente, la incorporación de aditivos químicos durante el proceso de síntesis, que pueden representar hasta el 50% de su peso total, es fundamental para conferir propiedades específicas como rigidez, estabilidad UV o resistencia al fuego (Udovički et al., 2022).

Según Greenpeace (2016), en tan solo unas décadas, el plástico está presente en todo tipo de objetos y materiales por sus características (flexibilidad, durabilidad y ligereza) y bajo precio, se puede encontrar en la ropa, en materiales de construcción y en multitud de

utensilios y objetos. Los residuos plásticos han incrementado de forma drástica como consecuencia de una mala gestión de residuos o de su abandono, se estima que unos 8 millones de toneladas de plásticos acaban en mares y océanos anualmente, formando el 60-80% de la basura marina, en su mayoría en forma de microplásticos (fragmentos inferiores a 5 mm). Se desconoce la cantidad exacta de plásticos en los mares, pero se estiman unos 5 a 50 billones de fragmentos de plástico, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas, por lo tanto, se convierte en un problema global que va aumentando de forma alarmante.

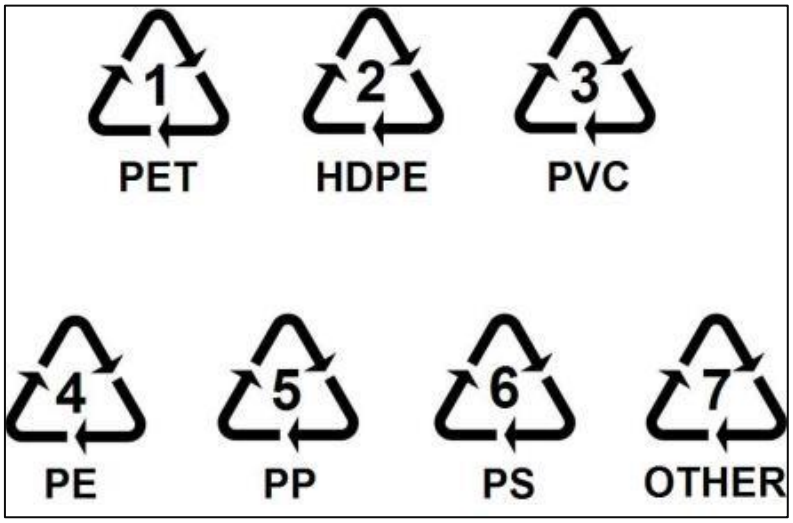
La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años y en especial en las últimas décadas, entre 2002-2013 aumentó un 50%: de 204 millones de toneladas en 2002 a 299 millones de toneladas en 2013. Se estima que en el año 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que supondría un 900% más que los niveles de 1980 (Greenpeace, 2016).

Por otro lado, en la figura 1, se observa la clasificación de plásticos por códigos de resina es un sistema estandarizado desarrollado en 1988 por la Society of the Plastics Industry (SPI), actualmente gestionado por la Plastics Industry Association. Este sistema tiene como objetivo identificar el tipo de polímero del que está hecho un producto plástico, facilitando su separación para procesos de reciclaje y manejo de residuos (Getor et al., 2020). Dicho sistema clasifica los materiales en siete categorías predominantes, incluyendo polímeros comunes como el tereftalato de polietileno, el polietileno de alta y baja densidad, el polipropileno, el poliestireno y el cloruro de polivinilo, entre otros. No obstante, a pesar de la existencia de estos sistemas de codificación, la gestión global de los residuos plásticos sigue siendo deficiente; se estima que, históricamente, menos del 10% del total producido ha sido reciclado, mientras que la mayor parte se acumula en vertederos o en el entorno natural (Geyer et al., 2017).

Los plásticos son materiales polímeros sintéticos que, debido a sus propiedades fisicoquímicas, se han convertido en componentes omnipresentes en productos de consumo, embalaje, construcción, medicina y más. Esta versatilidad ha llevado a una elevada producción y, en consecuencia, a un problema ambiental creciente debido a su baja biodegradabilidad (Okoffo et al., 2021).

Figura 1

Código de identificación de resinas plásticas



Fuente: Aguado et al. (2018).

Esta clasificación resulta fundamental para la gestión de residuos sólidos y el reciclaje, dado que facilita la segregación de materiales según su composición polimérica, optimizando así los protocolos de tratamiento y valorización de los residuos plásticos (Mitchell et al., 2014). No obstante, este marco presenta limitaciones estructurales significativas al no reflejar adecuadamente la vasta diversidad de polímeros actuales; particularmente, la categoría 7 ("otros") agrupa materiales complejos y multicapa que, frecuentemente, carecen de rutas de reciclaje viables, lo que deriva en su acumulación en el entorno (Hahladakis, 2020; Hunt et al., 2015). Esta ineficiencia en la gestión, sumada a una producción dominada por polímeros sintéticos que representan cerca del 90% del volumen total, exacerba el riesgo de fragmentación y degradación ambiental, facilitando la proliferación de microplásticos en los ecosistemas (Tan et al., 2024).

2.2.2. Macroplásticos

Los macroplásticos en su mayoría residuos de las actividades antropogénicas son abandonados en la naturaleza y a menudo encontrados en el mar o en las costas, flotando en la superficie o sumergidos. Provienen de rechazos y abandonos de las personas en calles, aparcamientos, canalizaciones, vertederos salvajes, entre otros; transportes inapropiados, residuos colectados, actividades agrícolas e industriales y actividades marítimas (pesca, puertos y transporte marítimo). Una vez que son emitidos al suelo, en los ríos o en el mar,

van son transportados por el ciclo del agua y suelen encontrarse en zonas de acumulación localizadas: desembocaduras de ríos, estuarios, en el litoral y en el mar (Tursi et al., 2022).

Según Kühn et al. (2015) las afecciones de las basuras, y en particular de los macroplásticos, a los organismos y ecosistemas marinos se asocian generalmente a animales muertos, debilitados o varados por consecuencias relacionadas con enmallamientos y atrapamientos, sofocación, o ingestión de estos materiales no biodegradables. Se están explorando nuevos efectos de estos elementos plásticos en el medio marino, ya que parecen afectar de forma más global a los ecosistemas. Por ejemplo, los fragmentos de plástico pueden hacer de "transportadores" de otras especies, desplazándolas horizontalmente o verticalmente en la columna de agua y haciéndolas llegar a nuevos ecosistemas, facilitando nuevos hábitats para especies o sedimentando zonas del fondo marino o de la superficie provocando asfixia de algunos ecosistemas.

2.2.3. Microplásticos

Los residuos de plástico (principal componente de las basuras marinas) se pueden diferenciar en macroplásticos y microplásticos. Los microplásticos pueden formarse a partir de plásticos más grandes tanto por degradaciones físicas (mecanización de olas, efectos de temperatura o radiación ultravioleta) como por degradaciones químicas (oxidación, hidrólisis) y reducir el plástico a partículas y fibras más pequeñas, muchas veces indetectables para el ojo humano. Estos microplásticos se han definido como partículas de plástico que tienen un tamaño máximo de 5 mm y cuyo límite inferior no está definido (García & García, 2025).

Estos fragmentos se clasifican, según su origen, en primarios, fabricados intencionalmente con dimensiones microscópicas para aplicaciones industriales, y secundarios, derivados de la fragmentación de artículos de mayor tamaño ante procesos de meteorización, radiación solar y biodegradación (Muñoz et al., 2024; Vásquez et al., 2021). Dada su reducida dimensión y distribución ubicua, estas partículas son fácilmente ingeridas por una amp lia gama de organismos, actuando como vectores críticos para la transferencia de contaminantes orgánicos y metales pesados hacia la red trófica (Garcés-Ordóñez & Arenas, 2019), (Dioses-Salinas et al., 2020).

Además, su capacidad para absorber contaminantes químicos del medio circundante y liberar aditivos tóxicos durante su degradación amplifica el riesgo de impactos fisiológicos

adversos, tales como trastornos endocrinos, alteraciones reproductivas y daños tisulares en la fauna expuesta (Pazos et al., 2018; Vidal et al., 2021).

Debido a su pequeño tamaño, los microplásticos pueden ser ingeridos por un mayor número de organismos que los macroplásticos. Cuantos más plásticos se desechen al medio ambiente, más residuos pueden acabar en los sistemas hídricos globales y como los fragmentos grandes de plástico se pueden degradar en trozos más pequeños, cada macroplástico que se encuentra flotando sobre el mar se puede convertir en miles de microplásticos (Contreras et al., 2022).

2.2.4. Propiedades de microplásticos

Los microplásticos se caracterizan por una diversidad morfológica que incluye fibras, fragmentos, pellets y esferas, los cuales varían en su composición polimérica, densidad y propiedades superficiales (Rodríguez-Sierra et al., 2020). Estas variaciones físicas determinan su comportamiento en la columna de agua, condicionando tanto su transporte y sedimentación como su biodisponibilidad para la biota acuática (De-la-Torre et al., 2020; García et al., 2023). Asimismo, los procesos de degradación foto-oxidativa, iniciados por la ruptura homolítica de enlaces C-H en átomos de carbono terciario, alteran profundamente las propiedades fisicoquímicas de estas partículas al generar radicales libres inestables (Xu et al., 2024).

Este fenómeno, conocido como envejecimiento, incrementa la rugosidad superficial, promueve la formación de grupos funcionales oxigenados como hidroxilos y carbonilos y aumenta el área superficial específica, lo que reduce la hidrofobicidad del polímero y potencia significativamente su capacidad para adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el medio acuático (Harraq et al., 2022; Liu et al., 2019; Torres et al., 2020). En consecuencia, estos microplásticos alterados no solo presentan una mayor movilidad y persistencia en los ecosistemas, sino que también actúan como vectores más eficientes para la transferencia de sustancias tóxicas a lo largo de la red trófica (Shi et al., 2024; Xu et al., 2024).

2.2.5. Clasificación y fuentes

La clasificación de los microplásticos según su origen permite distinguir entre partículas primarias y secundarias, cada una con vías de producción y puntos de entrada al medio ambiente bien definidos. Los microplásticos primarios son fabricados intencionalmente a

escalas microscópicas para aplicaciones específicas, incluyendo microesferas empleadas en productos cosméticos y de cuidado personal, o pellets de resina utilizados como materia prima en procesos industriales (García et al., 2023; Muñoz et al., 2024; Pazos et al., 2018).

Por otro lado, los microplásticos secundarios surgen de la degradación progresiva de artículos plásticos de mayor tamaño debido a procesos de meteorización, como la radiación ultravioleta, la abrasión mecánica y la fragmentación biológica (García et al., 2023; Vásquez et al., 2021). Esta categoría constituye una fuente diversa de contaminación que incluye, entre otros, las fibras sintéticas desprendidas durante el lavado de textiles, partículas de desgaste de neumáticos y los fragmentos derivados de la fragmentación de macroplásticos abandonados en ecosistemas terrestres y acuáticos (Dioses-Salinas et al., 2020; Muñoz et al., 2024).

Asimismo, el vertido de aguas residuales urbanas actúa como un vector significativo, al transportar microfibras provenientes de tejidos sintéticos que escapan a los sistemas de filtración convencionales (Bhardwaj et al., 2024; Galafassi et al., 2019). Esta problemática se agrava por la deficiencia en las técnicas de muestreo actuales, lo que genera una posible subestimación de la carga contaminante real presente en los ecosistemas acuáticos (Osman et al., 2023).

2.2.6. Dinámica ambiental de los microplásticos

El transporte y destino final de los microplásticos están condicionados por una compleja interacción entre factores hidrodinámicos y las propiedades intrínsecas de las partículas, tales como su densidad, morfología y tamaño (Vásquez et al., 2021). Mientras que los polímeros de menor densidad tienden a permanecer en la superficie o en la columna de agua superior impulsados por las corrientes oceánicas y los vientos, otros, tras experimentar procesos de degradación foto-oxidativa o la colonización biológica conocida como “biofouling”, aumentan su densidad efectiva, lo que favorece su sedimentación hacia el lecho marino (Shi et al., 2024; Vásquez et al., 2021; Xu et al., 2024).

Asimismo, el envejecimiento ambiental altera la rugosidad superficial y la hidrofilicidad de los fragmentos, modificando sustancialmente su comportamiento hidrodinámico y su capacidad de interacción con otros contaminantes presentes en el medio, lo que permite que estas partículas se acumulen de forma heterogénea en diversos ecosistemas, desde las zonas costeras hasta las profundidades oceánicas (Harraq et al., 2022; Xu et al., 2024).

Esta acumulación selectiva en diversos estratos, exacerbada por la fragmentación constante y las transformaciones fisicoquímicas que experimentan las partículas, oscurece la relación entre la fuente original y el punto de depósito final, dificultando significativamente su trazabilidad (Osman et al., 2023; Xu et al., 2024). Al perderse la identidad química y morfológica de los polímeros primarios debido a estos procesos de envejecimiento, el establecimiento de modelos precisos de flujo ambiental se vuelve complejo, lo cual limita severamente la capacidad de rastrear el impacto real de estos contaminantes en el ciclo hidrológico y, en última instancia, en la seguridad alimentaria de los sistemas de consumo humano (Osman et al., 2023; Shi et al., 2024).

2.2.7. Microplásticos en bebidas

La detección de microplásticos en productos de consumo, incluyendo tanto aguas de red como diversas bebidas embotelladas, ha emergido como una ruta de exposición humana directa de relevancia creciente (Al-Mansoori et al., 2025b; Jin et al., 2021). Estudios han demostrado que las concentraciones de estas partículas varían significativamente según factores como el tipo de envase, la composición polimérica y las condiciones fisicoquímicas de la bebida, tales como su acidez y temperatura, los cuales pueden catalizar procesos de degradación y lixiviación de materiales hacia el líquido (Al-Mansoori et al., 2025b).

Mientras que en el suministro de agua del grifo la contaminación puede provenir de la infraestructura de distribución, en las bebidas envasadas el desprendimiento de partículas se asocia a menudo con la meteorización del envase, siendo polímeros como el tereftalato de polietileno y el polipropileno los más frecuentemente identificados (Fournier et al., 2021; Алибеков et al., 2025). Este consumo cotidiano plantea interrogantes críticos sobre las posibles implicaciones fisiológicas y toxicológicas a largo plazo, exacerbadas por la presencia de aditivos químicos lixiviados, lo cual subraya la necesidad de una evaluación más profunda de los riesgos para la salud humana (Ageel et al., 2021; Al-Mansoori et al., 2025b).

2.2.8. Presencia en agua

La presencia de microplásticos en el agua destinada al consumo humano, tanto en el suministro de red pública como en productos embotellados, representa una vía de exposición de creciente preocupación científica. En el agua de grifo, la contaminación proviene fundamentalmente de la calidad del agua de origen, cuya carga inicial puede persistir tras

procesos de tratamiento convencional, o bien es introducida durante su transporte por la infraestructura de distribución, donde el desgaste de tuberías y componentes sintéticos actúa como fuente secundaria de partículas (Fournier et al., 2021; Gálvez-Blanca et al., 2024; Zhang et al., 2020).

Por el contrario, en el agua embotellada, la mayor parte de la carga contaminante deriva de los materiales de envasado, siendo el tereftalato de polietileno y el polipropileno los polímeros más identificados; este desprendimiento se ve catalizado por factores fisicoquímicos como la exposición prolongada a la radiación ultravioleta, temperaturas elevadas durante el almacenamiento o el desgaste mecánico derivado de la apertura y cierre de tapas y la reutilización de envases (Fournier et al., 2021; Zhang et al., 2020).

Esta doble problemática, caracterizada por la persistencia de las partículas tras los procesos de potabilización y su liberación activa por parte de los materiales de envasado, pone de manifiesto la complejidad de mitigar la ingestión de estas sustancias en la dieta cotidiana, subrayando la necesidad de estándares de fabricación más estrictos y una mejor comprensión de la resiliencia de los envases plásticos frente a condiciones ambientales críticas (Al-Mansoori et al., 2025b; Gambino et al., 2022).

2.2.9. Contaminación en envases

La lixiviación de aditivos químicos tales como plastificantes, estabilizadores y monómeros residuales desde los contenedores plásticos constituye una preocupación toxicológica crítica, dado que estos compuestos incorporados durante la manufactura para mejorar la durabilidad, resistencia y flexibilidad del producto pueden migrar significativamente hacia la bebida (Gambino et al., 2022). A este respecto, el proceso de transferencia se ve exacerbado por las condiciones de almacenamiento, como la exposición a temperaturas elevadas, la radiación ultravioleta y el desgaste mecánico derivado del uso repetido o la reutilización de envases; dichos factores alteran la integridad estructural del polímero y facilitan la liberación tanto de micropartículas como de sustancias químicas disueltas (Al-Mansoori et al., 2025b; Gálvez-Blanca et al., 2024).

Ante este panorama, la presencia de estas sustancias lixiviadas junto a los microplásticos en suspensión incrementa la complejidad del perfil de exposición humana, lo cual exige una evaluación rigurosa que trascienda la mera cuantificación de partículas y considere el

impacto sinérgico y crónico de esta combinación de contaminantes en los tejidos biológicos y la seguridad alimentaria (Ageel et al., 2021; Al-Mansoori et al., 2025b).

2.2.10. Riesgos de los microplásticos para la salud humana

La caracterización del riesgo sanitario asociado a la ingesta crónica de microplásticos y sus aditivos químicos constituye un desafío epidemiológico complejo, dado que estos contaminantes pueden inducir estrés oxidativo, respuestas inflamatorias sistémicas y alteraciones en la homeostasis celular tras su translocación a través del epitelio intestinal (Al-Mansoori et al., 2025b; Fournier et al., 2021).

Esta preocupación se ve agravada por la potencial lixiviación de aditivos tóxicos, como plastificantes y estabilizadores, los cuales pueden ejercer efectos disruptores endocrinos y citotóxicos una vez absorbidos por el organismo (Ageel et al., 2021). A pesar de que los modelos de exposición actuales comienzan a integrar estas variables, existe una necesidad urgente de investigación adicional para determinar los umbrales de seguridad, la biodisponibilidad a nivel tisular y los efectos sinérgicos a largo plazo que estas partículas, en combinación con su carga química asociada, podrían ejercer sobre la salud humana (Vethaak & Legler, 2021).

Asimismo, las micropartículas actúan como vectores de contaminantes ambientales y patógenos, cuya potencial acumulación en órganos específicos requiere estudios toxicológicos más robustos para dilucidar efectos como mutaciones genéticas y alteraciones en la capacidad reproductiva (Gambino et al., 2022; Osman et al., 2023). La importancia de profundizar en este campo reside en que una evaluación precisa del riesgo sanitario es indispensable para establecer políticas de salud pública basadas en evidencia científica, permitiendo definir umbrales de exposición seguros y estrategias de mitigación eficaces contra esta amenaza persistente (Ageel et al., 2021).

2.2.11. Mecanismos de toxicidad

Los efectos adversos a nivel celular se desencadenan por fenómenos como el daño al ADN, la alteración en la expresión génica y proteica, y el incremento significativo de estrés oxidativo y procesos inflamatorios, los cuales pueden derivar en necrosis o apoptosis celular (Al-Mansoori et al., 2025b; Fournier et al., 2021). Estos mecanismos de toxicidad se ven potenciados por las propiedades fisicoquímicas intrínsecas de las micropartículas, incluyendo su tamaño, morfología y área superficial, que facilitan su internalización

mediante endocitosis y comprometen la integridad de la barrera epitelial (Ageel et al., 2021; Fournier et al., 2021).

Adicionalmente, la lixiviación intracelular de aditivos químicos, tales como plastificantes y estabilizadores, actúa como un factor de estrés metabólico adicional que, al interactuar con receptores nucleares, puede perturbar la señalización endocrina y exacerbar el daño citotóxico (Ageel et al., 2021). Finalmente, la capacidad de los microplásticos para actuar como vectores de contaminantes ambientales adsorbidos, incluyendo metales pesados y compuestos orgánicos persistentes, intensifica el perfil tóxico y aumenta la complejidad de la respuesta biológica a largo plazo, lo que subraya la necesidad crítica de caracterizar su biodisponibilidad y potencial de bioacumulación en órganos diana (Gambino et al., 2022; Osman et al., 2023).

2.2.12. Efectos fisiológicos conocidos

Las investigaciones preliminares indican que las partículas con un diámetro inferior a 20 µm poseen la capacidad de atravesar membranas biológicas, permitiendo su translocación hacia órganos internos donde pueden inducir respuestas citotóxicas, genotóxicas e inmunotóxicas (Fournier et al., 2021; Vethaak & Legler, 2021). En este sentido, la interacción de los microplásticos con el sistema inmunitario y su potencial acumulación en órganos críticos, como la placenta, el feto y el sistema nervioso central, constituye un área de estudio fundamental que todavía presenta lagunas significativas en el conocimiento científico (Vethaak & Legler, 2021).

Además, se ha observado que la presencia de estas partículas altera los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción debido, en parte, a la formación de una corona biológica y a la lixiviación de aditivos tóxicos, factores que pueden comprometer la homeostasis celular y promover estados de inflamación crónica (Ageel et al., 2021; Vethaak & Legler, 2021). Dada esta complejidad fisiopatológica, es imperativo profundizar en la evaluación de la biodisponibilidad tisular y los efectos sinérgicos a largo plazo de esta carga contaminante, con el fin de establecer políticas sanitarias basadas en evidencia sólida (Gambino et al., 2022; Vethaak & Legler, 2021).

2.2.13. Evaluación del riesgo

La cuantificación precisa de esta amenaza exige modelos experimentales que integren la dinámica de los microplásticos como vectores de contaminantes orgánicos persistentes y

metales pesados, cuya concentración en la superficie de la partícula puede superar en varios órdenes de magnitud los niveles detectados en el entorno (Jiang et al., 2020; Smith et al., 2018). Es fundamental avanzar hacia una caracterización estandarizada de las vías de resultados adversos, que permita discernir si las respuestas moleculares observadas representan daños biológicos significativos o procesos adaptativos transitorios (Hampton et al., 2022). Además, es imperativo que los futuros marcos de evaluación incorporen condiciones de exposición realistas, considerando que las partículas ambientales envejecidas y la formación de una corona biológica in vivo modifican sustancialmente las interacciones biológicas respecto a los materiales vírgenes empleados en ensayos toxicológicos convencionales.

Además, es fundamental reconocer que la degradación de los envases durante el almacenamiento prolongado, al alterar la cinética de migración de aditivos químicos, representa una variable crítica que debe ser integrada en los modelos de evaluación. La cuantificación efectiva del riesgo requiere, por tanto, un enfoque multidisciplinar que emplee modelos de exposición probabilísticos a largo plazo y marcos multicompartimentales, superando las limitaciones de los ensayos toxicológicos convencionales que, al utilizar dosis elevadas de materiales vírgenes, a menudo subestiman la realidad biológica de la exposición crónica a dosis bajas (Ageel et al., 2021; Smith et al., 2018).

Este esfuerzo debe complementarse con la implementación de protocolos estandarizados a nivel global, esenciales para armonizar los datos experimentales y reducir la alta variabilidad que actualmente dificulta la formulación de conclusiones precisas sobre el impacto en la salud humana (Gambino et al., 2022).

.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación

Para el presente estudio se empleó un diseño no experimental de tipo transversal, dado que no se manipularon deliberadamente las variables y el enfoque se fundamentó en la observación y análisis de los fenómenos tal como se presentan en su contexto natural. Este diseño fue adecuado, ya que el estudio cuenta con un marco teórico sólido que respalda el análisis de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos reutilizados. Asimismo, se desarrolló un nivel descriptivo, cuyo propósito es caracterizar y detallar la prevalencia de microplásticos y su posible impacto en la salud humana.

De acuerdo con Hernández et al. (2014), un diseño no experimental se define como aquel en el que "la investigación se realiza sin manipular deliberadamente variables". Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables". Este enfoque permite analizar la realidad sin introducir modificaciones que puedan alterar los resultados del fenómeno estudiado.

3.2 Técnicas e instrumentos

El presente estudio tuvo como técnica de estudio la observación, para lo cual lo instrumentos utilizados:

- Ficha de registro de muestras.
- Microscopio estereoscópico Leica EZ4E (desde 8x hasta 35x).

3.3 Materiales e instrumentos

Para este estudio, se utilizaron los siguientes materiales:

- Frascos de vidrio estériles.
- Guantes desechables.
- Etiquetas y marcadores.
- Filtros de membrana.
- Papeles de filtro.
- Agitadores magnéticos

- Bomba de vacío
- Cloruro de sodio
- Peróxido de hidrógeno (H_2O_2)
- Embudo de decantación 500 mL
- Vasos precipitados

3.4 Ámbito de estudio

El ámbito geográfico del estudio se centró en la ciudad de Juliaca, ubicada en la región de Puno, Perú. Juliaca es una ciudad conocida por su dinamismo comercial y su creciente mercado de productos de consumo humano, incluyendo líquidos comercializados en recipientes plásticos. Para este estudio, se seleccionaron puntos de venta representativos en diversas zonas de la ciudad, abarcando mercados, tiendas y puestos ambulantes. Esto garantiza una adecuada representación de la diversidad de prácticas comerciales relacionadas con la utilización de recipientes de plástico en la región (Figura 2).

El estudio se llevó a cabo en la zona urbana del distrito de Juliaca (provincia de San Román, departamento de Puno), caracterizada por un alto tránsito comercial y una intensa venta ambulatoria de bebidas.

Figura 2

La delimitación geográfica del área de estudio y la ubicación de los nueve puntos de recolección de muestras en la ciudad de Juliaca,2025.



Fuente: Google Earth, (2026).

En la presente investigación, la población estuvo constituida por las bebidas comercializadas en recipientes plásticos dentro de la ciudad de Juliaca, destinadas al consumo humano y distribuidas a través de vendedores ambulantes y pequeños comerciantes. Se priorizó el estudio de las bebidas tradicionales de alto consumo en la localidad, tales como jugos de quinua, cañihua, maca, refrescos locales y mates calientes.

Así mismo, para la presente investigación se aplicó un diseño de muestreo no probabilístico de tipo intencional, una estrategia metodológica ampliamente validada en estudios recientes orientados a la evaluación del riesgo por exposición a microplásticos en productos de consumo masivo (Altunışık, 2023; Hoseinzadeh et al., 2024). La literatura demuestra que este enfoque permite capturar escenarios reales de vulnerabilidad humana al seleccionar las muestras basándose en la popularidad, el tipo de envasado y los canales de mayor comercialización o afluencia (Altunışık, 2023; Hoseinzadeh et al., 2024; Su et al., 2025).

La selección de 71 muestras responde a un criterio de suficiencia estadística necesario para la estratificación del fenómeno. Este tamaño muestral permitió una distribución equilibrada en los tres grupos de estudio ($n > 20$ por categoría), asegurando la potencia de la prueba de Kruskal-Wallis para identificar diferencias significativas ($p < 0.001$) tras verificar la no normalidad de los datos mediante Shapiro-Wilk.

3.5. Acciones y actividades para la ejecución del proyecto

3.5.1. Recolección de muestras

La recolección de muestras se realizó durante el mes de setiembre del año 2025, priorizando zonas urbanas de alta afluencia peatonal y comercial, como mercados zonales, centros comerciales y puntos de tránsito continuo. Se mantuvo un ritmo de recolección de entre 8 y 9 muestras a lo largo de tres días por semana, con el propósito de representar condiciones reales de consumo y exposición de la población. Se recolectaron productos líquidos disponibles para la venta al momento del muestreo, obteniéndose un total de 71 muestras. Como criterio de inclusión, se consideraron exclusivamente bebidas tradicionales de alto consumo en la localidad, de venta directa, excluyéndose productos de manufactura industrial, debido a que este tipo de preparación suele presentar menor estandarización higiénica y mayor susceptibilidad a la contaminación por partículas atmosféricas. Asimismo, se incluyeron únicamente bebidas comercializadas en recipientes plásticos, dado que, según

Liu et al. (2025) sus variaciones térmicas pueden favorecer la abrasión del material polimérico y la liberación de microplásticos hacia la matriz líquida.

Inmediatamente después de su adquisición, las muestras fueron rotuladas, protegidas y transportadas al laboratorio en contenedores térmicos cerrados para evitar alteraciones o contaminación cruzada. Posteriormente, se almacenaron bajo refrigeración a aproximadamente 4 °C, envueltas con papel aluminio y protegidas de la luz hasta su procesamiento analítico, con el fin de minimizar la fotodegradación del envase, limitar la proliferación microbiana y preservar la integridad de la muestra. Estas medidas permitieron asegurar que la concentración de microplásticos determinada en laboratorio reflejara, con la mayor fidelidad posible, las condiciones de contaminación presentes en el producto al momento de su comercialización.

Para el análisis comparativo de la abundancia y morfología de microplásticos, las bebidas recolectadas se clasificaron en tres grupos diferenciados, (Tabla 1). Esta categorización se fundamentó en dos criterios críticos: la naturaleza reológica de la matriz (carga de sólidos y viscosidad) y el estado térmico al momento del expendio, factores que influyen directamente en la dinámica de contaminación y en la eficiencia de recuperación de las partículas (Battaglini et al., 2024; Chaïb et al., 2025).

Tabla 1

Clasificación de muestras alimentarias según su estructura reológica y percepción térmica de expendio en Juliaca,2025.

Estructura de la Matriz	Percepción Térmica	Ejemplos de Insumos	Grupo de Estudio
Coloidal: Alta densidad de sólidos suspendidos y biopolímeros; comportamiento no newtoniano	Percepción táctil > 40°C (caliente) < 40°C (temperatura ambiente)	Quinua, maca, avena, bebidas de cereales.	Tipo 1
		Té, café, infusiones y extractos filtrados.	Tipo 2
Acuosa: Baja densidad de sólidos; fase líquida dominante; comportamiento newtoniano		Refrescos, chicha, agua.	Tipo 3

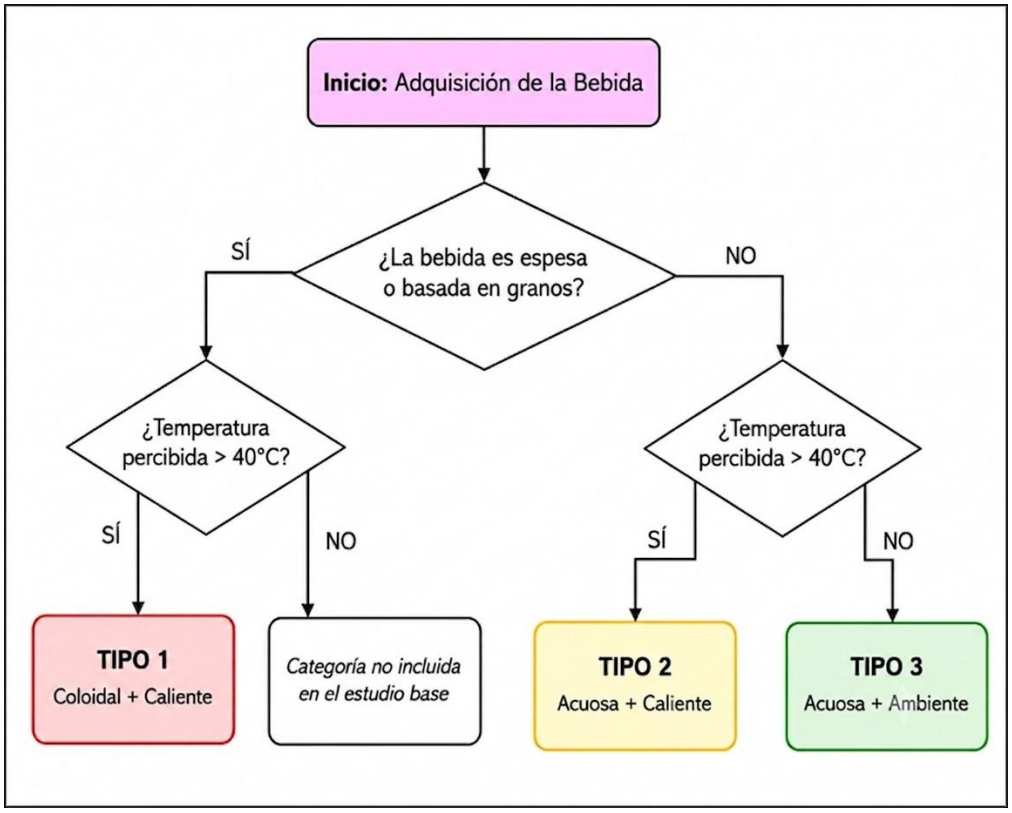
Fuente: Abraham & Diller, (2019).

La Figura 3. Presenta un proceso lógico para la clasificación de bebidas, estructurado mediante un árbol de decisiones que inicia con la adquisición del producto. El primer filtro evalúa las propiedades físicas de la bebida, diferenciando si es espesa, opaca o basada en granos. Una vez determinado este perfil físico, el flujo se ramifica para analizar la temperatura percibida, utilizando un umbral de 40 °C. Este proceso permite categorizar la muestra en tres grupos definidos: el "Tipo 1" corresponde a bebidas coloidales calientes; el "Tipo 2" agrupa a las bebidas acuosas calientes; y el "Tipo 3" identifica a las bebidas acuosas a temperatura ambiente. Finalmente, el modelo excluye de esta clasificación a cualquier bebida espesa que no alcance el umbral de temperatura establecido.

Diagrama de flujo para la clasificación y categorización de las muestras según la textura de la matriz y la temperatura percibida en Juliaca, 2025.

Figura 3

Diagrama de flujo para la clasificación y categorización de las muestras según la textura de la matriz y la temperatura percibida en Juliaca, 2025.



Fuente*:* Elaboracion propia.

3.5.2. Extracción de microplásticos

La extracción de microplásticos se llevó a cabo combinando un proceso de dilución, separación por densidad y digestión oxidativa. Para el tratamiento de las muestras, los envases comerciales fueron homogeneizados mediante agitación suave. Posteriormente, se transfirieron 250 mL de la muestra líquida a un vaso de precipitados de 500 mL, a las cuales se les adicionó 250 mL de agua destilada (dilución 1:1) con el fin de reducir la viscosidad inicial de la matriz (Díaz et al., 2020). Para efectuar la separación por densidad, se procedió según (Crosta et al., 2023) y (Hoseinzadeh et al., 2024) añadiéndose directamente 180 g de cloruro de sodio (NaCl) de grado analítico al volumen total de 500 mL para generar una solución saturada, el cloruro de sodio se solubilizó a 90 °C durante 30 min mediante agitación constante con una varilla de agitación magnética sin plástico (Figura 4).

A continuación, la solución resultante se transfirió a un embudo de decantación de vidrio, enjuagando los vasos de precipitados tres veces con aproximadamente 20 mL de agua destilada (previamente filtrada) e incorporando el líquido de lavado al embudo para evitar la pérdida de muestra. La mezcla se dejó reposar durante la noche, aproximadamente 12 horas, para permitir la sedimentación de las partículas. Transcurrido este periodo, se drenó cuidadosamente la fase inferior acuosa, conservando un margen de ~0.5 cm por encima del sedimento para prevenir el arrastre de las partículas flotantes.

La fracción superior sobrenadante, que contenía los presuntos MPs, fue transferida a un recipiente de vidrio limpio. Para eliminar la materia orgánica y los pigmentos residuales de la bebida, se aplicó una digestión oxidativa incorporando 100 mL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) filtrado al 30%, las muestras fueron selladas y puestas en incubación en una estufa a 60 °C durante 24 h. (Crosta et al., 2023).

Finalizada la digestión, el líquido resultante se procesó mediante un sistema de filtración al vacío utilizando filtro Whatman Grado 4 (filtro de celulosa con tamaño de poro de 2,5µm). En aquellas muestras que presentaron colmatación (obstrucción de los poros de la membrana), se utilizaron filtros sucesivos adicionales hasta completar la filtración del volumen total. Finalmente, los filtros con las partículas retenidas se recuperaron cuidadosamente utilizando pinzas de acero inoxidable y se depositaron en placas de Petri de vidrio prelavados. Las placas se cubrieron con papel aluminio para evitar la contaminación cruzada aerotransportada y se secaron a temperatura ambiente por 24 horas de forma previa a su caracterización microscópica (Figura 4).

Figura 4

Etapas clave del protocolo de laboratorio para la extracción y retención de microplásticos en el Laboratorio de la universidad Nacional de Juliaca, 2025.



Fuente: Elaboracion propia.

3.5.3. Identificación de microplásticos

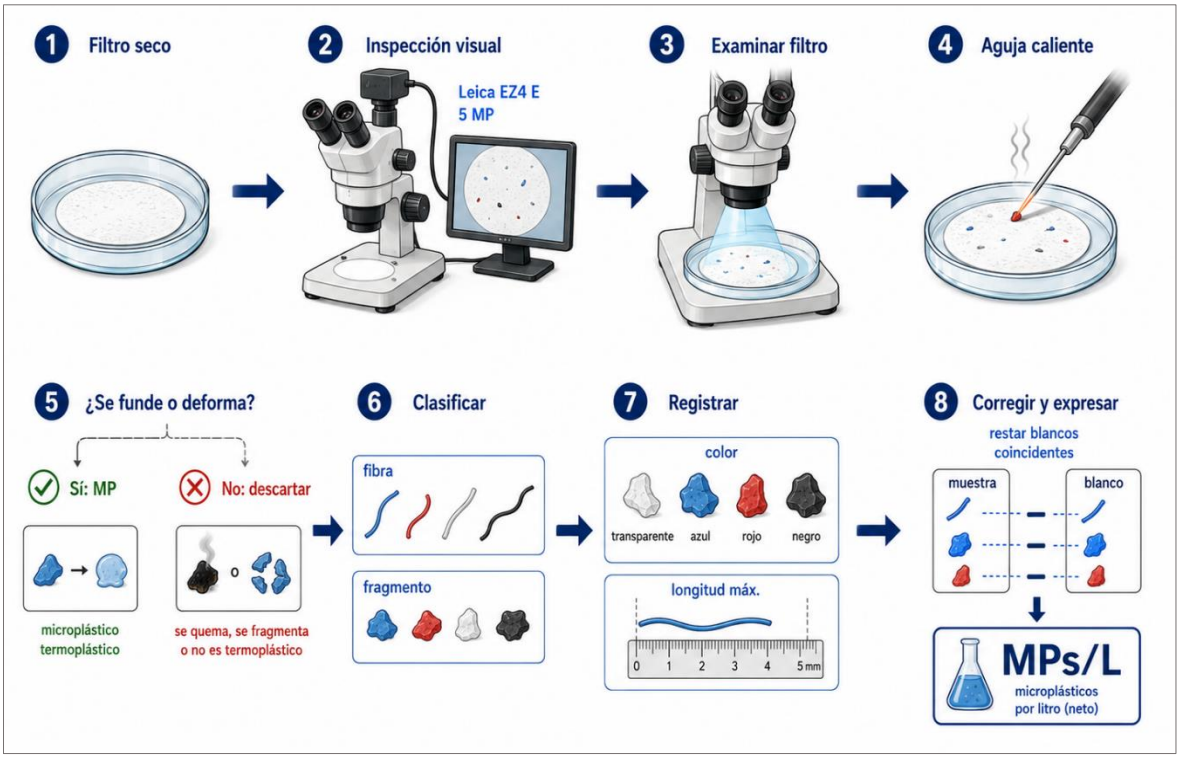
Una vez finalizado el proceso de filtración y tras el secado completo de las membranas a temperatura ambiente, se procedió a la inspección visual para la cuantificación y caracterización física de los presuntos microplásticos. La superficie total de cada filtro fue examinada sistemáticamente utilizando un estereomicroscopio integrado con una cámara digital HD de 5 megapíxeles (Leica EZ4 E).

Para evitar la sobreestimación por falsos positivos (como restos de celulosa no digeridos o minerales), las partículas sospechosas fueron sometidas a la prueba de la aguja caliente (hot needle test); aquellas que presentaron un comportamiento de fusión o deformación térmica fueron contabilizadas como polímeros termoplásticos, mientras que las que se incineraron o fragmentaron fueron descartadas (Beckingham et al., 2023; Kumar et al., 2018). Las partículas confirmadas visualmente se categorizaron según su morfología. Asimismo, se documentó su color (ej., transparente, azul, rojo, negro) y se midió su dimensión longitudinal máxima (Figura 5).

Para determinar la concentración neta y evitar sobreestimaciones por contaminación, las partículas detectadas en los blancos de procedimiento fueron deducidas de las muestras comerciales correspondientes a su lote de trabajo, aplicando la sustracción únicamente cuando los ítems del blanco coincidían exactamente en morfología (fibra/fragmento) y perfil cromático con los de la muestra, de acuerdo con el criterio establecido por Chaïb et al. (2025). Finalmente, para estandarizar los resultados y permitir la comparabilidad, el valor neto se extrapoló volumétricamente, expresando la abundancia final como el número de partículas por litro de bebida (MPs/L).

Figura 5

Procedimiento para la caracterización física y determinación de la concentración neta de microplásticos en Juliaca, 2025.



Fuente: Elaboracion propia.

La Figura 5. Detalla el diagrama del proceso sistemático de ocho pasos utilizado para la identificación, caracterización física y determinación de la concentración neta de microplásticos en las bebidas analizadas

- El flujo metodológico comienza con el secado del filtro y la inspección visual de toda su superficie mediante un estereomicroscopio Leica EZ4 E equipado con una cámara de 5 megapíxeles
- Posteriormente, para evitar falsos positivos por restos orgánicos o minerales, se examinan las partículas bajo la crucial prueba de la aguja caliente (hot needle test), la cual permite clasificar como microplásticos termoplásticos únicamente a las partículas dudosas que se funden o deforman de manera elástica, descartando aquellas que se queman o fragmentan
- En las fases finales, las partículas confirmadas se clasifican por su morfología (en fibras o esponjas/fragmentos), se registra su perfil cromático y su longitud máxima, y se aplica una corrección sustractiva deduciendo los blancos de procedimiento para expresar con precisión la abundancia neta final en microplásticos por litro (MPs/L) de bebida.

3.5.4. Control de calidad

Para prevenir la contaminación cruzada y garantizar la confiabilidad de los resultados, se implementaron medidas estrictas de aseguramiento y control de calidad durante la preparación, digestión y filtración de las muestras. Todos los procedimientos se realizaron en un ambiente de laboratorio controlado, manteniendo puertas y ventanas cerradas para minimizar la dispersión de partículas aerotransportadas (Fragão et al., 2021). El personal utilizó batas de algodón 100 % y guantes de nitrilo sin polvo, con el propósito de reducir la incorporación de fibras sintéticas y partículas dérmicas durante el procesamiento (Fragão et al., 2021). Asimismo, se evitó el uso de materiales plásticos en contacto con las muestras, empleándose exclusivamente recipientes de vidrio e instrumentos de acero inoxidable (Kernchen et al., 2024).

Previo a cada análisis, el material de laboratorio fue lavado y enjuagado dos veces con agua destilada y secado en un horno de aire caliente antes de su utilización (Battaglini et al., 2024). Adicionalmente, todas las soluciones empleadas en la extracción, incluyendo el agua destilada y el peróxido de hidrógeno al 30 %, fueron prefiltradas mediante filtro Whatman Grado 4 (filtro de celulosa con tamaño de poro de 2,5 μm) antes de entrar en contacto con las muestras (Crosta et al., 2023). Finalmente, para monitorear sistemáticamente la contaminación de fondo del laboratorio, el trabajo analítico se estructuró en lotes paralelos.

Se procesaron un total de siete (7) blancos de procedimiento (un blanco por cada lote de aproximadamente 10 muestras), analizando un control negativo por cada lote de aproximadamente diez muestras comerciales. Para la elaboración de cada blanco, se utilizó una alícuota de agua destilada prefiltrada equivalente al volumen de las muestras, la cual fue sometida exactamente a las mismas condiciones de extracción, digestión química y filtración al vacío que las bebidas comerciales (Socas-Hernández et al., 2024).

3.5.5. Evaluación del riesgo para la salud humana

Una vez deducida la contaminación del laboratorio y obtenida la abundancia neta purificada de cada muestra, los datos fueron reagrupados de acuerdo a su zona de comercialización o mercado de procedencia para evaluar el impacto espacial. Para estimar la magnitud del peligro sanitario en cada punto de la ciudad, se calculó el Factor de Contaminación por Microplásticos (MPCF) siguiendo las ecuaciones validadas en evaluaciones toxicológicas recientes (Altunışık, 2023; Chakraborty et al., 2024):

$$\text{MPCF} = \frac{MPa}{MPm}$$

MPa = Es la cantidad o concentración de microplásticos detectada en la muestra específica que se está analizando.

MPm = Es el "valor de fondo" o línea base, o la concentración más baja encontrada en su propia área de muestreo.

Finalmente, para la interpretación de los resultados y la categorización del impacto sanitario de cada mercado, se empleó una escala estratificada de cuatro niveles de severidad validada en la literatura toxicológica reciente:

Tabla 2

Escala de clasificación del nivel de contaminación ambiental según rangos del indicador MPCF en Juliaca, 2025.

Nivel de contaminación	Rango de MPCF
Baja 47	< 1
Moderada	1 – 3
Considerable	3 – 6
Muy alta	> 6

Fuente: Kabir et al. (2021).

En la Tabla 3, a diferencia del MPCF, que evalúa la toxicidad de las muestras de forma individual, el MPLI permite consolidar y determinar el estado de contaminación conjunta de un grupo de muestras procedentes de una misma área de comercialización o mercado específico (Chakraborty et al., 2024). Matemáticamente, el MPLI se define como la raíz enésima del producto de los factores de contaminación individuales registrados en cada zona, determinándose mediante la siguiente ecuación (Chakraborty et al., 2024; Soudavari et al., 2025):

$$\mathbf{MPLI} = (\mathbf{MPCF_1}\, x \mathbf{MPCF_2 MPCF_3} \ldots\ldots\ldots \mathbf{MPCF_n})^{\mathbf{1/n}}$$

Donde MPCF1, 2, = representan los Factores de Contaminación por Microplásticos de cada bebida evaluada

n = es el número total de muestras analizadas dentro de ese grupo espacial.

Finalmente, para la interpretación de los resultados y la categorización del impacto ecológico y sanitario de cada mercado, se empleó una escala estratificada de cuatro niveles de severidad validada en la literatura toxicológica reciente (Chakraborty et al., 2024):

En la tabla 6. Para calcular el riesgo a la salud se tomó ingesta diaria estimada (IDE) de concentraciones de microplásticos en bebidas como indica Altunışık (2023), se utilizó la ecuación:

$$EDI = (Cr\ x\ IR)/BW$$

Donde Cr es la concentración de microplásticos detectada en las bebidas (partículas/L); IR es la tasa de ingesta diaria, asumiendo un consumo de 307 mL/día para hombres y 251 mL/día para mujeres de 18 a 59 años. Estos valores corresponden al consumo de bebidas preparadas con azúcar reportado en adultos peruanos por Guzman-Vilca et al. (2022); y BW representa el peso corporal promedio de un adulto, establecido en 70 kg conforme a Arena et al. (2015).

Tabla 3

Escala de clasificación del riesgo ambiental según rangos del índice de carga de microplásticos (MPLI) en Juliaca, 2025.

Nivel de riesgo	**Rango de MPLI**	MPLI
Nivel de Riesgo 1	Riesgo mínimo/bajo	MPLI < 10
Nivel de Riesgo 2	Riesgo moderado	10 ≤ MPLI < 20
Nivel de Riesgo 3	Riesgo considerable	20 ≤ MPLI < 30
Nivel de Riesgo 4	Nivel de peligro o riesgo extremo	MPLI > 30

Fuente: Ramaremisa et al. (2025) y Soudavari et al. (2025).

3.6. Tratamiento de datos

Los datos obtenidos fueron organizados inicialmente en Microsoft Excel y posteriormente procesados en IBM SPSS Statistics. Se realizó un análisis descriptivo de la abundancia total de partículas de microplásticos por categoría de matriz, considerando la mediana, el rango intercuartílico, valores mínimos y máximos, debido a la variabilidad propia de las muestras ambientales. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, con un nivel de significancia de 0.05. Al evidenciarse que los datos no presentaban una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para comparar la abundancia de partículas entre las tres categorías evaluadas. Cuando se identificaron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples por parejas con corrección de Bonferroni, considerando la significancia ajustada para la interpretación de los resultados. En todos los análisis, los valores de p menores que 0.05 se consideraron estadísticamente significativos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del análisis de 71 muestras correspondientes a tres tipos de productos líquidos comercializados en recientes plásticos en la ciudad de Juliaca durante el año 2025. Los resultados se presentan en función de los objetivos específicos planteados en la investigación.

4.1. Concentración de microplásticos en productos

El primer objetivo específico consistió en cuantificar la concentración de microplásticos presentes en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos, recolectados en distintas zonas de venta de la ciudad de Juliaca durante el año 2025. Para ello, se analizaron un total de 71 muestras correspondientes a diferentes tipos de bebidas.

En la Tabla 4, los resultados analíticos de la cuantificación de microplásticos en un total de 71 muestras distribuidas en tres categorías de estudio. En primer lugar, el Tipo 1 (matrices coloidales de alta carga sólida expendidas en caliente) presenta una frecuencia de detección del 91.67% en 24 muestras, registrando la concentración media más baja con 15.17 MPs/L y un rango de 0 a 52 MPs/L. En segundo lugar, el Tipo 2 (matrices acuosas de bajo contenido de sólidos expendidas en caliente) muestra una presencia del 100.00% en 20 muestras y alcanza la mayor concentración media con 53.60 MPs/L, así como el valor máximo individual del estudio dentro de su rango de 8 a 168 MPs/L. Por su parte, el Tipo 3 (matrices acuosas de bajo contenido de sólidos expendidas a temperatura ambiente) también registra un 100.00% de detección en 27 muestras, con una media notable de 44.59 MPs/L y un rango de 12 a 136 MPs/L. Finalmente, a nivel total global, se destaca que los microplásticos contaminan el 97.18% de todas las bebidas evaluadas, estableciendo un promedio general de 37.18 MPs/L (con una desviación estándar de 36.26 MPs/L) dentro de un rango absoluto de 0 a 168 MPs/L.

Tabla 4

Concentración y frecuencia de detección de microplásticos (MPs/L) según el tipo de matriz y temperatura de expendio de bebidas en Juliaca, 2025.

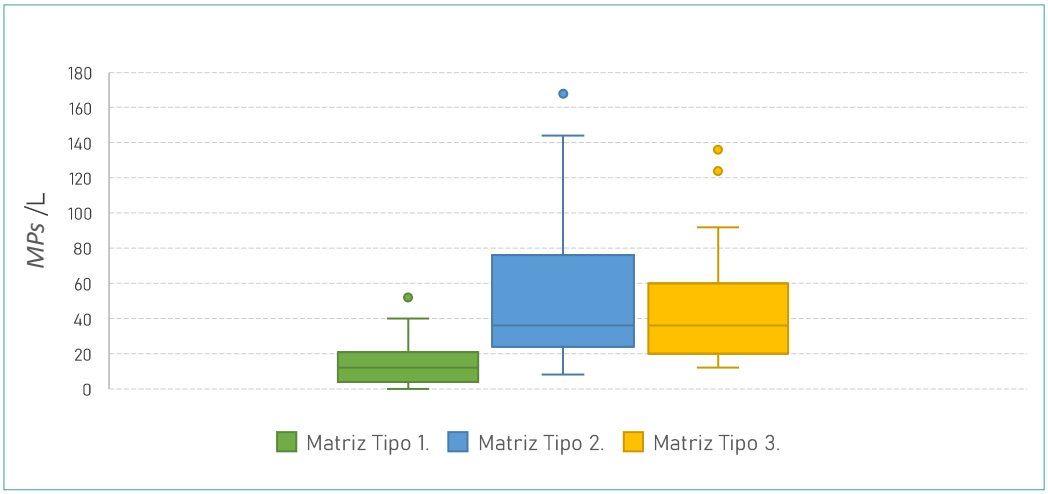
Grupo de muestras según tipo de matriz	**Número de muestras**	**Frecuencia de Detección (%)**	**Media** (MPs/ L)	**DE** (MPs /L)	**Rango** (MPs /L)
Tipo 1. Matrices coloidales de alta carga sólida, expendidas en caliente	24	91,67	15,17	12,81	0 – 52
Tipo 2. Matrices acuosas de bajo contenido de sólidos, expendidas en caliente	20	100,00	53,60	46,53	8 – 168
Tipo 3. Matrices acuosas de bajo contenido de sólidos, expendidas a temperatura ambiente	27	100,00	44,59	33,18	12 – 136
Total, Global	**71**	**97,18**	**37,18**	**36,26**	**0 – 168**

Fuente: Elaboracion propia.

En la Figura 6, el análisis estadístico reveló diferencias significativas en la abundancia total de microplásticos entre las tres categorías de bebidas evaluadas ($H(2) = 21,195$, $p < 0,001$). Específicamente, las comparaciones post hoc con corrección de Bonferroni demostraron que la Categoría 1 presentó una concentración de partículas significativamente menor en comparación con la Categoría 2 (p ajustado < 0,001) y la Categoría 3 (p ajustado < 0,001). Por el contrario, no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de micropartículas entre la Categoría 2 y la Categoría 3 (p ajustado = 1,000).

Figura 6

Diagrama de caja y bigotes representando la abundancia de microplásticos (MPs/L) en bebidas clasificadas por tipo de matriz en Juliaca, 2025.



Fuente: Elaboracion propia.

Respecto a la morfología, las partículas identificadas estuvieron ampliamente dominadas por la forma de fibra, las cuales representaron el 98,03 % del total global; su identificación se sustentó en criterios visuales específicos como una longitud significativamente mayor que su ancho, un diámetro constante en toda su extensión y una estructura resistente que no se deshilacha fácilmente, diferenciándose así de las fibras de algodón orgánico. En contraste, las partículas clasificadas como esponja constituyeron el 1,97 % restante, caracterizadas técnicamente por presentar poros visibles en su superficie y por colapsar o deformarse de manera elástica ante una ligera presión física o calor durante la prueba de la aguja caliente, lo que confirmó su origen sintético (como poliuretano o poliestireno expandido). Por tipo de matriz, la Matriz Tipo 1 estuvo compuesta exclusivamente por fibras (100,00 %), mientras que la Matriz Tipo 2 presentó 99,25 % de fibras y 0,75 % de esponjas. Finalmente, la Matriz Tipo 3 mostró la mayor proporción relativa de esponjas, con 3,65 %, aunque las fibras continuaron siendo la morfología predominante (96,35 %).

4.2. Características de las partículas microplásticas según su forma y color

El presente objetivo tuvo como finalidad identificar y cuantificar las formas y colores predominantes de las partículas microplásticas encontradas en las 71 muestras de bebidas recolectadas en los distintos puntos de compra de la ciudad. Los resultados se presentan

agrupados según la zona de adquisición, permitiendo observar las tendencias morfológicas y cromáticas de las partículas.

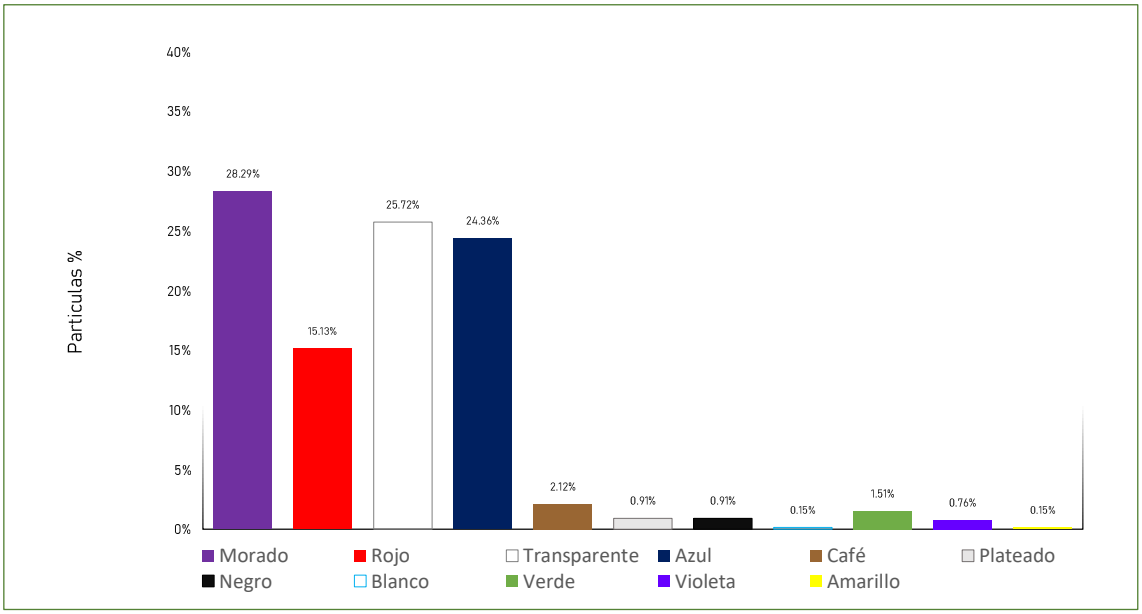
4.2.1. Perfil cromático

A nivel general se muestra el perfil cromático de las partículas. Los colores más frecuentes fueron morado, transparente, azul y rojo, los cuales concentraron en conjunto más del 90 % de las partículas caracterizadas cromáticamente. El color morado fue el más representativo del conjunto total, con 28,3 % de las partículas. Le siguieron las partículas transparentes, con 25,7 %, las azules, con 24,4 %, y las rojas, con 15,1 %. Los demás colores presentaron frecuencias considerablemente menores: café representó el 2,1 %, verde el 1,5 %, plateado y negro el 0,9 % cada uno, mientras que violeta, blanco y amarillo se observaron en proporciones inferiores al 1 % (Figura 7).

Características físicas reflejan indicios forenses sobre fuentes y limitaciones analíticas. La elevada proporción de fibras (98,03 %) y colores vibrantes indica que las partículas provienen principalmente de tintes de textiles sintéticos y no de envases PET (Chakraborty et al., 2024; Ramaremisa et al., 2025) , mientras que partículas transparentes sugieren polímeros no pigmentados o plásticos desgastados (Sarlin et al., 2024).

Figura 7

Distribución porcentual y abundancia relativa de microplásticos según su coloración en Juliaca, 2026.



Fuente*:* Elaboracion propia.

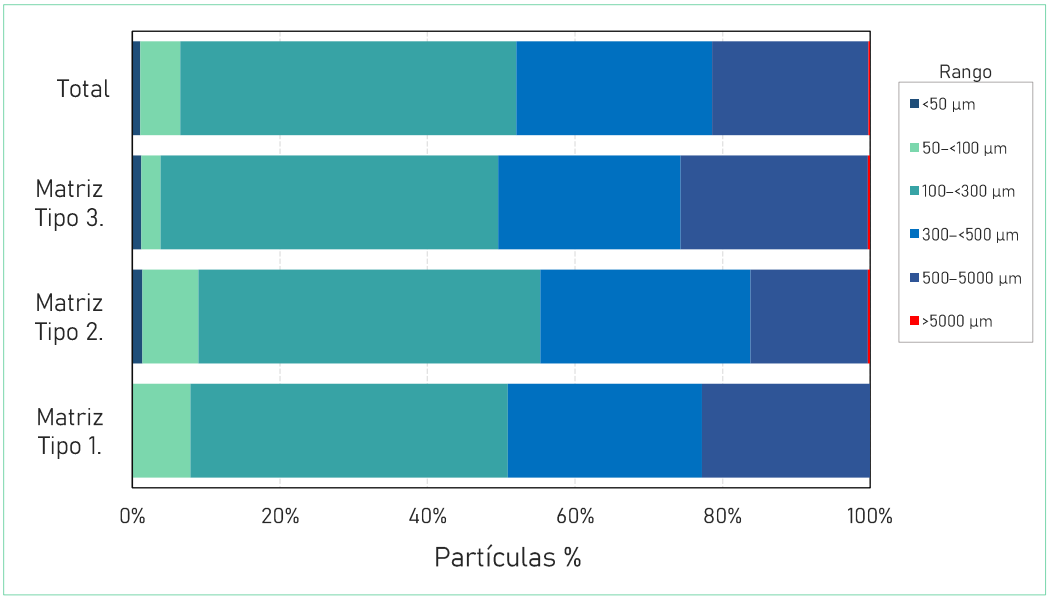
Comparando con la literatura global, los colores azul, rojo y transparente coinciden con estudios previos en bebidas (Altunışık, 2023; Shruti et al., 2020), pero la dominancia del morado constituye una "firma" local particular, distinta de reportes en Irán y China donde predominan negro y blanco (Hoseinzadeh et al., 2024; Su et al., 2025).

4.2.2. Distribución de tamaño según matriz

En el total de muestras, las partículas <50 µm representaron el 1,06 % y el rango 50 – <100 µm un 5,43 %; el rango 100–<300 µm constituyó la fracción mayoritaria con un 45,56 %; las partículas comprendidas entre 300 – <500 µm representaron 26,49 %, mientras que aquellas entre 500 – 5000 µm alcanzaron 21,19 %. Finalmente, se identificaron 2 partículas mayores a 5000 µm, equivalentes al 0,3 % del total. Estas partículas se registraron únicamente en las matrices Tipo 2 y Tipo 3, con una partícula en cada categoría. Debido a que superan el límite superior convencional de 5000 µm para microplásticos, estos registros deben reportarse de manera diferenciada como partículas plásticas de mayor tamaño. (Figura 8).

Figura 8

Distribución porcentual de microplásticos por rangos dimensionales de tamaño en la Ciudad de Juliaca, 2025.



Fuente: Elaboracion propia.

En la Figura 8. La concentración de partículas entre 100–300 µm concuerda con hallazgos en tés y cafés artesanales (Su et al., 2025) y refrescos (Hoseinzadeh et al., 2024; Shruti et al., 2020).Elementos >5000 µm evidencian ausencia de filtración artesanal, catalogándose como meso- o macroplásticos (Frias & Nash, 2019).

4.3. Riesgo para la salud humana de los microplásticos

En la tabla 5. presentan los resultados obtenidos del cálculo del MPCF, MPLI y EDI por zonas de muestreo, con el propósito de determinar los niveles de exposición asociados al consumo de estas bebidas.

Tabla 5

Nivel de contaminación (MPCF) e índice de riesgo (MPLI) por zonas de compra en los mercados y puntos de expendio de Juliaca, 2025.

Zona de compra	*n*	Rango del MPCF (Mín - Máx)	MPCF Promedio	Nivel de Contaminación (MPCF)	Índice de Carga de Contaminación (MPLI)	Nivel de Riesgo de la Zona (MPLI)
Centro Comercial 2	8	1.00 – 2.67	2.04	Moderada	1.964	Riesgo 1
Mercado Cerro Colorado	9	1.00 – 20.00	6.22	Muy alta	4.567	Riesgo 1
Mercado Internacional Túpac Amaru	9	1.00 – 5.00	2.94	Moderada	2.569	Riesgo 1
Mercado Las Mercedes	8	1.00 – 32.00	12.63	Muy alta	8.176	Riesgo 1
Mercado Pedro Vilcapaza	9	1.00 – 37.00	10.89	Muy alta	6.823	Riesgo 1
Mercado Santa Bárbara	7	1.00 – 21.50	6.00	Considerable	4.317	Riesgo 1
Mercado Santa Juana	8	1.00 – 22.00	7.50	Muy alta	5.462	Riesgo 1
Ovalo Salida Cusco	8	1.00 – 4.75	2.56	Moderada	2.263	Riesgo 1
Plaza de Armas	5	1.00 – 3.50	1.85	Moderada	1.614	Riesgo 1

Fuente: Elaboracion propia.

Los resultados obtenidos en la tabla 5, revelan la magnitud de la contaminación por microplásticos en las nueve zonas de muestreo evaluadas, lo que permite interpretar el peligro desde dos perspectivas métricas complementarias: el nivel de contaminación individual de las bebidas (MPCF) y la carga de riesgo conjunta de la zona comercial (MPLI).

En relación con el Factor de Contaminación por Microplásticos (MPCF), los datos evidencian una notable dispersión geográfica, clasificándose las zonas de expendio en tres niveles distintos de severidad. De manera alarmante, cinco de las nueve ubicaciones evaluadas exhibieron una contaminación de nivel “Muy alto” (MPCF > 6).

En este estrato crítico destacan el Mercado Pedro Vilcapaza y el Mercado Las Mercedes, los cuales registraron los promedios individuales más elevados de todo el estudio con 10.89 y 12.63, respectivamente, el Mercado Cerro Colorado (6.22) y el Mercado Santa Juana (7.50). Un segundo grupo de zonas presentó una contaminación de nivel “Considerable” (MPCF entre 3 y 6), en el cual se agrupan el Mercado Santa Bárbara. Las zonas de Mercado Internacional Túpac Amaru, Ovalo Salida Cusco, Plaza de Armas fueron clasificado con un nivel de contaminación “Moderada”, registrando el promedio más bajo del estudio (1.85), lo que indica una menor alteración respecto a la línea base de contaminación individual.

Por su parte, la evaluación del Índice de Carga de Contaminación (MPLI), se demostró que todos los valores calculados superaron el límite seguro, con un rango que osciló entre 1.614 y 8.176. Matemáticamente, este hallazgo confirma que el 100 % de las zonas de muestreo evaluadas se categorizan como entornos “Contaminados”, descartando la existencia de alguna ubicación en estado base o libre de riesgo en el área de estudio. Sin embargo, a pesar de los picos extremos observados en los promedios individuales, al aplicar el cálculo de la carga conjunta, todos los valores del MPLI se mantuvieron por debajo del umbral crítico de 10.

En la Tabla 6, muestra que la ingesta diaria estimada de partículas presentó variaciones entre las zonas de compra evaluadas. El Centro Comercial 2 registró la mayor cantidad promedio de partículas, con 20,50 partículas, y también los valores más altos de ingesta diaria estimada, alcanzando 0,0899 partículas/kg/día en varones y 0,0735 partículas/kg/día en mujeres. En segundo lugar, se ubicó el Mercado Cerro Colorado, con un promedio de 12,63 partículas y una EDI de 0,0554 partículas/kg/día para varones y 0,0453 partículas/kg/día para mujeres. Asimismo, el Mercado Internacional Túpac Amaru presentó un promedio de 12,00 partículas, con valores de EDI de 0,0526 y 0,0430 partículas/kg/día para varones y mujeres, respectivamente.

Tabla 6

Abundancia de microplásticos e Ingesta Diaria Estimada (EDI) en varones y mujeres según la zona de compra, ciudad de Juliaca, 2025.

Zona de compra	*n*	Partículas promedio	EDI Varones (partículas/kg/día)	EDI Mujeres (partículas/kg/día)
Centro Comercial 2	8	20,50	0.0899	0.0735
Mercado Cerro Colorado	9	12,63	0.0554	0.0453
Mercado Internacional Túpac Amaru	9	12,00	0.0526	0.0430
Mercado Las Mercedes	8	6,13	0.0269	0.0220
Mercado Pedro Vilcapaza	9	11,78	0.0517	0.0422
Mercado Santa Bárbara	7	7,50	0.0329	0.0269
Mercado Santa Juana	8	10,89	0.0478	0.0390
Ovalo Salida Cusco	8	6,22	0.0273	0.0223
Plaza de Armas	5	7,40	0.0325	0.0265
Promedio EDI			0.0463	0.0379

Fuente: Elaboracion propia.

En la Tabla 6, muestra los menores valores se observaron en el Mercado Las Mercedes, donde se registró un promedio de 6,13 partículas y una EDI de 0,0269 partículas/kg/día en varones y 0,0220 partículas/kg/día en mujeres. De manera similar, el Óvalo Salida Cusco presentó un promedio de 6,22 partículas, con valores de 0,0273 partículas/kg/día para varones y 0,0223 partículas/kg/día para mujeres.

En todas las zonas de compra, la ingesta diaria estimada fue mayor en los varones que en las mujeres. El promedio general de EDI fue de 0,0463 partículas/kg/día para los varones y de 0,0379 partículas/kg/día para las mujeres. Esta diferencia puede atribuirse a la mayor tasa de consumo diario considerada para los varones en el cálculo de la exposición.

4.4. Discusión

4.4.1. Concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.

Este estudio demostró una contaminación generalizada por partículas antropogénicas en las bebidas de elaboración artesanal evaluadas en Juliaca, evidenciando una frecuencia de detección del 97,18 %. Esta prevalencia fue absoluta (100 %) en las matrices Tipo 2 y Tipo 3 (acuosas), frente al 91,7 % en la Tipo 1 (coloides con alto contenido sólido). Al contrastar estos niveles con la literatura global, la tasa casi absoluta concuerda estrechamente con las frecuencias reportadas tanto en dinámicas comerciales similares de preparación abierta o in situ (93 % en Su et al., 2025 y 100 % en Al-Mansoori et al., 2025a en tés y cafés de alto tráfico) como en líneas de producción industriales automatizadas en Italia (Crosta et al., 2023) y Sudáfrica (Ramaremisa et al., 2025). Esta coincidencia confirma que la prevalencia de microplásticos (MPs) es un fenómeno transversal e inevitable, aunque originado por mecanismos distintos: mientras la industria sufre vulnerabilidades mecánicas por estrés físico y fricción de envases y tapas PET (Sobhani et al., 2020; Winkler et al., 2022), el escenario artesanal de Juliaca responde a un fallo por la falta de barreras físicas, lo que expone el líquido a la deposición atmosférica directa del entorno (Dris et al., 2017).

En términos cuantitativos, la concentración de microplásticos en Juliaca varió ampliamente desde 0 hasta 168 MPs/L, Al estratificar por tipo de matriz, las concentraciones medias revelaron un comportamiento diferenciado: 15,17 MPs/L en la Tipo 1 (coloides, expendidas en caliente), 53,6 MPs/L en la Tipo 2 (acuosas, expendidas en caliente) y 44,6 MPs/L en la Tipo 3 (acuosas, expendidas a temperatura ambiente). El máximo absoluto de 168 MPs/L registrado en la matriz Tipo 2 pone en manifiesto que las matrices acuosas de bajo contenido sólido poseen una menor capacidad de retención o atrapamiento de partículas en comparación con los coloides, permitiendo que las fibras permanezcan suspendidas y sean recuperadas con mayor eficiencia analítica.

Al comparar la abundancia detectada con la literatura, la concentración de microplásticos en las bebidas de venta ambulatoria de Juliaca supera significativamente a los promedios de las bebidas procesadas a nivel industrial, tales como los refrescos embotellados en Turquía (8,9 ± 2,95 MPs/L; Altunışık, 2023), Italia (9,94 ± 0,33 MPs/L; Crosta et al., 2023), España (2,5 ± 18,7 MPs/L; Socas-Hernández et al., 2024) y Francia (Chaïb et al., 2025). Por el contrario, los hallazgos se alinean de forma estrecha con investigaciones de preparación in situ y

artesanal en América Latina, donde se ha reportado que la manufactura a pequeña escala eleva drásticamente la carga de partículas (Díaz et al., 2020). Esto corrobora que las condiciones informales del comercio ambulatorio actúan como microambientes de transferencia acelerada de contaminantes hacia el producto final.

4.4.2. Características físicas de los microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.

El análisis de las características la forma, el color y el tamaño de los polímeros en las bebidas expendidas en Juliaca. Morfológicamente, el 98,03 % de las partículas identificadas correspondieron a fibras, mientras que solo el 1,97 % presentó formas tipo "esponja". El predominio de fibras es un fenómeno transversal documentado en bebidas comerciales a nivel internacional (83 % en España, Socas-Hernández et al., 2024; 95 % en Italia, Crosta et al., 2023; y 52,57 % en tés recién preparados, Su et al., 2025). No obstante, la proporción de fibras en Juliaca representa uno de los porcentajes más altos reportados, distanciándose de estudios en Irán y el Reino Unido donde los fragmentos plásticos son la morfología dominante (71 % - 90 %) debido a la degradación de los envases primarios (Hoseinzadeh et al., 2024; Al-Mansoori et al., 2025a). Esto sugiere que la contaminación en el expendio ambulatorio local está ligada a fuentes secundarias de manipulación y exposición, más que a la matriz alimentaria o al recipiente por sí mismo.

En lo relativo al perfil cromático, se determinó una dominancia compartida por los colores morado (28,3 %), transparente (25,7 %), azul (24,4 %) y rojo (15,1 %), acumulando en conjunto más del 90 % de la contaminación total. Si bien la presencia de tonos transparentes, azules y rojos concuerda con la literatura global en bebidas (Altunışık, 2023; Shruti et al., 2020), la marcada preponderancia del color morado actúa como una "firma cromática" local particular de la ciudad de Juliaca, un patrón divergente frente a los reportes de China o Irán donde prevalecen el blanco y el negro (Hoseinzadeh et al., 2024; Su et al., 2025). Desde el punto de vista del análisis, la combinación de una morfología fibrosa y colores vibrantes indica que las micropartículas provienen principalmente de los tintes de textiles sintéticos y del desgaste de prendas de uso cotidiano, revelando que el comercio ambulatorio de bebidas en Juliaca funciona como un sumisero de la contaminación textil urbana.

Con respecto al tamaño, el rango granulométrico de 100 a <300 µm concentró la fracción mayoritaria con el 45,56 % de las partículas, seguido de los intervalos de 300 a <500 µm y 500 a 5000 µm. Por su parte, las partículas menores a 100 µm representaron apenas el 6,49 % y las mayores a 5000 µm fueron un hallazgo aislado (0,3 %). Esta concentración masiva en el rango de 100–300 µm guarda una estrecha consonancia con los hallazgos en tés artesanales por Su et al. (2025) y refrescos comerciales (Hoseinzadeh et al., 2024). Dicha distribución física demuestra que la transferencia aérea durante los procesos abiertos de preparación, enfriamiento y servido en los puestos callejeros, sumada a la manipulación directa y el roce con textiles auxiliares (paños, filtros de tela), es el factor determinante que fija la carga y las dimensiones de las microfibras retenidas en las bebidas.

4.4.3. Evaluación del riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados de venta ambulatoria en Juliaca, 2025.

La evaluación de riesgo en los 9 puntos se midió a través del Índice de Carga de Contaminación por Microplásticos (MPLI) confirmó de manera que el 100 % de las zonas de comercialización ambulatoria evaluadas en la ciudad de Juliaca operan como entornos contaminados (MPLI > 1). A un nivel analítico más específico, el Factor de Contaminación por Microplásticos (MPCF) alcanzó la categoría de "Contaminación muy alta" (MPCF > 6) en 4 de las 9 zonas muestreadas. Los picos críticos registrados en el Mercado Pedro Vilcapaza y el Mercado Las Mercedes resultan completamente consistentes con los modelos toxicológicos de Ramaremisa et al. (2025) y Soudavari et al. (2025), los cuales asocian los índices de riesgo más severos a los microambientes con alta afluencia peatonal y severa congestión vehicular, elementos característicos del entorno comercial informal de Juliaca que exacerban la resuspensión de polvo vial y microfibras hacia los recipientes abiertos de alimentos.

Desde una perspectiva médica y de salud pública, la ingesta diaria, crónica y sostenida de estas bebidas artesanales representa un vector directo y significativo de exposición a fibras microplásticas para la población local. El tamaño de partícula predominante en el estudio (100–300 µm) se sitúa en un rango que convencionalmente no tiene la capacidad de atravesar de forma directa las barreras epiteliales intactas del intestino; sin embargo, la literatura toxicológica advierte que estas fibras largas sufren procesos de fragmentación secundaria debido a los movimientos mecánicos y los fluidos del tracto gastrointestinal, degradándose

en tamaños menores potencialmente absorbibles (Jiménez-Arroyo et al., 2023; Socas-Hernández et al., 2024).

Finalmente, el riesgo para la salud humana no se restringe únicamente al daño mecánico celular o a la obstrucción local, sino a un peligro químico de naturaleza sistémica. Los consumidores en Juliaca están ingiriendo de forma ineludible polímeros sintéticos que actúan como vehículos o transportadores de aditivos químicos tóxicos incorporados durante su fabricación o adsorbidos del aire urbano, tales como bisfenoles y ftalatos. Estos compuestos químicos son reconocidos internacionalmente como potentes disruptores endocrinos y agentes causantes de estrés oxidativo a nivel celular (Sajedi et al., 2025; Sewwandi et al., 2023). Los hallazgos presentados en esta investigación exponen un fallo estructural de la dependencia moderna hacia los materiales poliméricos en el sector alimentario informal y exigen la reformulación urgente de las políticas locales de seguridad alimentaria para mitigar este impacto silencioso en la salud pública de la región.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se determinaron microplásticos en los productos líquidos comercializados en recipientes plásticos reutilizados en la ciudad de Juliaca, y fue del 97.18%, evidenciando una presencia casi generalizada de este contaminante en las 71 muestras analizadas. La concentración promedio fue de 37.18 ± 36.26 MPs/L, con un rango de 0 a 168 MPs/L, lo que confirma una exposición significativa de la población consumidora y un riesgo potencial para la salud humana asociado a su ingesta.

Se logró cuantificar la concentración de microplásticos en los productos analizados, determinándose una media de 37.18 MPs/L, observándose además que las bebidas calientes presentaron la mayor concentración con un promedio de 53.60 MPs/L, lo que evidencia que la temperatura del producto influye en la liberación de partículas desde los recipientes de plástico.

Se identificó que el 98.03% de los microplásticos correspondieron a partículas de tipo fibra, siendo la morfología predominante en todas las muestras. Asimismo, se observaron variaciones en color y tamaño, con predominio de partículas entre 100 y 300 μm, lo que sugiere una contaminación asociada principalmente a fuentes ambientales y al desgaste de los recipientes utilizados.

Se evaluó el riesgo para la salud humana asociado a la presencia de microplásticos en bebidas artesanales comercializadas en la ciudad de Juliaca mediante la determinación de la Ingesta Diaria Estimada (EDI). Los resultados revelaron una exposición crónica y sistémica con un EDI promedio de 0.0463 partículas/kg/día para varones y 0.0379 partículas/kg/día para mujeres; asimismo, los resultados mostraron valores de MPLI entre 1.418 y 1.780 según la zona de compra, con niveles de contaminación clasificados como moderada, considerable y muy alta según el MPCF. Sin embargo, el nivel de riesgo determinado para todas las zonas evaluadas correspondió a Riesgo 1, evidenciando una clasificación homogénea de bajo nivel de riesgo según el modelo aplicado.

5.2 Recomendaciones

Ampliar el muestreo a otras temporadas del año y diferentes tipos de bebidas, para verificar si las concentraciones de microplásticos presentan variación temporal o por tipo de producto. También se recomienda incluir bebidas industriales y artesanales para establecer comparaciones entre ambas.

Complementar los análisis visuales con técnicas instrumentales (μ-FTIR o Raman) que permitan confirmar el tipo de polímero y su composición. De esta manera se podrá establecer con mayor precisión el origen del material microplástico y su posible relación con los recipientes utilizados.

Considerando los valores de IDE e IAE obtenidos, se sugiere realizar estudios adicionales de toxicidad y bioacumulación en el contexto local y evaluar el impacto de la exposición crónica a microplásticos en diferentes grupos de edad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abraham, J., & Diller, K. R. (2019). A Review of Hot Beverage Temperatures—Satisfying Consumer Preference and Safety. *Journal of Food Science*, *84*(8), 2011–2014. https://doi.org/10.1111/1750-3841.14699

Ageel, H. K., Harrad, S., & Abdallah, M. A. (2021). Occurrence, human exposure, and risk of microplastics in the indoor environment. *Environmental Science Processes & Impacts*, *24*(1), 17–31. https://doi.org/10.1039/d1em00301a

Akbulut, S., Akman, P. K., Törnük, F., & Yetim, H. (2024). Microplastic Release from Single-Use Plastic Beverage Cups. *Foods*, *13*(10), 1564–1564. https://doi.org/10.3390/foods13101564

Alimi, O. S., Claveau-Mallet, D., Kurusu, R. S., Lapointe, M., Bayen, S., & Tufenkji, N. (2021). Weathering pathways and protocols for environmentally relevant microplastics and nanoplastics: What are we missing? *Journal of Hazardous Materials*, *423*, 126955–126955. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126955

Al-Mansoori, M., Harrad, S., & Abdallah, M. A. (2025a). Synthetic microplastics in hot and cold beverages from the UK market: Comprehensive assessment of human exposure via total beverage intake. *The Science of The Total Environment*, *996*, 180188–180188. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180188

Al-Mansoori, M., Harrad, S., & Abdallah, M. A. (2025b). MPs in drinking water and beverages: Concentrations, characteristics and implications for human exposure. *Emerging Contaminants*, *11*(4), 100552–100552. https://doi.org/10.1016/j.emcon.2025.100552

Almroth, B. C., Åström, L., Roslund, S., Petersson, H., Johansson, M., & Persson, N. (2017). Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environmental Science and Pollution Research*, *25*(2), 1191–1199. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0528-7

Altunışık, A. (2023). Prevalence of microplastics in commercially sold soft drinks and human risk assessment. *Journal of Environmental Management*, *336*, 117720–117720. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117720

Amobonye, A., Bhagwat, P., Sindhu, R., Singh, S., & Pillai, S. (2021). Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview [Review of *Environmental Impacts of Microplastics and Nanoplastics: A Current Overview*].

Frontiers in Microbiology, *12*. Frontiers Media. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.768297

Arena, G., Copat, C., Dimartino, A., Grasso, A., Fallico, R., Sciacca, S., Fiore, M., & Ferrante, M. (2015). Determination of total vanadium and vanadium(V) in groundwater from Mt. Etna and estimate of daily intake of vanadium(V) through drinking water. *Journal of Water and Health*, 13(2), 522–530. https://doi.org/10.2166/wh.2014.209

Battaglini, E., Miralles, P., Lotti, N., Soccio, M., Fiorini, M., & Coscollà, C. (2024). Analysis of microplastics in commercial vegetable edible oils from Italy and Spain. *Food Chemistry*, *443*, 138567–138567. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.138567

Beckingham, B., Apintiloaiei, A., Moore, C., & Brandes, J. A. (2023). Hot or not: systematic review and laboratory evaluation of the hot needle test for microplastic identification. *Microplastics and Nanoplastics*, *3*(1). https://doi.org/10.1186/s43591-023-00056-4

Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A. U., Gutiérrez-Bouzán, C., & Vilaseca, M. (2019). Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environmental Pollution*, *248*, 1028–1035. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.059

Bhardwaj, L. K., Rath, P., Yadav, P., & Gupta, U. (2024). Microplastic contamination, an emerging threat to the freshwater environment: a systematic review [Review of *Microplastic contamination, an emerging threat to the freshwater environment: a systematic review*]. *Environmental systems research*, *13*(1). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1186/s40068-024-00338-7

Cai, T. T., Tang, Z., Tao, G., Tong, K., Wang, X., Chen, H., Zhou, X., Long, Z. D., Hao, Cunsheng., Chen, C., & Zeng, R. (2025). Microplastics in Drinking Water: A Review of Sources, Removal, Detection, Occurrence, and Potential Risks. *Toxics*, *13*(9), 782–782. https://doi.org/10.3390/toxics13090782

Catarino, A. I., Macchia, V., Sanderson, W., Thompson, R. C., & Henry, T. B. (2018). Low levels of microplastics (MP) in wild mussels indicate that MP ingestion by humans is minimal compared to exposure via household fibres fallout during a meal. *Environmental Pollution*, *237*, 675–684. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.069

Chaïb, I., Doyen, P., Merveillie, P., Dehaut, A., & Duflos, G. (2025). Microplastic contaminations in a set of beverages sold in France. *HAL (Le Centre Pour La*

Communication Scientifique Directe), *144*, 107719–107719. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107719

Chakraborty, T. K., Hasan, M. J., Netema, B. N., Rayhan, M. A., Asif, S. M. H., Biswas, A., Sarker, S., Ahmmed, M., Nice, Md. S., Islam, K. R., Debnath, P. C., Chowdhury, P., Rahman, M. S., Zaman, S., Ghosh, G. C., & Hasibuzzaman, Md. A. (2024). Microplastics in the commercially available branded milk in Bangladesh: An emerging threat for human health. *Journal of Hazardous Materials*, *477*, 135374–135374. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135374

Chota-Macuyama, W., & Chong Mendoza, J. (2020). Primer registro de ingestión de microplásticos por un pez de importancia comercial en la ciudad de Iquitos, Amazonía peruana. *Folia Amazónica, 29*(2), 179–188. https://doi.org/10.24841/fa.v29i2.521

Contreras, L. L. S., Quispe, A. L. H., & Mendiola, O. J. Á. (2022). Micro plástico: una amenaza imperceptible en la Playa Agua Dulce, distrito de Chorrillos. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas metalurgia y ciencias geográficas*, *25*(49), 303–311. https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.19219

Crosta, A., Parolini, M., & Felice, B. D. (2023). Microplastics Contamination in Nonalcoholic Beverages from the Italian Market. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(5), 4122–4122. https://doi.org/10.3390/ijerph20054122

Cuesta, C. E. (2023). Occurrence and environmental fate of microplastics as emerging anthropogenic pollutants. *e_Buah*. http://hdl.handle.net/10017/56170

Dafne, L. S. L., Areanely, C. A., Geraldine, R. A., Jocelyn, T., & Álvarez-Zeferino, J. C. (2024). *Identification, Quantification, and Presence of Microplastics and Nanoplastics in Beverages Around the World* (pp. 139–162). https://doi.org/10.1002/9781394238163.ch8

Dávila Lima, Y. A., & Montalvan Vásquez, R. L. (2021). *Determinación de microplásticos en especies ícticas e invertebrados del litoral, Puerto de Ilo - Perú* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Moquegua. https://repositorio.unam.edu.pe/items/5ff3933d-3d0c-44a9-a93d-8dc1f890a53f

De-la-Torre, G. E., Dioses-Salinas, D. C., Castro, J. M., Antay, R., Fernández, N. Y., Espinoza-Morriberón, D., & Saldaña-Serrano, M. (2020). Abundance and

distribution of microplastics on sandy beaches of Lima, Peru. *Marine Pollution Bulletin*, *151*, 110877–110877. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110877

Díaz, M., Conesa, J. A., & Fullana, A. (2020). Microplastics in Honey, Beer, Milk and Refreshments in Ecuador as Emerging Contaminants. *Sustainability*, *12*(14), 5514–5514. https://doi.org/10.3390/su12145514

Dickinson, E. (2012). Stabilising emulsion-based colloidal structures with mixed food ingredients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*(4), 710–721. https://doi.org/10.1002/jsfa.6013

Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., & De-la-Torre, G. E. (2020). A methodological approach of the current literature on microplastic contamination in terrestrial environments: Current knowledge and baseline considerations. *The Science of The Total Environment*, *730*, 139164–139164. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139164

Dris, R., Gaspéri, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments [Review of *A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments*]. *Environmental Pollution*, *221*, 453–458. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013

Emenike, E. C., Okorie, C. J., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A. U., Iwuozor, K. O., Saliu, O. D., Okoro, H. K., & Adeniyi, A. G. (2023). From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*, *9*(10). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20440

Fournier, E., Etienne-Mesmin, L., Grootaert, C., Jelsbak, L., Syberg, K., Blanquet-Diot, S., & Mercier-Bonin, M. (2021). Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development [Review of *Microplastics in the human digestive environment: A focus on the potential and challenges facing in vitro gut model development*]. *Journal of Hazardous Materials*, *415*, 125632–125632. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125632

Fragão, J., Bessa, F., Otero, V., Barbosa, A., Sobral, P., Waluda, C. M., Guímaro, H. R., & Xavier, J. C. (2021). Microplastics and other anthropogenic particles in Antarctica: Using penguins as biological samplers. *The Science of The Total Environment*, *788*, 147698–147698. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147698

Frias, J., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Marine Pollution Bulletin*, *138*, 145–147. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.022

Galafassi, S., Nizzetto, L., & Volta, P. (2019). Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water [Review of *Plastic sources: A survey across scientific and grey literature for their inventory and relative contribution to microplastics pollution in natural environments, with an emphasis on surface water*]. *The Science of The Total Environment*, *693*, 133499–133499. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.305

Gálvez-Blanca, V., Edo, C., González-Pleiter, M., Fernández-Piñas, F., Leganés, F., & Rosal, R. (2024). Microplastics and non-natural cellulosic particles in Spanish bottled drinking water. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-62075-2

Gambino, I., Bagordo, F., Grassi, T., Panìco, A., & Donno, A. D. (2022). Occurrence of Microplastics in Tap and Bottled Water: Current Knowledge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(9), 5283–5283. https://doi.org/10.3390/ijerph19095283

Garcés-Ordóñez, O., & Arenas, M. R. B. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 145–165. https://doi.org/10.15359/revmar.11-2.8

García, J. de D. R., Iannacone, J., & Alvariño, L. (2023). Microplásticos en Emerita analoga (Crustacea: Hippidae) y en sedimentos en ocho playas arenosas de Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, *34*(4). https://doi.org/10.15381/rivep.v34i4.25968

García, R. C., & García, I. E. D. (2025). Microplásticos: pequeños fragmentos invisibles al ojo humano. *Milenaria Ciencia y arte*, *25*, 4–6. https://doi.org/10.35830/mcya.vi25.590

Getor, R. Y., Mishra, N., & Ramudhin, A. (2020). The role of technological innovation in plastic production within a circular economy framework. *Resources Conservation and Recycling*, *163*, 105094–105094. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105094

Geyer, R., Jambeck, J., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, *3*(7). https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782

Giese, A., Kerpen, J., Weber, F., & Prediger, J. (2021). A Preliminary Study of Microplastic Abrasion from the Screw Cap System of Reusable Plastic Bottles by Raman

Microspectroscopy. *ACS ES&T Water*, *1*(6), 1363–1368. https://doi.org/10.1021/acsestwater.0c00238

Greenpeace. (2016). *Plásticos en los océanos: datos, comparativas e impactos*. Greenpeace. https://archivoes.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf

Guo, Z., Boeing, W. J., Xu, Y., Borgomeo, E., Mason, S. A., & Zhu, Y. (2021). Global meta-analysis of microplastic contamination in reservoirs with a novel framework [Review of *Global meta-analysis of microplastic contamination in reservoirs with a novel framework*]. *Water Research*, *207*, 117828–117828. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117828

Guzman-Vilca, W. C., Yovera-Juarez, E. A., Tarazona-Meza, C., García-Larsen, V., & Carrillo-Larco, R. M. (2022). Sugar-sweetened beverage consumption in adults: Evidence from a national health survey in Peru. Nutrients, 14(3), 582. https://doi.org/10.3390/nu14030582

Hahladakis, J. N. (2020). Delineating the global plastic marine litter challenge: clarifying the misconceptions. *Environmental Monitoring and Assessment*, *192*(5). https://doi.org/10.1007/s10661-020-8202-9

Hampton, L. M. T., Bouwmeester, H., Brander, S. M., Coffin, S., Cole, M., Hermabessière, L., Mehinto, A. C., Miller, E., Rochman, C. M., & Weisberg, S. B. (2022). Research recommendations to better understand the potential health impacts of microplastics to humans and aquatic ecosystems. *Microplastics and Nanoplastics*, *2*(1). https://doi.org/10.1186/s43591-022-00038-y

Harraq, A. A., Brahana, P. J., Arcemont, O., Zhang, D., Valsaraj, K. T., & Bharti, B. (2022). Effects of Weathering on Microplastic Dispersibility and Pollutant Uptake Capacity. *ACS Environmental Au*, *2*(6), 549–555. https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00036

Heras, M. Á. de las, Burgos, L. B., Villafranca, A. B., & Marin, V. G.-C. (2016). Biopolímeros, un vistazo del presente al futuro. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, *21*, 25. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5394222

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Hernández, P. A., & Albuja, A. (2021). Inocuidad de los alimentos expendidos en la vía pública una revisión sistemática. *Perfiles*, *1*(26), 34–47. https://doi.org/10.47187/perf.v1i26.133

Hoseinzadeh, E., Hossini, H., Makhdoumi, P., Taha, P., Parsa, S., & Massahi, T. (2024). Microplastics contamination in popular soft drinks and non-alcoholic beverages marketed in Iran: Quantity and characteristics. *Results in Engineering*, *24*, 103158–103158. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103158

Hunt, E. J., Zhang, C., Anzalone, N., & Pearce, J. M. (2015). Polymer recycling codes for distributed manufacturing with 3-D printers. *Resources Conservation and Recycling*, *97*, 24–30. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.02.004

Iannacone, J., Principe, F., Minaya, D., Panduro, G., Carhuapoma, M., & Alvariño, L. (2021). Microplásticos en peces marinos de importancia económica en Lima, Perú. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32*(2), e20038. https://doi.org/10.15381/rivep.v32i2.20038

Jiang, B., Kauffman, A. E., Li, L., McFee, W. E., Cai, B., Weinstein, J. E., Lead, J. R., Chatterjee, S., Scott, G. I., & Xiao, S. (2020). Health impacts of environmental contamination of micro- and nanoplastics: a review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, *25*(1), 29–29. https://doi.org/10.1186/s12199-020-00870-9

Jiménez-Arroyo, C., Tamargo, A., Molinero, N., & Moreno-Arribas, M. V. (2023). The gut microbiota, a key to understanding the health implications of micro(nano)plastics and their biodegradation. *Microbial Biotechnology*, *16*(1), 34–53. https://doi.org/10.1111/1751-7915.14182

Jin, M., Wang, X., Ren, T., Wang, J., & Shan, J. (2021). Microplastics contamination in food and beverages: Direct exposure to humans. *Journal of Food Science*, *86*(7), 2816–2837. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15802

Kabir, A. E., Sekine, M., Imai, T., Yamamoto, K., Kanno, A., & Higuchi, T. (2021). Assessing small-scale freshwater microplastics pollution, land-use, source-to-sink conduits, and pollution risks: perspectives from Japanese rivers polluted with microplastics. *Science of The Total Environment*, 768, 144655.

Kadac-Czapska, K., Knez, E., & Grembecka, M. (2022). Food and human safety: the impact of microplastics. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *64*(11), 3502–3521. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2132212

Kankanige, D., & Babel, S. (2020). Smaller-sized micro-plastics (MPs) contamination in single-use PET-bottled water in Thailand. *The Science of The Total Environment*, *717*, 137232–137232. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137232

Kannan, K., & Vimalkumar, K. (2021). A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens [Review of *A Review of Human Exposure to Microplastics and Insights Into Microplastics as Obesogens*]. *Frontiers in Endocrinology*, *12*. Frontiers Media. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.724989

Kernchen, S., Schmalz, H., Löder, M. G. J., Georgi, C., Einhorn, A., Greiner, A., Nölscher, A. C., Laforsch, C., & Held, A. (2024). Atmospheric deposition studies of microplastics in Central Germany. *Air Quality Atmosphere & Health*, *17*(10), 2247–2261. https://doi.org/10.1007/s11869-024-01571-w

Kühn, S., Rebolledo, E. L. B., & Franeker, J. A. van. (2015). *Deleterious Effects of Litter on Marine Life* (pp. 75–116). https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4

Kumar, V. E., Ravikumar, G., & Jeyasanta, K. I. (2018). Occurrence of microplastics in fishes from two landing sites in Tuticorin, South east coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, *135*, 889–894. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.023

Larrea Cerna, C. O., Callirgos Romero, D. A., Alvarado Leon, D. E., Damián Morán, G., & Mayhua Ayuque, J. (2024). *Microplásticos en la industria alimentaria: Un análisis crítico de su impacto ambiental. Revisión sistemática*. Revista de Investigación Científica Huamachuco, 2(1), 59–74. https://doi.org/10.61709/mk05fn85

Li, H., Zhu, L., Ma, M., Wu, H., An, L., & Yang, Z.-H. (2023). Occurrence of microplastics in commercially sold bottled water. *The Science of The Total Environment*, *867*, 161553–161553. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161553

Liu, P., Qian, L., Wang, H., Zhan, X., Lü, K., Gu, C., & Gao, S. (2019). New Insights into the Aging Behavior of Microplastics Accelerated by Advanced Oxidation Processes. *Environmental Science & Technology*, *53*(7), 3579–3588. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b00493

Liu, X., Li, D., Li, Z., Ball, A. S., & Chen, C. (2025). Release of microplastics from commonly used plastic containers: Combined meta-analysis and case study. *Journal of Hazardous Materials Plastics*, *2*, 100028–100028. https://doi.org/10.1016/j.hazmp.2025.100028

Loredo, R. Y. A., Jiménez-Regalado, E. J., Rivera-Vallejo, C. C., & Jasso-Salcedo, A. B. (2025). Microplásticos: Una amenaza creciente para el ambiente y la salud humana. *Biognosis .*, *2*(3), 16–24. https://doi.org/10.29267/biognosis.2025.2.3.16-24

Ma, C., Ramachandraiah, K., & Jiang, G. (2024). Micro and nano plastics: contaminants in beverages and prevention strategies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *8*. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1491290

Mason, S. A., Welch, V. G., & Neratko, J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Frontiers in Chemistry*, *6*. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00407

Materano, A., Gáscue, B. R. de, Lezama, J., Gamboa, A., & Faull, L. M. (2022). Microplásticos en el ambiente: Un problema catalizado por la luz solar, el aire y las corrientes marinas. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. https://doi.org/10.5281/zenodo.6193811

Meira, G. R., & Gugliotta, L. M. (2019). Polímeros: Introducción a su Caracterización y a la Ingeniería de la Polimerización. *Conicet*. http://hdl.handle.net/11336/118830

Mitchell, J., Vandeperre, L., Dvorak, R., Kosior, E., Tarverdi, K., & Cheeseman, C. (2014). Recycling disposable cups into paper plastic composites. *Waste Management*, *34*(11), 2113–2119. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.020

Mittal, N., Tiwari, N., Singh, D., Tripathi, P., & Sharma, S. (2023). Toxicological impacts of microplastics on human health: a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(46), 57417–57429. https://doi.org/10.1007/s11356-023-30801-4

Muhib, Md. I., Uddin, Md. K., Rahman, Md. M., & Malafaia, G. (2022). Occurrence of microplastics in tap and bottled water, and food packaging: A narrative review on current knowledge. *The Science of The Total Environment*, *865*, 161274–161274. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161274

Muñoz, I. A., Molina, A., & Duque, G. (2024). Influencia de las condiciones ambientales sobre la distribución y tipos de microplásticos en aguas superficiales en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *53*(1), 65–86. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2024.53.1.1268

Okoffo, E. D., Donner, E., McGrath, S. P., Tscharke, B. J., O'Brien, J., O'Brien, S., Ribeiro, F., Burrows, S. D., Toapanta, T., Rauert, C., Samanipour, S., Mueller, J. F., & Thomas, K. V. (2021). Plastics in biosolids from 1950 to 2016: A function of global plastic production and consumption. *Water Research*, *201*, 117367–117367. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117367

Ordóñez, M. J. E., & Lizcano, C. A. R. (2024). Impacto en la salud causado por los nanoplásticos contenidos en alimentos y su posible atenuación mediante un proceso de bioingeniería. *Revista EIA*, *21*(41). https://doi.org/10.24050/reia.v21i41.1712

Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P., Wu, Y. S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., & Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review [Review of *Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review*]. *Environmental Chemistry Letters*, *21*(4), 2129–2169. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3

Pazos, R. S., Bauer, D. E., & Gómez, N. (2018). Microplastics integrating the coastal planktonic community in the inner zone of the Río de la Plata estuary (South America). *Environmental Pollution*, *243*, 134–142. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.064

Peimani, N., & Kamalipour, H. (2022). Informal Street Vending: A Systematic Review. *Land*, *11*(6), 829–829. https://doi.org/10.3390/land11060829

Plastics Europe. (2025). *Plastics the Fast Facts 2025*. https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2025/

Prata, J. C., Costa, J. P. da, Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health [Review of *A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health*]. *The Science of The Total Environment*, *777*, 146094–146094. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146094

Ramaremisa, G., Erasmus, R. M., Tutu, H., & Saad, D. (2025). Occurrence and characteristics of microplastics in South African beverages. *UpSpace Institutional Repository (University of Pretoria)*, *365*, 125388–125388. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125388

Ranjan, V. P., Joseph, A., & Goel, S. (2021). Microplastics and other harmful substances released from disposable paper cups into hot water. *Journal of Hazardous Materials*, *404*, 124118–124118. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124118

Rao, M. A. (1977). Rheology of liquid foods - a review. *Journal of Texture Studies*, *8*(2), 135–168. https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1977.tb01173.x

Recchi, S. (2021). Informal street vending: a comparative literature review. *International Journal of Sociology and Social Policy*, *41*, 805–825. https://doi.org/10.1108/ijssp-07-2020-0285

Ristenpart, W. D., Cotter, A. R., & Guinard, J. (2022). Impact of Beverage Temperature on Consumer Preferences for Black Coffee. In *Research Square*. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1631312/v1

Rodríguez-Sierra, C. M., Antón-Pardo, M., Quintana, X. D., & Armengol, X. (2020). Microplastics ingestion by the exotic fish Gambusia holbrooki in two Mediterranean coastal lagoons. *Ecosistemas*, *29*(3). https://doi.org/10.7818/ecos.2097

Roslan, N. S., Lee, Y. Y., Ibrahim, Y. S., Anuar, S. T., Yusof, K. M. K. K., Lai, L. A., & Brentnall, T. A. (2024). Detection of microplastics in human tissues and organs: A scoping review. *Journal of Global Health*, *14*, 4179–4179. https://doi.org/10.7189/jogh.14.04179

Sajedi, S., Barari, F., Ehsani, E., Bonyadi, Z., & Davoudi, M. (2025). Revealing the hidden chronic risks of nano- and microplastics in single-use plastic water bottles. *Journal of Hazardous Materials*, 495, 138948. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138948

Sarlin, P. J., Morris, S., Savitha, G., Gopan, A., & Radhakrishnan, E. K. (2024). Occurrence and characterization of microplastics in bottled drinking water. *Discover Environment*, *2*(1). https://doi.org/10.1007/s44274-024-00129-y

Sendra, M., Pereiro, P., Figueras, A., & Novoa, B. (2020). An integrative toxicogenomic analysis of plastic additives. *Journal of Hazardous Materials*, *409*, 124975–124975. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124975

Sewwandi, M., Wijesekara, H., Rajapaksha, A. U., Soysa, S., & Vithanage, M. (2022). Microplastics and plastics-associated contaminants in food and beverages; Global trends, concentrations, and human exposure. *Environmental Pollution*, *317*, 120747–120747. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120747

Shi, Y., Shi, L., Huang, H., Ye, K., Yang, L., Wang, Z., Sun, Y., Li, D., Shi, Y., Xiao, L., & Gao, S. (2024). Analysis of aged microplastics: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *22*(4), 1861–1888. https://doi.org/10.1007/s10311-024-01731-5

Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., Elizalde, I., & Kutralam-Muniasamy, G. (2020). First study of its kind on the microplastic contamination of soft drinks, cold tea and energy drinks - Future research and environmental considerations. *The Science of The Total Environment*, *726*, 138580–138580. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138580

Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. (2018). Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current Environmental Health Reports*, *5*(3), 375–386. https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z

Snekkevik, V. K., Cole, M., Gomiero, A., Haave, M., Khan, F. R., & Lusher, A. (2024). Beyond the food on your plate: Investigating sources of microplastic contamination in home kitchens [Review of *Beyond the food on your plate: Investigating sources of microplastic contamination in home kitchens*]. *Heliyon*, *10*(15). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35022

Sobhani, Z., Lei, Y., Tang, Y., Wu, L., Zhang, X., Naidu, R., Megharaj, M., & Fang, C. (2020). Microplastics generated when opening plastic packaging. *Scientific Reports*, *10*(1), 4841–4841. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61146-4

Socas-Hernández, C., Miralles, P., González-Sálamo, J., Hernández-Borges, J., & Coscollà, C. (2024). Assessment of anthropogenic particles content in commercial beverages. *Food Chemistry*, *447*, 139002–139002. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139002

Soudavari, A., Barari, F., Ehsani, E., Bonyadi, Z., & Davoudi, M. (2025). Occurrence and health risk assessment of microplastics in beverages and ice packs. *Scientific Reports*, *15*(1), 23584–23584. https://doi.org/10.1038/s41598-025-08821-6

Sridharan, S., Kumar, M., Bolan, N., Singh, L., Kumar, S., Kumar, R., & You, S. (2021). Are microplastics destabilizing the global network of terrestrial and aquatic ecosystem services? [Review of *Are microplastics destabilizing the global network of terrestrial and aquatic ecosystem services?*]. *Environmental Research*, *198*, 111243–111243. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111243

Stafussa, A. P., Rampazzo, V., Fernandes, R. R., Franco, A. T., Bona, E., Maciel, G. M., & Haminiuk, C. W. I. (2018). Multi-block analysis for the correlation of physico-chemical and rheological data of 42 fruit pulps. *Journal of Texture Studies*, *50*(2), 114–123. https://doi.org/10.1111/jtxs.12373

Su, H., Ge, T., Shen, J., Liu, Q., Xu, W., Qian, X., & Fan, Y. (2025). Hidden risk of microplastics in milk tea and coffee: A case study from China's freshly-made beverage market. *Journal of Hazardous Materials*, *494*, 138799–138799. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.138799

Tan, H., Othman, M. H. D., Chong, W. T., Kek, H. Y., Wong, S. L., Nyakuma, B. B., Mong, G. R., Wahab, R. A., & Wong, K. Y. (2024). Turning plastics/microplastics into valuable resources? Current and potential research for future applications. *TU/e Research Portal*, *356*, 120644–120644. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120644

Thompson, R. C., Courtene-Jones, W., Boucher, J., Pahl, S., Raubenheimer, K., & Koelmans, A. A. (2024). Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned? *Socio-Environmental Systems Modeling*, *386*(6720). https://doi.org/10.1126/science.adl2746

Torres, F. G., Dioses-Salinas, D. C., Pizarro-Ortega, C. I., & De-la-Torre, G. E. (2020). Sorption of chemical contaminants on degradable and non-degradable microplastics: Recent progress and research trends [Review of *Sorption of chemical contaminants on degradable and non-degradable microplastics: Recent progress and research trends*]. *The Science of The Total Environment*, *757*, 143875–143875. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143875

Tursi, A., Baratta, M., Easton, T., Chatzisymeon, E., Chidichimo, F., Biase, M. D., & Filpo, G. D. (2022). Microplastics in aquatic systems, a comprehensive review: origination, accumulation, impact, and removal technologies. *RSC Advances*, *12*(44), 28318–28340. https://doi.org/10.1039/d2ra04713f

Uddin, S., Habibi, N., & Behbehani, M. (2025). Microplastics in Soil: Inventories, Effect and Environmental Risks. In *Sustainability Sciences in Asia and Africa* (pp. 1–28). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-95-2740-3_1

Udovički, B., Andjelković, M., Veličković, T. Ć., & Rajković, A. (2022). Microplastics in food: scoping review on health effects, occurrence, and human exposure. *International Journal of Food Contamination*, *9*(1). https://doi.org/10.1186/s40550-022-00093-6

Vásquez, D., Molina, A., & Duque, G. (2021). Spatial distribution and increase of microplastics over time in sediments of Buenaventura Bay, Colombian Pacific. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *50*(1), 27–42. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.1.1021

Vásquez, F. A. C., Murillo, H. F., Ureta, R. A. G., & Aysanoa, p. A. C. (2026). Impacto ecológico de los microplásticos en los ecosistemas marinos: una revisión sistemática. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)*. https://doi.org/10.5281/zenodo.18715464

Vethaak, A. D., & Legler, J. (2021). Microplastics and human health. *Science*, *371*(6530), 672–674. https://doi.org/10.1126/science.abe5041

Vidal, L., Sandoval, A. E. M., & Duque, G. (2021). Incremento de la contaminación por microplásticos en aguas superficiales de la bahía de Buenaventura, Pacífico

colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, *50*(2), 113–132. https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2021.50.2.1032

Wieser, M., Rodríguez-Larraín, S., & Onnis, S. (2021). Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo de vivienda. Puno, Perú. *Estoa*, *10*(19), 9–19. https://doi.org/10.18537/est.v010.n019.a01

Winkler, A., Fumagalli, F., Cella, C., Gilliland, D., Tremolada, P., & Valsesia, A. (2022). Detection and formation mechanisms of secondary nanoplastic released from drinking water bottles. *Water Research*, *222*, 118848–118848. https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118848

Xu, Y., Ou, Q., Hoek, J. P. van der, Liu, G., & Lompe, K. M. (2024). Photo-oxidation of Micro- and Nanoplastics: Physical, Chemical, and Biological Effects in Environments. *Environmental Science & Technology*, *58*(2), 991–1009. https://doi.org/10.1021/acs.est.3c07035

Zhang, Q., Xu, E. G., Li, J., Chen, Q., Ma, L., Zeng, E. Y., & Shi, H. (2020). A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure [Review of *A Review of Microplastics in Table Salt, Drinking Water, and Air: Direct Human Exposure*]. *Environmental Science & Technology*, *54*(7), 3740–3751. American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04535

Zuccarello, P., Ferrante, M., Cristaldi, A., Copat, C., Grasso, A. D., Sangregorio, D., Fiore, M., & Conti, G. O. (2019). Exposure to microplastics (<10 μm) associated to plastic bottles mineral water consumption: The first quantitative study. *Water Research*, *157*, 365–371. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.03.091

Zuri, G., Karanasiou, A., & Lacorte, S. (2023). Microplastics: Human exposure assessment through air, water, and food. *Environment International*, *179*, 108150–108150. https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108150

ANEXOS

Anexo I. Matriz de consistencia

Tabla 7

Matriz de consistencia del proyecto de investigación sobre contaminación por microplásticos en Juliaca, 2025.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema general: ¿Cuál es la prevalencia de microplásticos en productos líquidos comercializados en plásticos de venta ambulatoria y cuáles son los riesgos asociados para la salud humana en la ciudad de Juliaca, 2025?	**Objetivo general:** Determinar la prevalencia de microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria y evaluar el riesgo asociado a la salud humana en la ciudad de Juliaca, 2025.	**Hipótesis general:** La prevalencia de microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca es significativa y representa un riesgo potencial para la salud humana.	**Enfoque:** Cuantitativo **Diseño de investigación:** No experimental **Nivel de Investigación:** Descriptivo **Diseño:** Transversal **Ámbito de estudio:** Ciudad de Juliaca, Puno.
Preguntas específicas: ¿Cuál es la concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados en plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025? ¿Cuáles son las características (tipo, forma, tamaño y color de los polímeros) de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatorio en la ciudad de Juliaca, 2025? ¿Cuál es el riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025?	**Objetivos específicos:** Cuantificar la concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados en plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025. Identificar las características (tipo, forma, tamaño y color de los polímeros) de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025. Evaluar el riesgo para la salud humana de los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca, 2025.	**Hipótesis especifica:** La concentración de microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca es significativamente elevada, lo que podría estar relacionado con el desgaste de los recipientes plásticos y su utilización repetida. Los microplásticos en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria presentan principalmente polímeros derivados de plásticos PET y HDPE, con una distribución variada de tamaños, formas irregulares y colores que corresponden a los plásticos más utilizados en el reciclaje informal. El riesgo para la salud humana asociado a la ingestión de microplásticos presentes en productos líquidos comercializados en recipientes plásticos de venta ambulatoria en la ciudad de Juliaca es significativo.	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo II. Panel Fotográfico del proceso

Figura 9

Recolección de muestras en puntos estrategias de la ciudad de Juliaca,2025.



Nota. Recolección de muestras en el mercado Tupac Amaru y Santa Barbara.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Muestras para estudio en laboratorio,2025.



Nota. Muestras de mates y refrescos del mercado Santa Barbara.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Proceso de decantación de las muestras,2025.



Nota. Muestras en etapa de decantación.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Proceso de filtración de las muestras,2025.



Nota. Filtración al vacío utilizando filtro Whatman Grado 4.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Lectura de filtros de las muestras en laboratorio,2025.

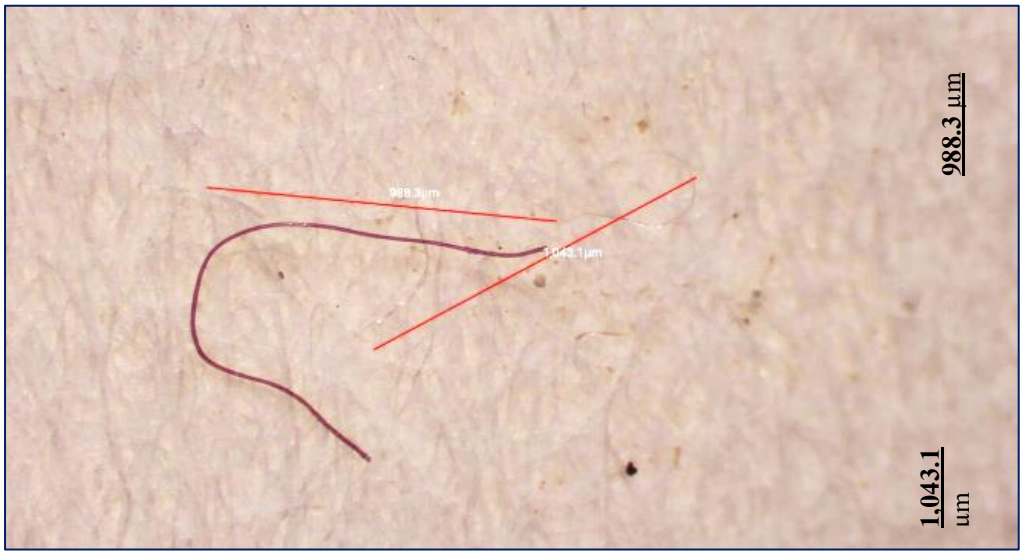


Nota. Inspección visual con la ayuda del estereoscopio.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Evidencia de lectura de muestras en laboratorio,2025.



Nota. Microplásticos de tipo fibra de color rojo y transparente.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo III. Registro de estudio

Tabla 8

Los 71 puntos de recolección de muestras en la ciudad de Juliaca, 2025.

Muestra	Zona de compra	Producto	Nº particulas	FORMA		COLOR												
				FIBRA	ESPONJA	MORADO	ROJO	TRANSPARENTE	AZUL	CAFÉ	PLATEADO	NEGRO	BLANCO	VERDE	VIOLETA	TOTAL	MPCF_a	MPCF
M-01	Ovalo Salida Cusco	Mate de piña	36	36	0	10	5	16	3	2	0	0	0	0	0	7	4.75	Considerable
M-02	Ovalo Salida Cusco	Mate de cebada	19	19	0	12	4	3	0	0	0	0	0	0	0	8	2.63	Moderada
M-03	Ovalo Salida Cusco	Mate de chicha morada	12	12	0	6	0	5	1	0	0	0	0	0	0	6	1.75	Moderada
M-04	Ovalo Salida Cusco	Mate de cebada	10	10	0	0	0	0	7	1	2	0	0	0	0	3	1.38	Moderada
M-05	Ovalo Salida Cusco	Mate de cebada	14	12	2	0	1	0	6	0	4	1	1	1	0	6	1.88	Moderada
M-06	Ovalo Salida Cusco	Mate de maracuyá	6	6	0	0	1	0	4	0	0	0	0	1	0	6	1.00	Moderada
M-07	Ovalo Salida Cusco	Mate de muña	32	32	0	0	1	7	24	0	0	0	0	0	0	5	4.25	Considerable
M-08	Ovalo Salida Cusco	Mate de piña	22	22	0	0	5	0	16	0	0	1	0	0	0	7	2.88	Moderada
M-09	Mercado Las Mercedes	Jugo de quinoa	13	13	0	0	3	2	7	0	0	0	0	1	0	1	14.00	Muy alta
M-10	Mercado Las Mercedes	Jugo de cañihua	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.00	Moderada
M-11	Mercado Las Mercedes	Jugo de maca	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	6	3.00	Considerable
M-12	Mercado Las Mercedes	Refresco de piña	23	23	0	9	5	7	0	0	0	1	0	1	0	20	25.00	Muy alta
M-13	Mercado Las Mercedes	Refresco jamaica	8	8	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	8	9.00	Muy alta
M-14	Mercado Las Mercedes	Refresco de durazno	31	31	0	15	4	10	0	0	0	2	0	0	0	5	32.00	Muy alta

M-15	Mercado Las Mercedes	Refresco de cebada	5	5	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6.00	Muy alta
M-16	Mercado Las Mercedes	Refresco chicha morada	9	9	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	11.00	Muy alta
M-17	Mercado Santa Bárbara	Jugo de quinoa	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	1.50	Moderada
M-18	Mercado Santa Bárbara	Jugo de maca	5	5	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	6	3.00	Considerable
M-19	Mercado Santa Bárbara	Jugo de cañihua	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	1.00	Moderada
M-20	Mercado Santa Bárbara	Mate de cebada	8	8	0	0	2	1	5	0	0	0	0	0	0	4	4.50	Considerable
M-21	Mercado Santa Bárbara	Mate de chicha morada	11	11	0	3	3	0	5	0	0	0	0	0	0	17	5.50	Considerable
M-22	Mercado Santa Bárbara	Mate de piña	42	42	0	21	7	12	2	0	0	0	0	0	0	17	21.50	Muy alta
M-23	Mercado Santa Bárbara	Refresco de cebada	11	10	1	3	5	0	2	1	0	0	0	0	0	8	5.00	Considerable
M-24	Centro Comercial 2	Jugo de cañihua	6	6	0	0	2	0	4	0	0	0	0	0	0	20	2.33	Moderada
M-25	Centro Comercial 2	Jugo de quinoa	7	7	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	16	2.67	Moderada
M-26	Centro Comercial 2	Jugo de maca	5	5	0	0	3	1	1	0	0	0	0	0	0	11	2.00	Moderada
M-27	Centro Comercial 2	Mate de cebada	3	3	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	14	1.00	Moderada
M-28	Centro Comercial 2	Resfresco de cebada	5	5	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	1	1	2.00	Moderada
M-29	Centro Comercial 2	Refresco de chicha morada	5	5	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	3	2.00	Moderada
M-30	Centro Comercial 2	Refresco de cebada	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	25	1.67	Moderada
M-31	Centro Comercial 2	Refresco de piña	7	7	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	2	9	2.67	Moderada
M-32	Mercado Internacional Túpac Amaru	Jugo de quinoa	5	5	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1	0	32	1.50	Moderada
M-33	Mercado Internacional Túpac Amaru	Jugo de maca	5	5	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0	6	1.50	Moderada
M-34	Mercado Internacional Túpac Amaru	Jugo de cañihua	4	4	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	1	11	1.00	Moderada
M-35	Mercado Internacional Túpac Amaru	Resfresco de cebada	16	15	1	5	3	7	1	0	0	0	0	0	0	37	4.25	Considerable
M-36	Mercado Internacional Túpac Amaru	Refresco de piña	16	15	1	5	3	8	0	0	0	0	0	0	0	4	4.25	Considerable
M-37	Mercado Internacional Túpac Amaru	Refresco de cebada	7	7	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	17	2.00	Moderada

M-38	Mercado Internacional Túpac Amaru	Refresco de cebada	18	18	0	4	4	5	4	1	0	0	0	0	0	13	5.00	Considerable
M-39	Mercado Internacional Túpac Amaru	Refresco de manzana	14	12	2	2	5	4	2	1	0	0	0	0	0	1	4.00	Considerable
M-40	Mercado Internacional Túpac Amaru	Refresco de manzana	11	10	1	3	3	2	1	0	0	0	0	0	1	7	3.00	Considerable
M-41	Mercado Santa Juana	Jugo de quinoa	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	5.00	Considerable
M-42	Mercado Santa Juana	Refresco maracuya	3	3	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	10	4.00	Considerable
M-43	Mercado Santa Juana	Mate de cebada	19	19	0	6	5	6	1	0	0	1	0	0	0	7	22.00	Muy alta
M-44	Mercado Santa Juana	Mate de piña	6	6	0	2	0	3	0	0	0	0	0	1	0	3	9.00	Muy alta
M-45	Mercado Santa Juana	Jugo de cañihua	3	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	6	5.00	Considerable
M-46	Mercado Santa Juana	7 cereales	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1.00	Moderada
M-47	Mercado Santa Juana	Mate de manzanilla	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9	4.00	Considerable
M-48	Mercado Santa Juana	Mate de manzanilla	7	7	0	6	0	1	0	0	0	0	0	0	0	11	10.00	Muy alta
M-49	Mercado Pedro Vilcapaza	Mate de piña	34	31	3	15	4	10	2	2	0	0	0	1	0	43	37.00	Muy alta
M-50	Mercado Pedro Vilcapaza	Mate de cebada	3	3	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	10	4.00	Considerable
M-51	Mercado Pedro Vilcapaza	Mate de piña	14	13	1	2	1	4	6	0	0	0	0	1	0	4	17.00	Muy alta
M-52	Mercado Pedro Vilcapaza	Mate de cebada	11	11	0	0	0	0	10	1	0	0	0	0	0	10	13.00	Muy alta
M-53	Mercado Pedro Vilcapaza	Jugo de cañihua	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	1.00	Moderada
M-54	Mercado Pedro Vilcapaza	Jugo de quinoa	6	6	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0	4	7.00	Muy alta
M-55	Mercado Pedro Vilcapaza	Jugo de maca	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	22	2.00	Moderada
M-56	Mercado Pedro Vilcapaza	7 cereales	10	10	0	2	2	0	6	0	0	0	0	0	0	6	10.00	Muy alta
M-57	Mercado Pedro Vilcapaza	Jugo de cañihua	6	6	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	38	7.00	Muy alta
M-58	Mercado Cerro Colorado	Jugo de maca	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	21	1.00	Moderada
M-59	Mercado Cerro Colorado	Refresco de maracuya	6	6	0	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	14	6.00	Muy alta
M-60	Mercado Cerro Colorado	Refresco de piña	5	4	1	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11	6.00	Muy alta

M-61	Mercado Cerro Colorado	Refresco de gelatina	19	19	0	6	2	10	1	0	0	0	0	0	0	15	20.00	Muy alta
M-62	Mercado Cerro Colorado	Mate de cebada	6	6	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	8	8.00	Muy alta
M-63	Mercado Cerro Colorado	Refresco de maracuya	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	34	5.00	Considerable
M-64	Mercado Cerro Colorado	Mate de jamaica	3	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	23	5.00	Considerable
M-65	Mercado Cerro Colorado	Jugo de maca	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	3.00	Considerable
M-66	Mercado Cerro Colorado	Jugo de quinoa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.00	Moderada
M-67	Plaza de Armas	Jugo de maca	3	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4	1.00	Moderada
M-68	Plaza de Armas	Refresco de manzana	3	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	1.25	Moderada
M-69	Plaza de Armas	Refresco de cebada	12	12	0	6	0	3	2	1	0	0	0	0	0	14	3.50	Considerable
M-70	Plaza de Armas	Mate de muña	8	8	0	2	0	5	0	1	0	0	0	0	0	10	2.50	Moderada
M-71	Plaza de Armas	Mate de piña	2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1.00	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Anexo IV. Registro de blancos de estudio

Tabla 9

Caracterización de Partículas en Muestras Blanco (Forma y Color), 2025.

Muestra	Nº partículas	FORMA		COLOR											
		FIBRA	ESPONJA	MORADO	ROJO	TRANSPARENTE	AZUL	CAFÉ	PLATEADO	NEGRO	BLANCO	VERDE	VIOLETA	AMARILLO	TOTAL
BLANCO-1	3	3	0	1			1						1		3
BLANCO-2	2	2		1			1								2
BLANCO-3	3	1	2			3									3
BLANCO-4	2	2		1				1							2
BLANCO-5	3	3		2	1										3
BLANCO-6	1	1				1									1
BLANCO-7	2	2		2											2

Fuente: Elaboración propia.

Anexo V. Coordenadas de las 71 muestra

Tabla 10

Ubicación geográfica y zonas de compra de las muestras, 2025.

Muestra	Zona de compra	Coordenadas	
M-01	Ovalo Salida Cusco	378102.43 m E	8288153.92 m S
M-02	Ovalo Salida Cusco	378107.58 m E	8288138.02 m S
M-03	Ovalo Salida Cusco	378101.03 m E	8288096.59 m S
M-04	Ovalo Salida Cusco	378112.67 m E	8288076.21 m S
M-05	Ovalo Salida Cusco	378181.51 m E	8288078.90 m S
M-06	Ovalo Salida Cusco	378188.49 m E	8288084.63 m S
M-07	Ovalo Salida Cusco	378164.39 m E	8288137.46 m S
M-08	Ovalo Salida Cusco	378213.05 m E	8288114.49 m S
M-09	Mercado Las Mercedes	378158.57 m E	8287761.08 m S
M-10	Mercado Las Mercedes	378143.50 m E	8287651.68 m S
M-11	Mercado Las Mercedes	377982.78 m E	8287658.88 m S
M-12	Mercado Las Mercedes	377960.19 m E	8287670.38 m S
M-13	Mercado Las Mercedes	377961.76 m E	8287814.93 m S
M-14	Mercado Las Mercedes	377938.72 m E	8287905.98 m S
M-15	Mercado Las Mercedes	378038.97 m E	8287915.63 m S
M-16	Mercado Las Mercedes	378124.55 m E	8287919.07 m S
M-17	Mercado Santa Bárbara	377970.49 m E	8286965.68 m S
M-18	Mercado Santa Bárbara	377988.14 m E	8286964.25 m S
M-19	Mercado Santa Bárbara	377990.33 m E	8287050.49 m S
M-20	Mercado Santa Bárbara	378070.26 m E	8287025.33 m S
M-21	Mercado Santa Bárbara	378087.99 m E	8287022.79 m S
M-22	Mercado Santa Bárbara	378088.80 m E	8287018.59 m S
M-23	Mercado Santa Bárbara	378076.98 m E	8286952.29 m S
M-24	Centro Comercial 2	378441.76 m E	8286859.55 m S
M-25	Centro Comercial 2	378495.58 m E	8286883.97 m S
M-26	Centro Comercial 2	378466.50 m E	8286872.60 m S
M-27	Centro Comercial 2	378443.05 m E	8286854.41 m S
M-28	Centro Comercial 2	378457.91 m E	8286811.49 m S
M-29	Centro Comercial 2	378470.51 m E	8286832.17 m S
M-30	Centro Comercial 2	378462.03 m E	8286803.76 m S
M-31	Centro Comercial 2	378526.31 m E	8286808.44 m S
M-32	Mercado Internacional Túpac Amaru	379136.86 m E	8287133.20 m S
M-33	Mercado Internacional Túpac Amaru	379092.55 m E	8287218.30 m S
M-34	Mercado Internacional Túpac Amaru	379142.58 m E	8287247.72 m S
M-35	Mercado Internacional Túpac Amaru	379132.63 m E	8287144.49 m S
M-36	Mercado Internacional Túpac Amaru	379118.94 m E	8287128.83 m S
M-37	Mercado Internacional Túpac Amaru	379299.61 m E	8287187.56 m S
M-38	Mercado Internacional Túpac Amaru	379311.41 m E	8287201.22 m S
M-39	Mercado Internacional Túpac Amaru	379280.59 m E	8287253.42 m S
M-40	Mercado Internacional Túpac Amaru	379266.97 m E	8287284.03 m S

M-41	Mercado Santa Juana	378440.83 m E	8287217.38 m S
M-42	Mercado Santa Juana	378431.84 m E	8287214.85 m S
M-43	Mercado Santa Juana	378417.32 m E	8287207.15 m S
M-44	Mercado Santa Juana	378419.87 m E	8287235.39 m S
M-45	Mercado Santa Juana	378356.95 m E	8287298.94 m S
M-46	Mercado Santa Juana	378381.38 m E	8287308.86 m S
M-47	Mercado Santa Juana	378403.56 m E	8287312.01 m S
M-48	Mercado Santa Juana	378397.94 m E	8287303.68 m S
M-49	Mercado Pedro Vilcapaza	379349.20 m E	8287735.44 m S
M-50	Mercado Pedro Vilcapaza	379354.28 m E	8287704.51 m S
M-51	Mercado Pedro Vilcapaza	379343.62 m E	8287692.17 m S
M-52	Mercado Pedro Vilcapaza	379333.13 m E	8287667.92 m S
M-53	Mercado Pedro Vilcapaza	379256.46 m E	8287678.63 m S
M-54	Mercado Pedro Vilcapaza	379234.26 m E	8287729.06 m S
M-55	Mercado Pedro Vilcapaza	379334.33 m E	8287766.72 m S
M-56	Mercado Pedro Vilcapaza	379343.34 m E	8287754.70 m S
M-57	Mercado Pedro Vilcapaza	379367.67 m E	8287683.87 m S
M-58	Mercado Cerro Colorado	379164.31 m E	8285778.13 m S
M-59	Mercado Cerro Colorado	379086.41 m E	8285745.91 m S
M-60	Mercado Cerro Colorado	379076.68 m E	8285752.66 m S
M-61	Mercado Cerro Colorado	379061.10 m E	8285801.76 m S
M-62	Mercado Cerro Colorado	379059.49 m E	8285814.82 m S
M-63	Mercado Cerro Colorado	379052.81 m E	8285829.95 m S
M-64	Mercado Cerro Colorado	379081.40 m E	8285847.67 m S
M-65	Mercado Cerro Colorado	379131.11 m E	8285866.42 m S
M-66	Mercado Cerro Colorado	379146.76 m E	8285825.54 m S
M-67	Plaza de Armas	378237.04 m E	8286828.98 m S
M-68	Plaza de Armas	378337.91 m E	8286804.85 m S
M-69	Plaza de Armas	378321.21 m E	8286734.28 m S
M-70	Plaza de Armas	378144.02 m E	8286759.53 m S
M-71	Plaza de Armas	378182.60 m E	8286799.57 m S

Fuente: Elaboración propia.

