

# Gloria garate guevara

## Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025

 Revisión Repositorio Institucional

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:571526366

Fecha de entrega

26 mar 2026, 7:59 GMT-5

Fecha de descarga

26 mar 2026, 8:04 GMT-5

Nombre del archivo

Ing\_Ambiental,\_Gloria Garate Guevara - corregido 25-03-26.pdf

Tamaño del archivo

2.1 MB

67 páginas

16.005 palabras

91.120 caracteres




# 16% 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

- 14%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.

## Fuentes principales

- 14% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	4%
2	Internet	tesis.unsm.edu.pe	<1%
3	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2025-08-03	<1%
4	Internet	docplayer.es	<1%
5	Internet	hdl.handle.net	<1%
6	Internet	www.coursehero.com	<1%
7	Internet	siar.regionsanmartin.gob.pe	<1%
8	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
9	Internet	unam.edu.pe	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2016-03-04	<1%
11	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%

12	Internet	red.uao.edu.co	<1%
13	Internet	tesis.ucsm.edu.pe	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2025-11-08	<1%
15	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle on 2019-01-11	<1%
16	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2026-01-27	<1%
17	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE on 2021-03-26	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Federico Villarreal on 2023-12-19	<1%
19	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-06-02	<1%
20	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
21	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2022-09-30	<1%
22	Internet	pollymerel1965.wixsite.com	<1%
23	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
24	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion on 2025-12-18	<1%

26	Trabajos del estudiante	unbosque on 2023-10-27	<1%
27	Internet	www.buenastareas.com	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Cientifica del Sur on 2018-07-24	<1%
29	Trabajos del estudiante	ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey on 2024-10-10	<1%
30	Internet	issuu.com	<1%
31	Internet	www.slideshare.net	<1%
32	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
33	Publicación	Chunyu Xu, Dongqun Xu, Zhe Liu, Yunpu Li, Ning Li, Ryan Chartier, Junrui Chang, ...	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion on 2021-07-18	<1%
35	Trabajos del estudiante	Universidad Politécnica del Perú on 2025-12-04	<1%
36	Internet	theconversation.com	<1%
37	Publicación	CESEL S.A. "PMA de la Central Térmica Tablazo Colán - Piura a Gas Natural-IGA000...	<1%
38	Publicación	CONSULTORIA E INGENIERIA INTEGRAL MEC EIRL. "DAA de la Planta Industrial de ...	<1%
39	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología on 2024-07-18	<1%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnica De Ambato- Direccion de Investigacion y Desarrollo , DIDE o...	<1%
41	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
42	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Martín on 2024-01-05	<1%
43	Trabajos del estudiante	Universidad de Medellin on 2020-05-28	<1%
44	Internet	dokumen.pub	<1%
45	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
46	Publicación	Enrique , Acosta Torres Edward   Laino, Sergio Andrés López. "Business Consultin...	<1%
47	Publicación	PACIFIC PROTECCION INTEGRAL DE RECURSOS (PIR) SOCIEDAD ANONIMA CERRA...	<1%
48	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2026-03-03	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2026-01-31	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2025-12-08	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2017-07-01	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica de los Andes on 2025-06-11	<1%
53	Internet	dspace.aeipro.com	<1%

54	Internet	rd.uffs.edu.br	<1%
55	Internet	worldwidescience.org	<1%
56	Internet	www.asociacionanse.org	<1%
57	Internet	www.tascam.eu	<1%
58	Internet	xipe.insp.mx	<1%
59	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-06-02	<1%
60	Trabajos del estudiante	Organismo de Evaluación y Fiscalización on 2025-12-18	<1%
61	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2016-07-16	<1%
62	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2024-01-23	<1%
63	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte on 2026-02-15	<1%
64	Trabajos del estudiante	University of Leeds on 2019-02-26	<1%
65	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
66	Internet	blogthinkbig.com	<1%
67	Internet	core.ac.uk	<1%

68	Internet	es.scribd.com	<1%
69	Internet	repositorio.flacsoandes.edu.ec	<1%
70	Internet	repositorio.unjfsc.edu.pe	<1%
71	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
72	Internet	revistas.pj.gob.pe	<1%
73	Internet	sanguesaylabajamontana.blogspot.com	<1%
74	Trabajos del estudiante	unbosque on 2023-11-01	<1%
75	Internet	www.senace.gob.pe	<1%



Esta obra está bajo una  
[Licencia Creative Commons  
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

**Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025**

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Gloria Garate Guevara

<https://orcid.org/0009-0000-0719-773X>

**Asesor:**

Ing. M.Sc. Roydichan Olano Arevalo

<https://orcid.org/0000-0002-9603-2845>

**Moyobamba, Perú**

**2025**



**FACULTAD DE ECOLOGÍA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis

18

# Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025

2

Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Gloria Garate Guevara

Sustentado y aprobado el 11 de diciembre del 2025, ante el honorable jurado:

16

---

**Presidente de Jurado**

Ing. M.Sc. Mirtha Felícita Valverde Vera

**Secretario de Jurado**

Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardález

**Vocal de Jurado**

Blga. M.Sc. Estela Bances Zapata

**Asesor**

Ing. M.Sc. Roydichan Olano Arevalo

1

**Moyobamba, Perú**

**2025**

## Declaratoria de autenticidad

**Gloria Garate Guevara**, con DNI N° 71539597, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 11 de diciembre del 2025.



**Gloria Garate Guevara**

DNI N° 75702434

## Ficha de identificación

<b>Título:</b> Los microplásticos, como material particulado respirable, en la calidad del aire urbano Moyobamba, 2025.	<b>Área de investigación:</b> Ciencia y tecnología ambiental. <b>Línea de investigación:</b> Calidad ambiental. <b>Sub línea de investigación:</b> Contaminación del aire. <b>Grupo de investigación:</b> Calidad Ambiental, Resolución N° 213-2022-UNSM/CFT/FE. <b>Tipo de investigación:</b> Básica <input type="checkbox"/> , Aplicada <input checked="" type="checkbox"/> , Desarrollo experimental <input type="checkbox"/>
<b>Autor:</b> Gloria Garate Guevara	Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental <a href="https://orcid.org/0009-0000-0719-773X">https://orcid.org/0009-0000-0719-773X</a>
<b>Asesor:</b> Ing. M.Sc. Roydichan Olano Arevalo	<b>Dependencia local de soporte:</b> Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Unidad o Laboratorio Ingeniería Ambiental <a href="https://orcid.org/0000-0002-9603-2845">https://orcid.org/0000-0002-9603-2845</a>

## Dedicatoria

A mi hija Brianna, por ser la razón de mi esfuerzo, mi mayor inspiración y la motivación que me impulsa a seguir superándome cada día.

A mi madre, Liliam Guevara, por su amor incondicional, su apoyo constante y su ejemplo de fortaleza, que me han guiado y acompañado en todo momento de mi vida.

**Gloria**

## Agradecimientos

A Dios, por haberme brindado la vida, la salud y la fortaleza necesarias para culminar con éxito esta etapa tan importante de mi formación profesional.

A mi familia, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento. Gracias por ser mi pilar fundamental, por creer en mí y acompañarme con paciencia y aliento a lo largo de este camino.

A todos aquellos que, con sus consejos, palabras de motivación y gestos de apoyo, contribuyeron de alguna manera a la realización de este logro, les expreso mi más sincero y profundo agradecimiento.

63

25

## Índice general

Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria .....	7
Agradecimientos .....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras.....	12
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN .....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación .....	18
2.1.1. A nivel internacional.....	18
2.1.2. A nivel nacional.....	19
2.1.3. A nivel regional .....	20
2.2. Fundamentos teóricos.....	20
2.2.1. Los microplásticos .....	20
2.2.2. Calidad del aire .....	26
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación .....	31
3.1.1. Contexto de la investigación.....	31
3.1.2. Periodo de ejecución .....	31
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	32
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad.....	32
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales .....	32
3.2. Sistema de variables .....	32
3.2.1. Variables principales.....	32
3.3. Procedimientos de la investigación .....	33
3.3.1. Cuantificación de los microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba.....	34

15	3.3.2. Monitoreo de la calidad del aire en función de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba .....	35
	3.3.3. Establecimiento de la relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ ) en la ciudad de Moyobamba .....	36
	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
	4.1. Microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba.....	37
	4.1.1. Número promedio de MPs semanal y diario en el aire de la ciudad de Moyobamba.....	37
	4.1.2. Comparación del número de MPs presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba.....	39
1	4.2.3. Calidad del aire en función de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.....	41
4	4.1.4. Concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba .....	42
17	4.1.5. Comparación de las concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.....	43
	4.2. Relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ ) en la ciudad de Moyobamba.....	45
	CONCLUSIONES .....	49
	RECOMENDACIONES.....	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
	ANEXOS.....	58
	Anexo 1. Mapa de ubicación del proyecto.....	58
	Anexo 2. Autorización para ingreso al laboratorio.....	59
	Anexo 3. Autorizaciones predios para instalar las placas Petri y monitorear la calidad del aire .....	61
	Anexo 4. Ficha de recolección de microplásticos.....	64
	Anexo 5. Ficha de recolección de datos de calidad del aire .....	65
	Anexo 6. Análisis estadístico .....	66
	Anexo 7. Registro fotográfico.....	68

50

## Índice de tablas

7

2

17

1

Tabla 1 Efectos fisiológicos ocasionados por los microplásticos .....	23
Tabla 2 Clasificación de los contaminantes atmosféricos según su origen, composición química y estado de la materia .....	28
Tabla 3 Fuentes y efectos de los contaminantes más importantes de la atmósfera.....	28
Tabla 4 Estándares de calidad ambiental para material particulado .....	30
Tabla 5 Ubicación de los puntos de muestreo de microplásticos y material particulado PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> .....	31
Tabla 6 Descripción de variables por objetivo específico .....	32
Tabla 7 Prueba de normalidad y homocedasticidad .....	35
Tabla 8 Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el número de microplásticos registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba .....	39
Tabla 9 Prueba de ANOVA para comparar las concentraciones de PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>10</sub> en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba .....	43
Tabla 10 Correlación Rho de Spearman entre el número de PMs y las concentraciones de PM <sub>2,5</sub> en la ciudad de Moyobamba .....	45
Tabla 11 Correlación Rho de Spearman entre el número de PMs y las concentraciones de PM <sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba.....	46
Tabla 12 Comparaciones por parejas de grupo entre las cantidades de microplásticos registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba .....	66

5

## Índice de figuras

Figura 1	Modificaciones superficiales y clasificación de los contaminantes plásticos según su tamaño.....	21
Figura 2	Clasificación de los microplásticos.....	22
Figura 3	Fuentes de exposición y línea de exposición de los micronanoplásticos. ....	24
Figura 4	Tamaño y componentes de las partículas. ....	29
Figura 5	Efectos del material particulado en la salud humana. ....	30
Figura 6	Representación de los cuadrantes de 1 cm <sup>2</sup> donde se contabilizó el número de microplásticos muestreados mediante el método pasivo. ....	34
Figura 7	Número promedio de MPs/cm <sup>2</sup> registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba. ....	37
Figura 8	Número promedio diario de MPs/cm <sup>2</sup> registrados en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba. ....	38
Figura 9	Frecuencia de colores de microplásticos observados en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba. ....	39
Figura 10	Distribución espacial del número promedio de microplásticos/cm <sup>2</sup> registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba.....	40
Figura 11	Concentraciones de PM <sub>2,5</sub> en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.....	42
Figura 12	Concentraciones de PM <sub>10</sub> en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.....	43
Figura 13	Distribución de concentraciones de MPs y PM <sub>2,5</sub> en la ciudad de Moyobamba. ....	45
Figura 14	Distribución de concentraciones de MPs y PM <sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba. ....	47

70

1

1

74

## RESUMEN

Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025

La presencia de microplásticos (MPs) como material particulado en el aire es una preocupación creciente debido a sus potenciales efectos negativos sobre la salud humana y el ambiente. En la ciudad de Moyobamba, donde las actividades urbanas e industriales están en expansión, los microplásticos podrían haberse convertido en un contaminante emergente. El estudio tuvo como objetivo “Determinar la relación de los microplásticos como material particulado con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025”. El proyecto se desarrolló en el área urbana de la ciudad de Moyobamba, distrito y provincia homónima. La ejecución se realizó entre noviembre de 2024 y abril de 2025. La población incluyó el ámbito territorial de la ciudad de Moyobamba con un área de 12,8 km<sup>2</sup> y la muestra fue 0,314 km<sup>2</sup>. Se cuantificaron los microplásticos presentes en el aire de la ciudad de forma semanal durante tres meses en diez puntos de muestreo, utilizando el método pasivo con filtros colocados en placas Petri. Cada filtro se subdividió en siete cuadrantes de 1 cm<sup>2</sup>, en los cuales se cuantificaron los microplásticos. Simultáneamente, se monitorearon las concentraciones de material particulado PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> utilizando un detector automático, en el mismo periodo de medición. Finalmente, se estableció la relación entre las concentraciones de microplásticos y los valores de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> mediante la prueba estadística de correlación Rho de Spearman. Los resultados mostraron que las concentraciones promedio de MPs oscilaron entre 12,0 y 13,7 MPs/cm<sup>2</sup> por semana, con mayores concentraciones en las zonas céntricas de la ciudad. Los colores más comunes fueron negro y azul. Además, las concentraciones promedio de PM<sub>2,5</sub> variaron entre 25,4 µg/m<sup>3</sup> y 25,9 µg/m<sup>3</sup>, y las de PM<sub>10</sub> entre 28,0 µg/m<sup>3</sup> y 29,7 µg/m<sup>3</sup>, valores que no exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire). Finalmente, se determinó una correlación estadísticamente significativa, positiva y moderada entre el número de microplásticos y las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> ( $p = < 0,001$ ;  $R = 0,509$ ) y PM<sub>10</sub> ( $p = < 0,001$ ;  $R = 0,489$ ). En conclusión, los microplásticos comparten una correlación positiva y moderada con la calidad del aire en Moyobamba, específicamente en función de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, lo que indica que, a mayor concentración de material particulado, mayor es la concentración de microplásticos.

**Palabras clave:** Calidad del aire, material particulado PM<sub>2,5</sub>, material particulado PM<sub>10</sub>, microplásticos.

## ABSTRACT

Microplastics as particulate matter and their relationship with air quality in the city of Moyobamba, 2025

The presence of microplastics (MPs) as particulate matter in the air is a growing concern due to their potential negative effects on human health and the environment. In the city of Moyobamba, where urban and industrial activities are expanding, microplastics may have become an emerging pollutant. The study aimed to “Determine the relationship between microplastics as particulate matter and air quality in the city of Moyobamba, 2025.” The project was carried out in the urban area of the city of Moyobamba, district and province of Moyobamba. It was conducted between November 2024 and April 2025. The population included the territorial area of the city of Moyobamba, covering an area of 12.8 km<sup>2</sup>, and the sample area was 0.314 km<sup>2</sup>. Microplastics present in the city's air were quantified on a weekly basis for three months at ten sampling points, using the passive method with filters placed in Petri dishes. Each filter was subdivided into seven 1 cm<sup>2</sup> quadrants, in which microplastics were quantified. Simultaneously, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> particulate matter concentrations were monitored using an automatic detector during the same measurement period. Finally, the relationship between microplastic concentrations and PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> values was established using Spearman's Rho correlation statistical test. The results showed that average MP concentrations ranged from 12.0 to 13.7 MPs/cm<sup>2</sup> per week, with higher concentrations in the central areas of the city. The most common colors were black and blue. In addition, average PM<sub>2.5</sub> concentrations ranged from 25.4 µg/m<sup>3</sup> to 25.9 µg/m<sup>3</sup>, and PM<sub>10</sub> concentrations ranged from 28.0 µg/m<sup>3</sup> to 29.7 µg/m<sup>3</sup>, values that do not exceed the Environmental Quality Standards for Air (ECA-Air). Finally, a statistically significant, positive, and moderate correlation was determined between the number of microplastics and the concentrations of PM<sub>2.5</sub> ( $p = < 0.001$ ;  $R = 0.509$ ) and PM<sub>10</sub> ( $p = < 0.001$ ;  $R = 0.489$ ). In conclusion, microplastics share a positive and moderate correlation with air quality in Moyobamba, specifically in terms of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations, indicating that the higher the concentration of particulate matter, the higher the concentration of microplastics.

**Keywords:** Air quality, PM<sub>2.5</sub> particulate matter, PM<sub>10</sub> particulate matter, microplastics.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

El uso extensivo de plásticos convencionales ha generado una gran cantidad de residuos, que al descomponerse se transforman en pequeñas partículas llamadas microplásticos (MPs) (Emadian et al., 2017; Ziani et al., 2023). Estos microplásticos representan una amenaza significativa para los ecosistemas, afectando tanto el agua como el suelo, así como a los organismos, incluidos los humanos (Sattar et al., 2025). Diversos estudios han señalado que la presencia de MPs está relacionada con riesgos para la salud humana y a alteraciones en la flora y fauna acuática (Chen et al., 2020; Issac y Kandasubramanian, 2021). Además, su acumulación impacta negativamente las propiedades del suelo, como su estructura y capacidad de retención de agua (Sattar et al., 2025).

La contaminación del aire representa una amenaza significativa para la salud humana y es considerada, a nivel mundial, la principal causa de enfermedades y muertes prematuras (Marín et al., 2024; Song et al., 2024). Investigaciones previas han demostrado que la exposición a partículas finas está relacionada significativamente con un aumento en la mortalidad cardiovascular (Yap et al., 2019) y con un mayor riesgo de deterioro de la salud mental (Xue et al., 2019).

Cada año, se generan más de 400 millones de toneladas de plástico a nivel mundial (Naciones Unidas, 2025). En 2015, la producción de residuos plásticos alcanzó 6 300 millones de toneladas métricas, y se estima que alcanzará 12 000 millones para 2050 si continúan los patrones de consumo actuales (Jung et al., 2022). Esta contaminación da lugar a microplásticos como subproducto, que representan una preocupación ambiental crítica a nivel global (Dioses-Salinas et al., 2020; Ziani et al., 2023). Esta situación ha llevado a expertos a enfatizar la necesidad de investigar sus impactos en la salud y el medio ambiente (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2024). Diferentes estudios en diversas regiones del mundo han corroborado la presencia de microplásticos en el medio atmosférico. Por ejemplo, en 12 lugares de 9 países en 3 continentes, se desarrollaron muestreos de MPs entre julio a agosto de 2024, documentando la deposición de hasta 1 300 partículas/m<sup>2</sup> al día (espectroscopía) y 3,1 mg/m<sup>2</sup> al día (espectrometría (Eurofins Environment Testing, 2025)).

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (MINAM) el consumo de plástico en Perú asciende a aproximadamente 950 mil toneladas al año, lo que implica que cada peruano utiliza alrededor de 30 kilos anualmente (MINAM, 2024a). En 2023, el país produjo cerca

de 1,2 millones de toneladas de residuos plásticos, de los cuales solo un 10 % se recicla adecuadamente, mientras que el resto contamina mares, ríos y suelos (MINAM, 2024b). Sin embargo, la preocupación de la población se centra en la grave problemática de la contaminación por microplásticos (Ayala et al., 2023). Esta situación se ve agravada por una inadecuada gestión de los residuos plásticos, lo que podría tener efectos negativos en los ecosistemas y la salud humana (MINAM, 2023).

No obstante, la investigación sobre meso- y microplásticos es limitada y no concluyente en el país (De-la-Torre et al., 2023). Por ejemplo, un estudio realizado en hogares de Comas (Lima), logro identificar microplásticos de colores rojo, negro, azul, amarillo y blanco, en áreas como dormitorios, cocina y cocheras, alcanzando cantidades tan altas de 0,000883 gr/cm<sup>3</sup> (Díaz, 2018). Sin embargo, diversos estudios revelan que Perú ocupa el puesto 38 en América Latina por mala calidad del aire, con una concentración media de microplásticos de 23,5 µg/m<sup>3</sup> y una exposición promedio a PM<sub>2,5</sub> en Lima de 25,6 µg/m<sup>3</sup>, superando la recomendación de la OMS (Palomino-López et al., 2024).

A nivel regional, aunque no se han reportado estudios específicos sobre microplásticos en el aire, sí se han analizado varios parámetros de la calidad del aire. Por ejemplo, en la ciudad de Tarapoto se registraron 58,31 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> (Pérez, 2015). En Calzada, los valores fueron de 24,22 y 43,39 µg/m<sup>3</sup> para partículas de 2,5 y 10 micras, respectivamente (Guerra, 2020). Aunque estos niveles no superan los estándares de calidad ambiental, la calidad del aire se considera regular, lo que puede afectar la salud de personas sensibles (Pérez, 2015).

Un estudio realizado en la zona del Alto Mayo reveló que Moyobamba es la ciudad con mayores niveles de material particulado, con concentraciones de 82,5 y 43,3 µg/m<sup>3</sup> para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>, respectivamente (Rojas y Guerra-Saldaña, 2022). En la ciudad, es evidente el desarrollo de diversas actividades que podrían contribuir a la generación de microplásticos, lo que plantea una preocupación creciente tanto para la salud pública como para el ambiente. Entre estas actividades, y en línea con el marco teórico, se incluye el tráfico vehicular, las actividades de construcción, las operaciones industriales, entre otras. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la relación entre los microplásticos como material particulado y la calidad del aire, enfocándose en las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba.

El estudio se ejecutó a partir de la siguiente problemática: ¿Cuál es la relación de los microplásticos como material particulado con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025? Con el fin de dar respuesta a esta interrogante, se formuló la hipótesis de estudio: Los microplásticos como material particulado tienen relación

8

significativa con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025. El objetivo general: Determinar la relación de los microplásticos como material particulado con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025. Se establecieron los siguientes objetivos específicos: 1ro: Cuantificar los microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba; 2do: Monitorear la calidad del aire en función de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba; y, 3ro: Establecer la relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ) en la ciudad de Moyobamba.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. A nivel internacional

Eurofins Environment Testing (2025) en 12 lugares de 9 países en 3 continentes, se desarrollaron muestreos de microplásticos (MPs) entre julio a agosto de 2024 a través de un método armonizado de deposición húmeda-seca, empleando embudos con botellas de vidrio. Los resultados revelaron tasas de deposición de hasta 1 300 partículas/m<sup>2</sup> al día (espectroscopía) y 3,1 mg/m<sup>2</sup> al día (espectrometría). Los tipos de polímeros difirieron de acuerdo a la ubicación, siendo el polietileno (PE) y el polipropileno (PP) los más frecuentes. Asimismo, se documentó que la mayoría de las partículas presentaban tamaños inferiores a 100 µm, lo que señala que se pueden inhalar por los seres humanos. El análisis de datos morfológicos reveló que el 85 % de las partículas detectadas son fragmentos, el 10 % fibras y el 5 % esferas. Además, el análisis de datos de color documentó un 97 % de partículas detectadas de color blanca, el 2 % negras y el 0,6 % marrones, así como otros colores como el rosa y azul, pero en menores cantidades.

Shruti et al. (2022) en la ciudad de México, analizaron la presencia y las características de los microplásticos atmosféricos, recolectados a través de muestreadores activos de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en siete estaciones de monitoreo (urbanas, industriales y residenciales) durante estaciones seca y húmeda de 2020. Encontraron microplásticos en todas las muestras examinadas con concentraciones de 0,148 a 0,309 MPs/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> y entre 0,050 y 0,142 en PM<sub>2,5</sub>. Asimismo, se reveló que la distribución de los MPs fue más abundante en estaciones más cercanas a centros urbanos e industriales. La razón media PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> fue de 0,576, lo que señala que los microplásticos se repartieron más hacia PM<sub>2,5</sub> que hacia PM<sub>10</sub>. Por otro lado, las fibras fueron la forma de mayor predominancia (> 75 %) y el azul fue el color más común (> 60 %).

Oporto et al. (2021) en la zona de la Maica, en Cochabamba, Bolivia, evaluaron la contaminación del aire por microplásticos suspendidos. Se establecieron tres puntos de muestreo y se desarrollaron tres campañas de monitoreo de forma simultánea, ejecutándose cada campaña durante 7 días consecutivos. Los resultados revelaron una mayor concentración de 4,691 MPs/m<sup>3</sup> en relación a otros valores como 3,027 MPs/m<sup>3</sup> y 3,876 MPs/m<sup>3</sup>, aunque menores concentraciones de PM<sub>10</sub>. Asimismo, documentó que la variabilidad de las concentraciones según meses se puede ver influenciado por el

clima, volumen de tráfico vehicular, residuos sólidos cercanos, densidad poblacional y otras actividades desarrolladas en las zonas. En cuanto a las variaciones entre puntos de muestreo, documentó que se podría explicar por factores climáticos y principales fuentes de aporte como el tráfico vehicular que genera MPs por fricción de las llantas, la densidad poblacional, constante desarrollo de actividades y por ende mayor producción de desechos.

### 2.1.2. A nivel nacional

48 Villavicencio (2025) evaluó a los microplásticos como contaminante ambiental y los riesgos de exposición en instituciones educativas estatales mediante una revisión sistemática de estudios de caso realizados en Perú. Destacó que, en muchos de estos centros educativos, los contaminantes se pueden hallar de forma común propiciando a que los estudiantes y docentes lo respiren o ingieran sin darse cuenta. El estudio documentó la importancia de ejecutar actividades que promuevan el conocimiento, la prevención y el compromiso de las comunidades educativas sobre la reducción del impacto de microplásticos, así como la creación de espacios escolares más sostenibles y saludables.

4 49 Mullisaca (2024) caracterizó parámetros de material particulado y microbiológicos a fin de estudiar la calidad del aire. Se establecieron seis estaciones de muestreo y se monitoreó los parámetros en época de estiaje, empleando el método volumétrico para analizar el  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Entre los resultados se halló que las concentraciones de  $PM_{2,5}$  que sobrepasaron los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire) fueron:  $59,67 \mu g/m^3$ ,  $63,74 \mu g/m^3$ ,  $71,04 \mu g/m^3$  y  $83,95 \mu g/m^3$ . Por otro lado, los niveles de  $PM_{10}$  que superaron los ECA-Aire fueron:  $112,04 \mu g/m^3$ ,  $124,08 \mu g/m^3$ ,  $127,01 \mu g/m^3$  y  $148,97 \mu g/m^3$ . Se reveló que concentraciones de material particulado guardan una correlación significativa con la velocidad, humedad y temperatura.

8 8 Nayhua (2024) en la ciudad de Arequipa, evaluó las variaciones de niveles de material particulado ( $PM_{10}$ ) durante el periodo de 2010 a 2021. Se establecieron cinco estaciones de muestreo y se analizaron un total de 2 512 registros. Los resultados revelaron que la variación mensual del parámetro aumenta a partir de julio ( $103,24 \mu g/m^3$ ) a diciembre ( $106,10 \mu g/m^3$ ), registrándose la concentración más alta de  $142,61 \mu g/m^3$ . En cuanto a las estaciones, primavera ( $108,63 \mu g/m^3$ ) e invierno ( $104,87 \mu g/m^3$ ) registraron mayores concentraciones. Con respecto a la variación multianual, en el año 2013 se registró el valor más alto de  $124,92 \mu g/m^3$ . Asimismo, se documentó una proporción de excedencia anual de 86,11 % en referencia al ECA ( $50,0 \mu g/m^3$ ) y del 99,44 % en relación a la Guía de calidad de aire (GCA) ( $15 \mu g/m^3$ ).

7  
67

Cueva (2023) en el distrito de Puente Piedra, evaluó la calidad del aire por emisiones de material particulado para relacionarlo con enfermedades respiratorias agudas. Las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  se obtuvieron del SENAMHI para el periodo 2014 al 2017 y fueron comparados con los ECA-Aire. Los hallazgos demostraron niveles de  $PM_{2,5}$  que excedieron los ECA-Aire, siendo superior en el año 2017 ( $86,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). De igual manera, las concentraciones de  $PM_{10}$  también superaron los estándares de calidad, siendo mayor en el año 2015 ( $286,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Asimismo, se reportó que hubo correlación significativa entre  $PM_{10}$  y enfermedades respiratorias agudas como bronquitis aguda y amigdalitis, además de una elevada asociación entre la totalidad de casos reportados en edades de más de 60 años y de 12 a 17 con el  $PM_{10}$ .

### 2.1.3. A nivel regional

18

Rojas y Guerra (2022) en el ámbito de la cuenca del Alto Mayo, específicamente en las localidades de Moyobamba, Rioja, Segunda Jerusalén, Nueva Cajamarca y Naranjos, determinaron los niveles de partículas suspendidas de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Para cuantificar las partículas emplearon el método gravimétrico, desarrollando el muestreo durante 4 meses. Se encontró valores promedio de  $PM_{10}$  que fluctuaron entre  $75,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Naranjos y  $82,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Moyobamba. Las concentraciones de  $PM_{2,5}$  variaron entre  $36,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  también en Naranjos y  $43,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en Moyobamba. Asimismo, revelaron que las concentraciones de ambos parámetros no superaron los ECA-Aire.

42

Guerra (2020) en la zona del Morro de Calzada, que comprende los distritos de Calzada y Soritor estudió la relación entre la distribución espacial vertical y los niveles de material particulado  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Desarrolló muestreos durante tres meses en 12 puntos distribuidos a nivel de altura. Entre sus resultados reportó concentraciones promedio de  $PM_{2,5}$  que variaron entre  $4,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $24,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y de  $PM_{10}$  entre  $6,97 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y  $43,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Asimismo, reveló mayores concentraciones registradas en los puntos más bajos en relación a los puntos más altos, debido a la influencia de un mayor tránsito vehicular y características de las avenidas, calles y del propio suelo.

## 2.2. Fundamentos teóricos

### 2.2.1. Los microplásticos

#### 2.2.1.1. Micro y nanoplásticos, ¿qué son y cómo se forman?

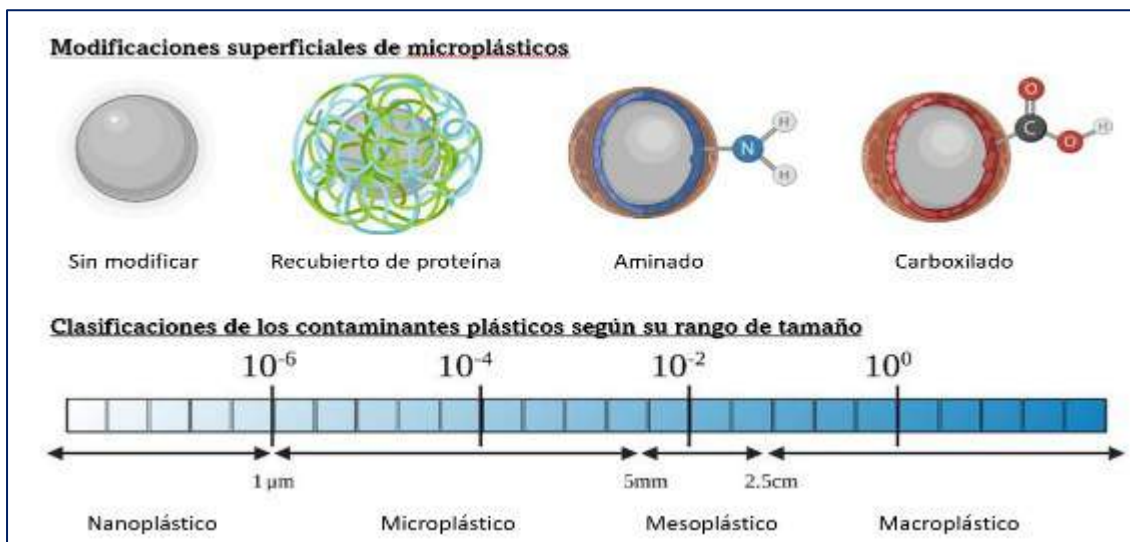
29

Los microplásticos son pequeñas partículas de plástico, que miden menos de 5 milímetros, y están formadas por polímeros y aditivos que pueden ser potencialmente tóxicos (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2024).

Por su parte, Larrea (2025) define a los microplásticos como trozos diminutos de plásticos u otros materiales creados con polímeros, que van desde tamaños de 5 mm hasta los 100 nm, conocidos comúnmente como nanoplásticos. El mismo autor señala que entre el 70 al 80 % de ambos materiales provienen al descomponerse piezas de plásticos más grandes mediante la oxidación u otros procesos que involucran la degradación.

Según Moreno-Arribas et al. (2025), los micro y nanoplásticos son fragmentos diminutos de plástico provenientes de residuos que, al no ser reciclados adecuadamente, terminan en el medio ambiente. El autor explica que los microplásticos son partículas menores de 5 mm y los nanoplásticos, inferiores a 1 micra ( $\mu\text{m}$ ), lo que les permite atravesar membranas celulares y biológicas, mientras que ambos tipos son invisibles al ojo humano, dificultando así la conciencia pública sobre los riesgos que representan.

Por otro lado, se ha clasificado a los microplásticos comúnmente encontrados según sus modificaciones superficiales y su rango de tamaño, el cual se muestra en la Figura 1:



**Figura 1**  
*Modificaciones superficiales y clasificación de los contaminantes plásticos según su tamaño.*  
Nota. Tomado y adaptado de Lett et al. (2021)

### 2.2.1.2. El terrible mundo de los microplásticos

Investigaciones revelaron que los cerebros de humanos fallecidos en 2024 presentaban un 50 % más de plásticos en comparación con las muestras de cerebros de quienes murieron en 2016, lo que evidencia que los microplásticos se han acumulado cada vez más en el cerebro a medida que el uso de plásticos ha aumentado en el mundo (Larrea, 2025). Asimismo, Larrea señala que los cerebros de pacientes con demencia mostraban concentraciones de microplásticos más altas que los de personas sanas, siendo el

polipropileno el tipo de plástico más encontrado, representando el 75 % del total; este material se utiliza comúnmente en bolsas de plástico y envases de alimentos y bebidas.

### 2.2.1.3. Fuentes u origen de los microplásticos

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) señala que estas diminutas partículas de plástico están presentes en muchos productos cotidianos, como los cigarrillos, donde constituyen la mayor parte de los filtros. Asimismo, indica que los microplásticos se encuentran en la ropa, en forma de microfibras que se liberan durante el lavado, y en los cosméticos, donde se añaden intencionalmente para proporcionar textura a los productos de aseo personal (ONU, 2023).

Según Gómez (2025), los microplásticos no solo se originan de la degradación de plásticos de gran tamaño, sino que también provienen de productos de cuidado personal y del desgaste de tejidos sintéticos. Además, el autor destaca que las principales vías de exposición de los microplásticos para los seres humanos son a través de alimentos, bebidas, aire y agua potable.

Por otro lado, Osman et al. (2023), realizó una clasificación de los microplásticos tomando en consideración su origen y su composición química (Figura 2).



Figura 2

Clasificación de los microplásticos.

Nota. Tomado y adaptado de Osman et al. (2023)

### 2.2.1.4. Peligrosidad de los microplásticos

Estas pequeñas partículas son un gran problema para ecosistemas acuáticos, ya que logran infiltrarse en las cadenas alimenticias marinas y de aguas continentales a través del plancton, los peces y otros organismos, debido a que sus partículas están dentro del rango de tamaño de su alimento; se estima que el 60 % de las anchoas y sardinas que se consumen presentan en su tracto digestivo algún pedazo de plástico, y además se

calcula que ingerimos unos 5 gramos de plástico a la semana, lo que equivale a una galleta (Calbet, 2022).

Los microplásticos están afectando a la población infantil en el mundo, un estudio ha demostrado que el 97 % de 2,500 niños en edades de 3 a 17 años mostraron niveles tóxicos de derivados plásticos, se estima que niños de 3 a 5 años podrían sufrir secuelas permanentes debido a la presencia de estas sustancias en su organismo, las cuales se encuentran en todo tipo de alimentos, agua potable e incluso en la sal (Hueso, 2021).

Por su parte, Vallarino (2025) menciona que los nanoplásticos y microplásticos pueden alterar las conductas reproductivas en varias especies, afectando comportamientos como el cortejo y el cuidado parental. Estas partículas también pueden dañar el material genético, llegando a provocar mutaciones. Además, tienen el potencial de afectar el sistema nervioso y causar daños irreversibles en embriones.

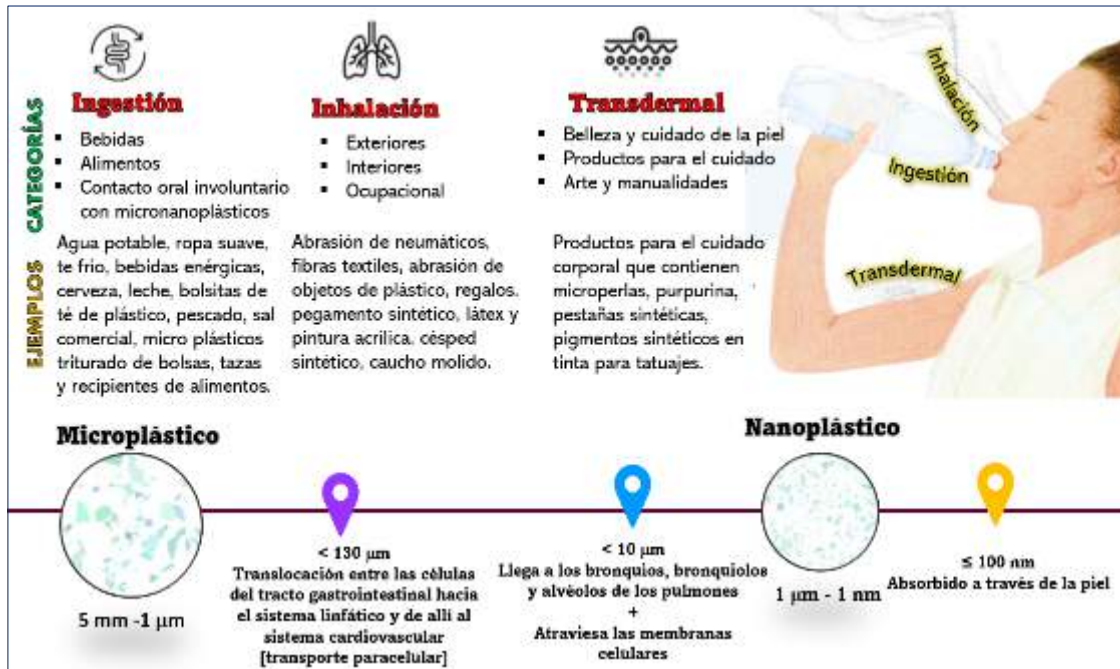
Se han identificado las fuentes de exposición a microplásticos y nanoplásticos, así como la línea de exposición que señala los tamaños que pueden atravesar las barreras epiteliales del tracto gastrointestinal, el tracto respiratorio y la piel. Estos detalles se ilustran en la Figura 3 (Belmaker et al., 2024).

Por otro lado, se ha identificado que los microplásticos generan efectos fisiológicos, los mismos que se describen en la siguiente tabla:

**Tabla 1**  
*Efectos fisiológicos ocasionados por los microplásticos*

<b>Efecto fisiológico</b>	<b>Descripción</b>
Inflamación y daño celular	Se producen daños físicos en las células del tracto gastrointestinal, lo que activa respuestas inflamatorias. Además, la inflamación crónica puede desencadenar diversas dolencias gastrointestinales y afectar la absorción de nutrientes.
Disrupción endocrina-interferencia hormonal	Una disrupción endocrina puede causar problemas de reproducción, crecimiento anormal y alteraciones metabólicas. Esta disrupción se debe a ciertos microplásticos que contienen aditivos químicos como ftalatos y bisfenoles A (BPA), que son disruptores endocrinos.
Activación del Sistema inmunitario	Se activan respuestas inmunitarias provocando la producción de citocinas inflamatorias. Además, la activación inmunitaria crónica puede contribuir al desarrollo de enfermedades autoinmunitarias y aumentar la susceptibilidad a infecciones.
Efecto neurotóxico	Los aditivos en los microplásticos pueden pasar la barrera hematoencefálica y afectar el sistema nervioso central. Esto puede causar neurotoxicidad, llevando a trastornos neurológicos, problemas de cognición y cambios en el comportamiento.
Efecto reproductivo	Los disruptores endocrinos que se encuentran en los microplásticos pueden tener un impacto significativo en la salud reproductiva, lo que podría llevar a problemas de fertilidad y afectar el desarrollo del feto.

Nota. Tomado y adaptado de Gómez (2025)



**Figura 3**  
 Fuentes de exposición y línea de exposición de los micronanoplásticos.  
 Nota. Tomado y adaptado de Belmaker et al. (2024)

### 2.2.1.5. Los plásticos como transportadores y facilitadores de sustancias tóxicas

Los plásticos, como el polietileno utilizado en bolsas y el polipropileno común en platos y vasos desechables, no solo absorben concentraciones más altas de contaminantes que los plásticos de botellas, tubos y cables, sino que también pueden transportar sustancias como hidrocarburos, metales pesados, plaguicidas y toxinas orgánicas persistentes (Vallarino, 2025). También se menciona que estudios han revelado que el polipropileno y el polietileno pueden llegar a absorber contaminantes durante 44 y 19 meses, respectivamente, destacando que a medida que pasa el tiempo, los contaminantes se adhieren más, volviéndose más peligrosos para los organismos a medida que se degradan.

### 2.2.1.6. Microplásticos en el aire

Un estudio realizado en tres departamentos de Aarhus, Dinamarca, revela que al menos el 4 % del volumen total del aire en interiores contenía fibras de plásticos inhalables, y en algunas habitaciones, esta cifra alcanzaba hasta el 20 %, siendo la mayoría de estos microplásticos provenientes de polímeros sintéticos presentes en la ropa, muebles y objetos de plástico (Vallarino, 2025). El mismo autor menciona que los microplásticos llegan al aire no solo cuando se evapora el agua que los contiene, sino también cuando objetos de plástico se dañan, raspan o desgasta, y estos al ser inhalados, los microplásticos pueden causar inflamaciones, reacciones alérgicas, neumonía crónica, bronquitis, enfisema y daño pulmonar, manifestándose a través de tos, dificultad para

respirar y enfermedades autoinmunes debido al daño celular ocasionado por el estrés oxidativo. Además, el autor enfatiza que los microplásticos no están solos al ser inhalados, ya que otros contaminantes atmosféricos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, originados por el humo del cigarrillo, combustibles o emisiones de fábricas, se adhieren a ellos.

Para Valladares et al. (2025), los microplásticos no solo afectan la salud y los ecosistemas, sino que también impactan el clima. Este autor señala que las partículas de microplásticos, al estar en el aire, dispersan la luz solar, lo que puede generar un efecto de enfriamiento o, por el contrario, un efecto contrario al llegar a las capas más altas de la atmósfera. También destaca que, aunque el impacto de los microplásticos es actualmente pequeño, es apreciable y está en aumento, pues un estudio revela que una concentración de 1 microplástico por metro cúbico a 10 km de altitud en la atmósfera podría tener un efecto significativo de calentamiento.

#### **2.2.1.7. Métodos de análisis de microplásticos en el aire**

El muestreo de micropartículas se puede llevar a cabo en dos formas: una pasiva y otra activa. En el método pasivo, se colocan filtros en una superficie plana y las partículas se depositan debido a su tamaño y a la acción de la gravedad. Por otro lado, en el método activo, una bomba obliga al aire a circular a través de un filtro, donde se capturan todas las partículas (Oporto et al., 2021).

##### **a) Método pasivo**

Este método se aplica mediante difusión molecular a un material absorbente como filtros de fibra de vidrio, los cuales son ubicados dentro de una caja Petri para evitar su deterioro y puestos en puntos estratégicos para que por acción de la gravedad los microplásticos se adhieran a estos y posteriormente puedan ser analizados en laboratorio empleando un estereoscopio. Se recolecta una muestra durante un período determinado, el bajo costo de este procedimiento permite muestrear en varios puntos del área, como las vías principales o las fuentes de emisión, y donde se deben realizar estudios más detallados. Para aprovechar al máximo esta técnica, se debe contar con un diseño cuidadoso del estudio y monitorear los procedimientos de control de calidad seguidos en el laboratorio durante el análisis de la muestra (Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), 2005).

Este método se distingue porque la captación es por difusión en lugar de bombas para la succión del aire; los medios de colección pueden ser sólidos adsorbentes, cintas impregnadas, tubos con reactivos entre otros; requiere post análisis en laboratorio y largos periodos para exposición (MINAM), 2015).

Entre las ventajas de este método destacan que es muy económico, simples de aplicar, no necesita electricidad, y como desventaja, en este método la generación de datos para que sean precisos, es lenta (MINAM), 2015).

#### **b) Método activo**

En este método se recolectan las muestras de contaminantes por medios físicos o químicos para luego ser analizadas en laboratorio. Se utiliza una bomba de succión y un indicador de flujo para determinar el volumen de aire en la muestra a través de un colector como un filtro (muestreo activo manual) o una solución química (muestreo activo automático) en periodos cortos de exposición y luego se retira para el análisis. Este método se utiliza para determinar tanto gases como partículas. Un ejemplo es el Hi Vol PM10 (muestreador de alto volumen para micropartículas menores a 10 um.) que recoge únicamente partículas inferiores a 10 micras a través de un cabezal con flujo de aire continuo. Las partículas se recogen en un filtro pesado antes y después del muestreo para determinar el peso neto ganado durante la toma de la muestra (MINAM), 2015).

#### **c) Método biológico – Bioindicadores**

Las especies bioindicadoras son aquellas cuyas características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, abundancia, reproductivo, dispersión, distribución, éxito entre otras) determina que puedan usarse como indicadores del estado de otras especies o condiciones ambientales que resultan difíciles o costosos de medir directamente (González et al., 2014).

#### **d) Las abejas como bioindicadores**

Las abejas de la miel (*Apis mellifera*), son excelentes bioindicadores de diferentes contaminantes. En el presente estudio se recolectó muestras de abejas durante la primavera, y luego se evaluó la presencia de microplásticos que se fijaron a los insectos en diecinueve colmenas en Copenhague y alrededor de la ciudad; como resultado se ha detectado microplásticos de diversas formas y colores, se ha observado la presencia de trece polímeros sintéticos distintos entre los que destacan las fibras de poliéster; polietileno o el cloruro de polivinilo aparecieron con frecuencia en las muestras junto con materiales de algodón o lana que han sufrido algún tipo de tratamiento para su uso textil (Edo, 2021).

### **2.2.2. Calidad del aire**

#### **2.2.2.1. ¿Qué es el aire?**

El aire es un componente ambiental vital para los procesos biológicos de los organismos, compuesto por un 78 % de nitrógeno, 21 % de oxígeno, 0,03 % de dióxido

de carbono y 0,07 % de otros gases, cuya composición puede alterarse por la adición de compuestos químicos, causando deterioro y afectando la salud (Tapia et al., 2002).

**Definición.** La calidad del aire refleja el nivel de pureza del aire que respiramos, y su valoración como buena o mala depende exclusivamente de la cantidad y concentración de los contaminantes presentes (Basto, 2016). Así mismo, el autor enfatiza que la calidad del aire en entornos urbanos y rurales no solo está influenciada por las emisiones de gases y partículas, sino también por las condiciones meteorológicas circundantes, que pueden facilitar o dificultar la dispersión y el transporte de los contaminantes.

19 Para Guijarro et al. (2004) la calidad del aire es la adecuación de los niveles de contaminación atmosférica, sin importar sus causas, garantizando que las sustancias, ruidos y vibraciones presentes no generen molestias graves ni riesgos o daños inmediatos o a largo plazo para las personas y los bienes.

#### **2.2.2.2. Contaminación del aire**

Es la presencia de una o más sustancias en cantidades que superan lo que normalmente se encuentra en la atmósfera, o que no son parte de ella; y que por su duración puede causar daños a la vida humana, a los animales, a las plantas y a los materiales, afectando así la calidad de vida de todos (Campos, 2003).

La contaminación del aire implica la contaminación de la atmosfera por sustancias químicas, partículas o materiales biológicos que causan morbilidad y mortalidad a los seres humanos, dañan a otros organismos vivos como las plantas, o afectan negativamente al entorno natural (Balmes & Holm, 2016)

##### **a) Fuentes de la contaminación atmosférica**

Las fuentes de contaminación del aire se pueden clasificar en naturales, cuando las emisiones provienen de fenómenos como erupciones volcánicas e incendios forestales, y en artificiales, que se dividen en dos tipos: fuentes móviles, causadas por el transporte, y fuentes fijas, originadas por procesos industriales y combustión en general (Aristizábal, 2006).

##### **b) Clasificación de los contaminantes del aire**

Campos (2003), clasifica a los contaminantes atmosféricos de la siguiente manera:

**Tabla 2**

*Clasificación de los contaminantes atmosféricos según su origen, composición química y estado de la materia*

Clasificación	Contaminantes atmosféricos
Origen	<p><i>Contaminantes primarios:</i> son los que se liberan directamente a la atmósfera y permanecen en su forma original. Entre ellos, encontramos los óxidos de azufre, nitrógeno e hidrocarburos.</p> <p><i>Contaminantes secundarios:</i> son formados en la atmósfera por reacciones fotoquímicas, oxidación u hidrólisis. Entre ellos, encontramos ozono, nitrato de peroxiacetilo, etc.</p>
Composición química	<p><i>Compuestos orgánicos:</i> destacan los hidrocarburos, aldehídos, ácidos carboxílicos, alcoholes, éteres y compuestos orgánicos de sulfuro.</p> <p><i>Compuestos inorgánicos:</i> se encuentra el dióxido de carbono, monóxido de carbono, carbonatos, óxidos de nitrógeno y sulfuro, ozono, cloruro de hidrógeno y fluoruro de hidrógeno.</p>
Estado de la materia	<p><i>Partículas:</i> son líquidos y sólidos finamente divididos dentro de los cuales se tiene: polvo, humo, neblina, ceniza y aerosoles.</p> <p><i>Gases:</i> son fluidos que no tienen una forma definida y ocupan todo el espacio disponible a su alrededor, comportándose de manera similar al aire. Proviene de sustancias en estado gaseoso e incluyen compuestos como óxidos de carbono, sulfuro, nitrógeno, oxidantes e hidrocarburos.</p>

Nota. Tomado y adaptado de Campos (2003)

**c) Contaminantes más importantes de la atmosfera**

Dentro de la contaminación atmosférica causada por diversas fuentes se tiene la presencia de los siguientes contaminantes:

**Tabla 3**

*Fuentes y efectos de los contaminantes más importantes de la atmósfera*

Contaminante	Fuente	Efecto
Monóxido de carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transporte.</li> <li>- Procesos industriales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interfiere en el transporte de oxígeno en la sangre</li> </ul>
Óxidos de azufre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plantas generadoras de electricidad</li> <li>- Refinación de petróleo</li> <li>- Calcinación de minerales de sulfuro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inhiben el crecimiento de las plantas.</li> <li>- Dificultad para respirar</li> <li>- Irritación de la garganta y vistas.</li> <li>- Enfermedades crónicas, cardiovasculares y respiratorias</li> </ul>
Óxidos de nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bacterias</li> <li>- Plantas generadoras de energía eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Afecta los pulmones y es toxico</li> </ul>
Hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustión de la gasolina, petróleo, carbón y madera.</li> <li>- Actividades de industria petrolera y vehículos de motor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A concentraciones altas son tóxicos para las plantas y animales</li> </ul>
Macropartículas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Industrias de fabricación de hierro, acero, cemento, extracción de rocas y minerales, Aerosoles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta enfermedades respiratorias.</li> </ul>

Nota. Tomado y adaptado de Ramírez (2016)

**d) Efectos de los contaminantes del aire en el ambiente**

Echeverri (2019), menciona que la contaminación del aire puede tener consecuencias en 3 niveles los cuales se describen a continuación:

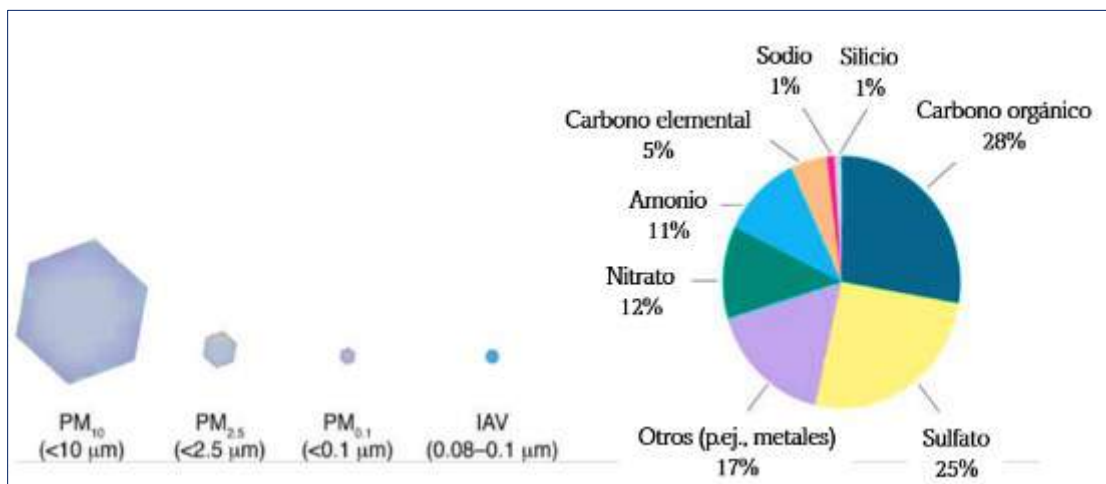
- **Efecto local:** Se manifiesta en la formación del smog, que evidencia la relación entre las condiciones atmosféricas y la contaminación del aire en entornos urbanos.
- **Efecto regional:** Se refiere a la formación de lluvias ácidas, que ocurre cuando los óxidos de azufre y nitrógeno retornan a la tierra en forma de ácidos disueltos en las gotas de lluvia.
- **Efecto global:** Incluye el cambio climático y la destrucción de la capa de ozono, provocados por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que lleva al aumento de la temperatura media de la Tierra y al deterioro de la capa de ozono.

### 2.2.2.3. ¿Qué es exactamente el material particulado?

Son pequeñas partículas sólidas o líquidas que se generan de forma natural o por la actividad humana; debido a su diminuto tamaño, tardan mucho en asentarse en el suelo, permaneciendo suspendidas en el aire, y no son uniformes, sino que consisten en una mezcla de sustancias que puede incluir azufre, hidrocarburos, nitrógeno, aluminio, arsénico, cadmio y níquel (Abellán & Cruz, 2023).

Según Henao (2015), el material particulado se origina a partir de procesos naturales como el viento, la polinización de plantas y los incendios forestales, así como de procesos antropogénicos, que incluyen la quema de combustibles sólidos como madera y carbón, actividades agrícolas como la fertilización y el almacenamiento de granos, y la industria de la construcción.

El material particulado se presenta en una variedad de tamaños y esta conformado por componentes comunes (Figura 4). Además, al inhalarse en altas concentraciones puede generar daños a la salud humano, provocando enfermedades (Figura 5)



**Figura 4**

*Tamaño y componentes de las partículas.*

Nota. Tomado y adaptado de Hamanaka y Mutlu (2025)

### 2.2.2.4. Estándares de calidad de aire para material particulado

A través del “Decreto Supremo N°003-2017-MINAM”, se establecen los estándares de calidad ambiental (ECA) para el aire, los cuales son un referente obligatorio que se aplica a los parámetros que definen las emisiones de las actividades productivas, extractivas y de servicios.

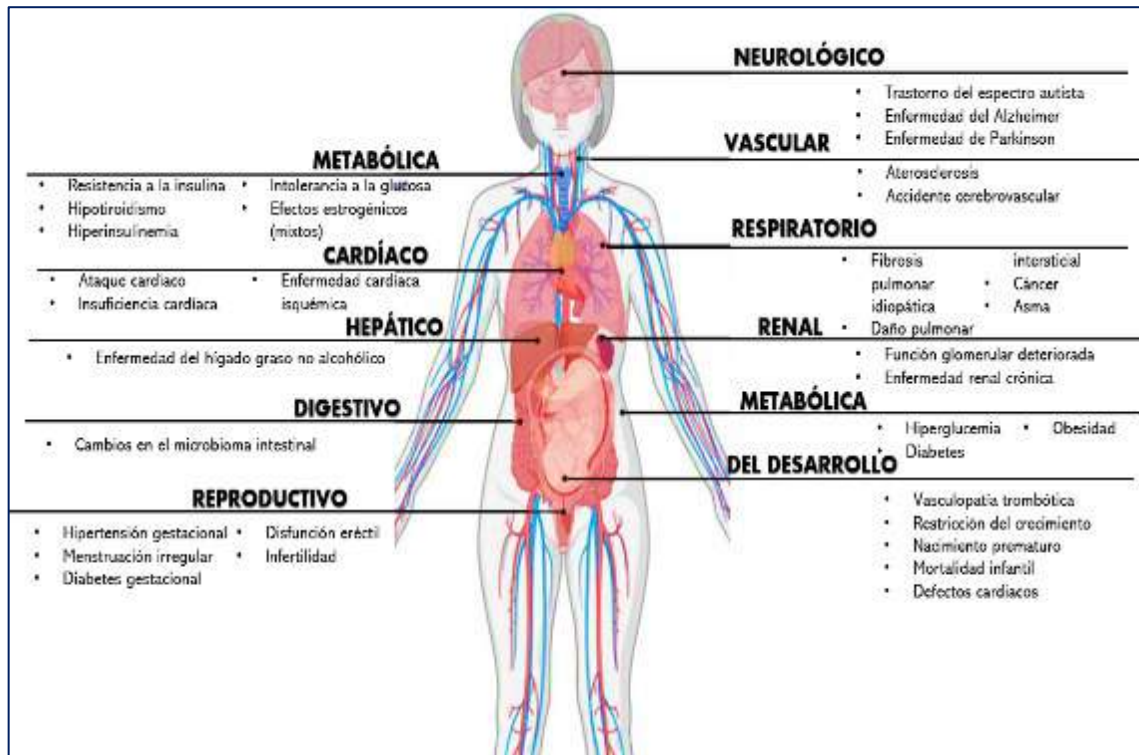
**Tabla 4**

*Estándares de calidad ambiental para material particulado*

Parámetros	Periodo	Valor [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM <sub>2,5</sub> )	Anual	25
	24 horas	50
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM <sub>10</sub> )	Anual	50
	24 horas	100

Nota. Tomado de MINAM (2017)

El material particulado presente en el aire, al ser inhalado en altas concentraciones, puede causar daños a la salud humana, provocando enfermedades que se ilustran en la siguiente figura.



**Figura 5**

*Efectos del material particulado en la salud humana.*

Nota. Tomado y adaptado de Pryor et al. (2022)

2

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

##### 3.1.1. Contexto de la investigación

###### 3.1.1.1. Ubicación política y geográfica

La ciudad de Moyobamba es reconocida como la capital y el principal centro urbano del distrito y la provincia que llevan su mismo nombre. Esta provincia limita al norte con el departamento de Loreto, al sur con las provincias de El Dorado y Huallaga, al este con la provincia de Lamas, y al oeste con la provincia de Rioja y el departamento de Amazonas. En la ciudad se establecieron un total de 10 puntos de muestreo (PM), los cuales se detallan en la tabla siguiente y su distribución geográfica puede consultarse en el Anexo 1.

**Tabla 5**

*Ubicación de los puntos de muestreo de microplásticos y material particulado  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$*

Punto de muestreo (PM)	Este	Norte	Dirección	Referencia
PM-01	280283	9333233	Jr. Alonso de Alvarado con Moquegua	Casa de la Sra. Ely
PM-02	281818	9329221	Los algarrobos Mz 71 Lote 10	Sector algarrobos
PM-03	282255	9333338	Jr. Bolivar cdra 5 esquina con 20 de abril	Sector Tahuisco
PM-04	280988	9331556	Psje Las golondrinas S/N Cdra 1. Sector dos de junio cerca a la Av Ignacia Velasquez	Sector 2 de junio
PM-05	282225	9332881	Jr. Libertad 872	Casa del Sr. Salem
PM-06	281455	9332405	Jr. Pedro Canga 156	Casa de la Sra. Lilian
PM-07	281679	9332730	Jr. Benavides con Alonso de Alvarado	Centro de la ciudad
PM-08	281625	9330722	Jr. Santa Rosa MZ E Lote 5	Cerca de la UNSM
PM-09	281161	9332371	Av. Ignacia Velasquez cruce con JR. Damian Najar	Sector Shango
PM-10	281882	9332259	Jr. 20 de abril frente a etrisa	Casa de la Sra. Elizabeth

1

##### 3.1.2. Periodo de ejecución

El periodo de ejecución del proyecto fue de cinco meses, desde el 28/11/2024, hasta el 27/04/2025.

### 3.1.3. Autorizaciones y permisos

A la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín (UNSM) para obtener el permiso correspondiente para ingresar y hacer uso del estereoscopio, con el cual se contabilizó el número de microplásticos. El permiso se muestra en el Anexo 2.

### 3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Durante el trabajo de campo, se implementaron estrictos protocolos de bioseguridad, incluyendo el uso de equipos de protección personal, para garantizar la seguridad de los investigadores. Además, se adoptaron medidas de control ambiental, como la disposición adecuada de los residuos sólidos generados a lo largo del proyecto, con el objetivo de prevenir su manejo inadecuado y minimizar el impacto ambiental.

### 3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

Los investigadores aseguran que el desarrollo del estudio se llevó a cabo conforme a los principios éticos fundamentales de la investigación, destacando especialmente la honestidad, el respeto hacia los individuos, la preservación del ecosistema, la beneficencia y la equidad, además de seguir normas éticas relacionadas con la transparencia y la confidencialidad.

## 3.2. Sistema de variables

### 3.2.1. Variables principales

Variable independiente: Microplásticos.

Variable dependiente: Calidad de aire ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ).

**Tabla 6**

*Descripción de variables por objetivo específico*

Objetivo específico Nº 1: Cuantificar los microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Microplásticos	- Cantidad. - Color.	- Estereoscopio. - Ficha de registro.	- N° MPs/cm <sup>2</sup> . - Tipo de color.
Objetivo específico Nº 2: Monitorear la calidad del aire en función de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.			
Calidad del aire	- Material particulado $PM_{2,5}$ . - Material particulado $PM_{10}$ .	- Detector automático. - Ficha de registro.	- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . - $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
Objetivo específico Nº 3: Establecer la relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ ) en la ciudad de Moyobamba.			
Relación entre MPs y calidad del aire.	- Relación entre MPs y $PM_{2,5}$ . - Relación entre MPs y $PM_{10}$ .	- Prueba Rho Spearman.	- $H_0$ : p valor > 0,05; $H_1$ : p valor $\leq$ 0,05.

2

### 3.3. Procedimientos de la investigación

#### 3.3.1. Diseño de la investigación

**Tipo de investigación:** Básica: Porque se cuantificó las cantidades de microplásticos y los colores más representativos, así como se monitoreo la calidad del aire en función de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . De acuerdo con Relat (2010), los estudios de carácter básico se enfocan en expandir el saber científico existente, manteniéndose dentro de una perspectiva teórica.

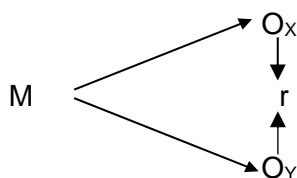
**Nivel de investigación:** Correlacional: Porque se buscó relacionar la cantidad de microplásticos y la calidad del aire ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ) registrados en los 10 puntos de muestreo establecidos en la ciudad de Moyobamba. Este grado de estudio pertenece a una metodología no experimental y se enfoca en descubrir explicaciones mediante el análisis de vínculos entre variables en entornos naturales, sin la necesidad de alterar dichas variables (García y García, 2012).

**Población:** La población estuvo conformada por el ámbito territorial de la ciudad de Moyobamba, la cual asciende a un área de 12,8 km<sup>2</sup>.

**Muestra:** La muestra se representó por diez puntos de monitoreo, distribuidos en la ciudad de Moyobamba. A cada punto se trazó un radio de 100 m a la redonda, la cual acumula un área total de 0,314 km<sup>2</sup>.

**Diseño:** Diseño experimental o muestral

Se consideró un diseño no experimental con un enfoque correlacional, tomando en cuenta que el propósito fue identificar la relación entre el número de microplásticos y la calidad del aire ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ). Este diseño presenta el siguiente esquema (Hernández et al., 2014):



Donde:

M: Muestra

Ox: Microplásticos.

r: relación

Oy: Calidad de aire ( $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ ).

69

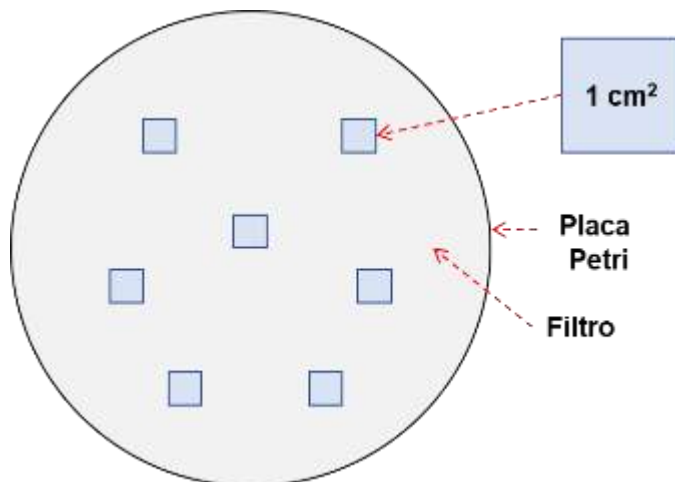
13

### 3.3.2. Cuantificación de los microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba

#### 3.3.2.1. Monitoreo de microplásticos

En primer lugar, se definieron los puntos de muestreo (PM) en gabinete y, posteriormente, se establecieron en el campo empleado un GPS manual. A continuación, se elaboró un mapa que reflejaba la distribución de dichos puntos (ver Anexo 1).

Una vez obtenidos los filtros, se delimitaron y subdividieron siete cuadrantes de  $1\text{ cm}^2$  cada uno, los cuales fueron colocados en placas Petri para preservarlos de posibles daños y facilitar su manipulación adecuada (Figura 6). Estas placas fueron ubicadas en los techos de los 10 puntos seleccionados para el muestreo. Para la recolección de los microplásticos, se utilizó un método pasivo, es decir, se dejó que los microplásticos se precipitaran durante una semana en los sitios de muestreo. Los filtros fueron reemplazados por nuevos filtros semanalmente durante un periodo de tres meses (desde el 29 de diciembre de 2024 al 22 de marzo del 2025).



**Figura 6**

*Representación de los cuadrantes de  $1\text{ cm}^2$  donde se contabilizó el número de microplásticos muestreados mediante el método pasivo.*

#### 3.3.2.2. Cuantificación del número de microplásticos

Se cuantificó la cantidad de microplásticos en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM haciendo uso de un estereoscopio, previa autorización. Este procedimiento se desarrolló de forma semanal considerando el mismo periodo de monitoreo. El conteo se realizó en cada uno de los siete cuadrantes de  $1\text{ cm}^2$  delimitados y se repitió por 3 veces para obtener de una manera más precisa, registrando los valores promedio en una ficha de recolección (ver Anexo 4). Para identificar si las partículas eran o no microplásticos, se tuvo en cuenta que estos muestran características de ser de diversos colores y formas.

### 3.3.2.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

Se utilizaron estadísticos descriptivos, como el promedio y la desviación estándar. Los resultados fueron representados mediante diagramas de caja (box plot), los cuales se generaron utilizando el programa RStudio versión 4.4.2.

Además, se aplicaron estadísticos inferenciales, como la prueba de Kruskal-Wallis y la prueba post hoc de Dunn, ajustada por el método de Bonferroni, tras verificar los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $p < 0,05$ ) y de homocedasticidad con la prueba de Levene ( $p < 0,05$ ) para el conjunto de datos (Tabla 7). También se elaboró un mapa de distribución de microplásticos. Todos estos procedimientos fueron realizados en el programa RStudio versión 4.4.2.

**Tabla 7**

*Prueba de normalidad y homocedasticidad*

Puntos de muestreo	Normalidad			Homocedasticidad		
	MPs	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	MPs	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
PM-01	0,0127	0,974	0,262			
PM-02	< 0,001	0,266	0,511			
PM-03	< 0,001	0,101	0,371			
PM-04	< 0,001	0,840	0,176			
PM-05	0,001	0,180	0,067			
PM-06	< 0,001	0,309	0,187	0,067	0,205	0,912
PM-07	0,002	0,833	0,534			
PM-08	0,002	0,284	0,833			
PM-09	< 0,001	0,534	0,613			
PM-10	< 0,001	0,433	0,503			

### 3.3.3. Monitoreo de la calidad del aire en función de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba

#### 3.3.3.1. Monitoreo de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> y comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire)

En cada uno de los puntos de muestreo donde se registraron los microplásticos, también se realizaron mediciones de material particulado PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>. Estas mediciones se llevaron a cabo con la misma frecuencia y durante el mismo periodo que las de microplásticos, es decir, desde el 20 de enero al 13 de abril del 2025, con tres mediciones diarias, cuyos promedios fueron utilizados para este estudio. Para ello, se empleó un detector automático y los valores obtenidos fueron registrados en una ficha de recolección de datos (ver Anexo 5).

Además, los resultados fueron comparados con los ECA-Aire, específicamente con los límites de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>2,5</sub> y 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para PM<sub>10</sub> durante un periodo de 24 horas.

Se utilizaron estadísticos descriptivos, como el promedio y la desviación estándar. Los resultados de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> fueron representados mediante diagramas de caja (box plot), los cuales se generaron utilizando el programa RStudio versión 4.4.2.

Asimismo, se aplicaron estadísticos inferenciales como la prueba de análisis de varianza (ANOVA) tras verificar los supuestos de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,05$ ) y de homocedasticidad con la prueba de Levene ( $p > 0,05$ ) para el conjunto de datos (Tabla 7), a fin de identificar diferencias estadísticamente en las concentraciones según puntos de muestreo. También se elaboró mapas de distribución de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Todos estos procedimientos fueron realizados en el programa RStudio versión 4.4.2.

### **3.3.4. Establecimiento de la relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire ( $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ ) en la ciudad de Moyobamba**

#### **3.3.4.1. Desarrollo de prueba estadística**

Se aplicó el estadístico Rho de Spearman tras verificar el supuesto de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $p > 0,05$ ) para el conjunto de datos (Tabla 7). Esta prueba permitió identificar la correlación entre el número de microplásticos y la variable calidad del aire, considerando las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Para el análisis se consideraron los valores promedio registrados diariamente para ambas variables.

#### **3.3.4.2. Contraste de hipótesis de estudio**

La contrastación de la hipótesis se realizó bajo un nivel de significancia de 0,05, tomando en cuenta los resultados de la Tablas 10 y 11. La hipótesis se rechazó cuando el p-valor fue menor a 0,05.

#### **3.3.4.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se aplicó el estadístico Rho de Spearman con un nivel de confianza del 95 %, con la finalidad de determinar correlación estadísticamente significativa entre las concentraciones de MPs y material particulado  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$ . Este análisis se realizó utilizando el programa IBM SPSS Statistics 27.

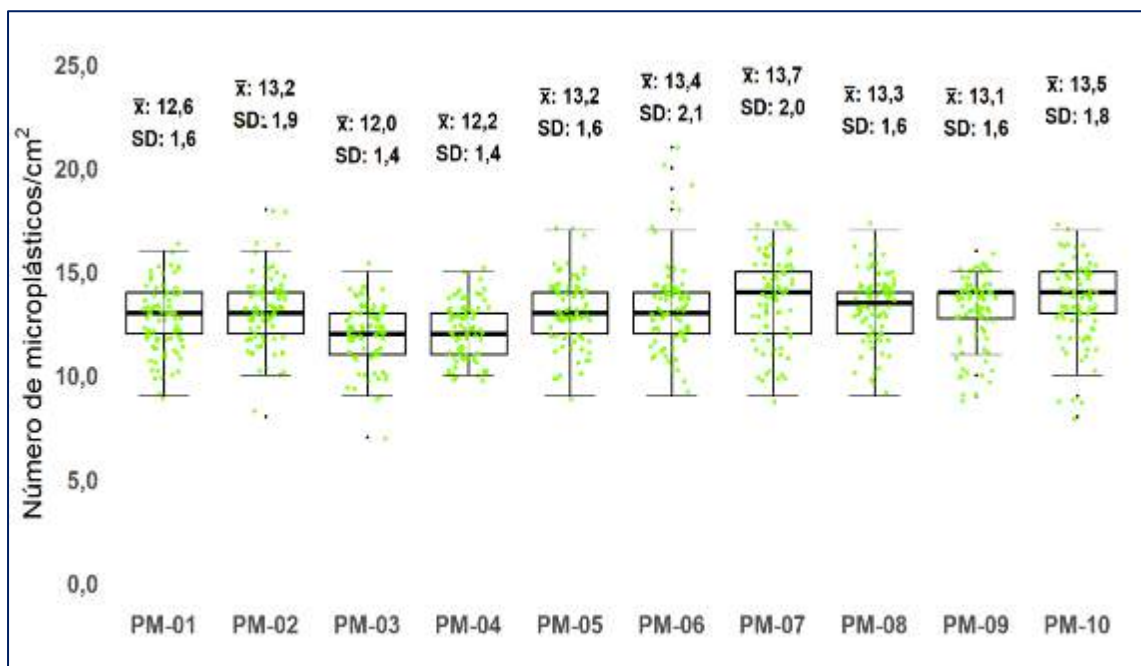
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Microplásticos (MPs) presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba

Se seleccionaron diez puntos de muestreo en la ciudad de Moyobamba, donde se cuantificaron los microplásticos de manera semanal durante un periodo de tres meses. En cada punto, se registró la cantidad de MPs presentes en cuadrantes de 1 cm<sup>2</sup>, y se documentaron aspectos relevantes, como su color. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

##### 4.1.1. Número promedio de MPs semanal y diario en el aire de la ciudad de Moyobamba



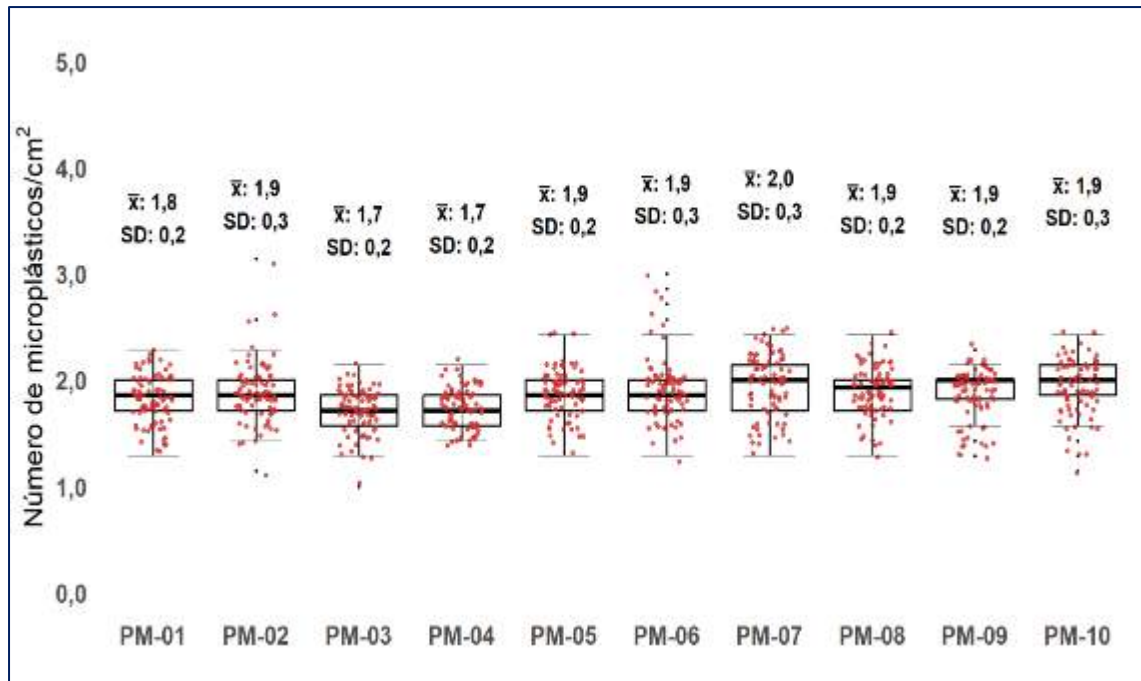
**Figura 7**

*Número promedio de MPs/cm<sup>2</sup> registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba.*

Nota. Los puntos verdes en las cajas (box plot) representan a los valores individuales de número de microplásticos registrados en cada punto de muestreo.  $\bar{x}$ : Promedio, SD: Desviación estándar

Se encontró que, en la ciudad de Moyobamba, el número de microplásticos varía entre las diversas estaciones, con algunas mostrando valores más altos de dispersión (PM-06) y otras con menor variabilidad (PM-01). Además, los valores promedio semanales fluctúan entre 12,0 y 13,7 MPs/cm<sup>2</sup>, lo que señala una concentración constante de microplásticos en los lugares monitoreados. La desviación estándar también refleja la dispersión de los datos, destacando que algunos puntos tienen una mayor variabilidad (PM-06 con SD = 2,1), mientras que otros presentan valores más estables (PM-03 y

PM04 con  $SD = 1,4$ ). En resumen, aunque la cantidad de microplásticos a la semana es relativamente constante en todos los puntos, hay algunos lugares que presentan una mayor variabilidad en los valores individuales, lo que sugiere que podrían existir factores específicos en estas ubicaciones que afectan la acumulación de los agentes contabilizados.

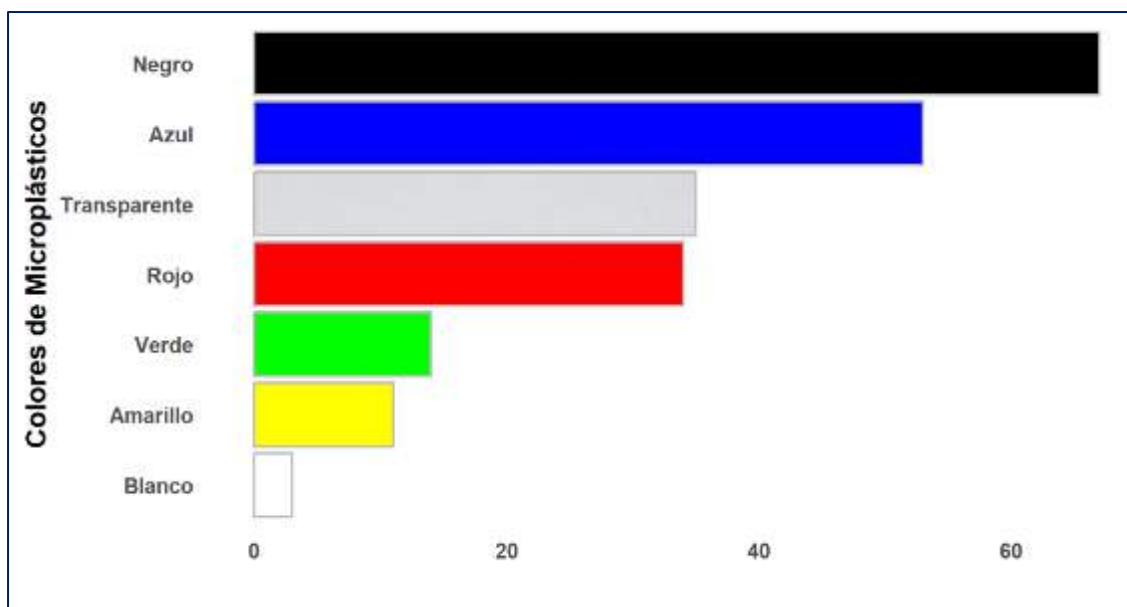


**Figura 8**

*Número promedio diario de MPs/cm<sup>2</sup> registrados en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba.*

Nota. Los puntos rojos en las cajas (box plot) representan a los valores promedios diarios de número de microplásticos determinados a partir del registro semanal en cada punto de muestreo.  $\bar{x}$ : Promedio, SD: Desviación estándar

En relación con el número promedio de microplásticos por día, determinado a partir de los registros semanales, se observó que los valores se mantienen bastante consistentes entre los diferentes puntos de muestreo, con resultados cercanos a 1,9 MPs\*día/cm<sup>2</sup>. El valor más alto fue registrado en PM-07, con 2,0 MPs\*día/cm<sup>2</sup>. Además, las desviaciones estándar fueron bajas (alrededor de 0,2 y 0,3), lo que indica una variabilidad relativamente baja en la cantidad de microplásticos presentes diariamente en los puntos de muestreo. Sin embargo, algunos puntos mostraron una mayor dispersión en los valores, lo que sugiere que existen áreas donde se acumulan más MPs que en otras.



**Figura 9**

*Frecuencia de colores de microplásticos observados en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba.*

En el muestreo realizado se identificó la aparición de distintos colores de microplásticos en la ciudad de Moyobamba. Los de color negro y azul son los más prevalentes, con una frecuencia significativamente mayor en comparación con otros colores. Los MPs transparentes y rojos también tienen una presencia destacada, pero en menor cantidad. Los colores verde, amarillo y blanco tienen frecuencias más bajas, indicando que son menos comunes en los puntos de muestreo evaluados. Esta distribución podría reflejar patrones específicos de residuos y fuentes de contaminación en la ciudad.

1

#### 4.1.2. Comparación del número de MPs presentes en el aire de la ciudad de Moyobamba

**Tabla 8**

*Prueba de Kruskal-Wallis para comparar el número de microplásticos registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba*

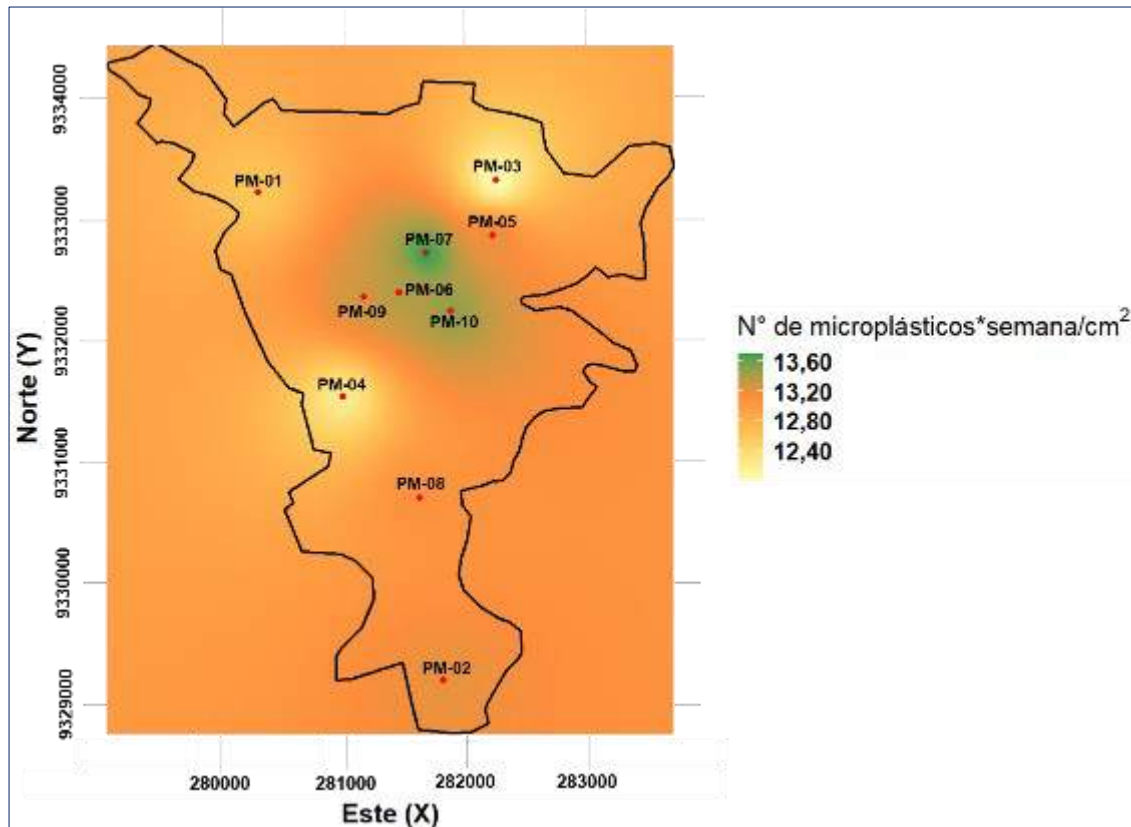
Variable	Estadístico de prueba ( $X^2$ )	gl	p-valor
Número de microplásticos	85,425	9	< 0,001*

Nota. \*Significativo al 0,05 según prueba Kruskal-Wallis

24

Mediante la prueba de Kruskal-Wallis se determinó un p-valor de < 0,001, inferior al nivel de significancia, lo que indica diferencias significativas entre los puntos de muestreo. Este resultado sugiere que el número de MPs varía de manera significativa entre los diferentes puntos de muestreo en la ciudad de Moyobamba. Además, la prueba post hoc de Dunn, ajustada por el método de Bonferroni (Tabla 12), reveló que el número de MPs en PM-03 fue significativamente menor que en los demás puntos, excepto en PM-01 y PM-04. De manera similar, PM-04 presentó menores cantidades de MPs en comparación con las otras estaciones de muestreo, salvo en PM-03 y PM-01. Por su

parte, PM-01 solo mostró diferencias significativas frente a PM-10 y PM-07. Las demás comparaciones no fueron significativas, lo que indica que en PM-03 y PM-04 se reportaron las menores cantidades de MPs.



**Figura 10**

*Distribución espacial del número promedio de microplásticos/cm<sup>2</sup> registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba.*

El mapa resalta la variabilidad espacial de los microplásticos en los distintos puntos de muestreo, sugiriendo que algunas áreas de Moyobamba presentan una mayor acumulación de MPs que otras, especialmente en la zona céntrica de la ciudad, donde las concentraciones semanales superan las 13 unidades de MPs/cm<sup>2</sup>. En contraste, las zonas periféricas, como PM-03 y PM-04, registraron las menores concentraciones, mientras que en otras áreas se observan concentraciones medias.

Los hallazgos revelaron una baja variabilidad en la distribución de microplásticos según puntos de muestreo, aunque algunas estaciones como PM-03 y PM-04 el número de MPs fue significativamente menor, mientras que en los puntos de la zona céntrica se reportaron la mayor cantidad. Esta diferencia se podría atribuir a factores climáticos y principales fuentes de aporte como el tráfico vehicular que genera MPs por fricción de las llantas, la densidad poblacional, constante desarrollo de actividades y por ende mayor producción de desechos (Oporto et al., 2021).

Con respecto al número de microplásticos, los resultados revelaron valores promedio diarios que variaron entre  $1,7 \pm 0,2$  MPs/cm<sup>2</sup> y  $2,0 \pm 0,3$  MPs/cm<sup>2</sup>. Al proyectar estos valores a metros cuadrados, se estimó que la cantidad de microplásticos oscila entre 17 000 MPs/m<sup>2</sup> y 20 000 MPs/m<sup>2</sup>. Estos resultados difieren con los hallazgos de Eurofins Environment Testing (2025), quienes documentaron la presencia de hasta 1 300 partículas/m<sup>2</sup> en 12 lugares de 9 países en 3 continentes, que generalmente presentan mayor densidad poblacional y, probablemente, niveles más altos de contaminación. En comparación, la ciudad de Moyobamba muestra una mayor cantidad de microplásticos por metro cuadrado, lo que podría indicar una mayor concentración local de estos contaminantes. No obstante, esta estimación no debe considerarse de forma absoluta, ya que puede haber errores en el método de muestreo utilizado y en la estimación derivada de una recolección semanal. Por lo tanto, se requiere una validación adicional del método o el desarrollo de otros métodos y una mayor investigación para determinar con precisión la cantidad de microplásticos durante un día en la ciudad de Moyobamba.

La evaluación del color de los microplásticos observados reveló que el color negro fue el más común, seguido por el azul y el transparente, mientras que los colores menos comunes fueron el blanco y el amarillo. En un estudio realizado por Shruti et al. (2022) en la ciudad de México, se encontró que el color azul era el más frecuente. Por otro lado, Eurofins Environment Testing (2025) describió al color blanco, negro y marrón como los más representativos en sus muestras. Estos resultados muestran una disparidad entre las ciudades, lo que sugiere que los colores predominantes pueden variar según el tipo de microplástico y las fuentes de contaminación. Además, es necesario implementar métodos más específicos para validar los colores más característicos de los MPs, considerando también su forma y tipo, lo que permitirá una mejor comprensión de la distribución y origen de estos contaminantes.

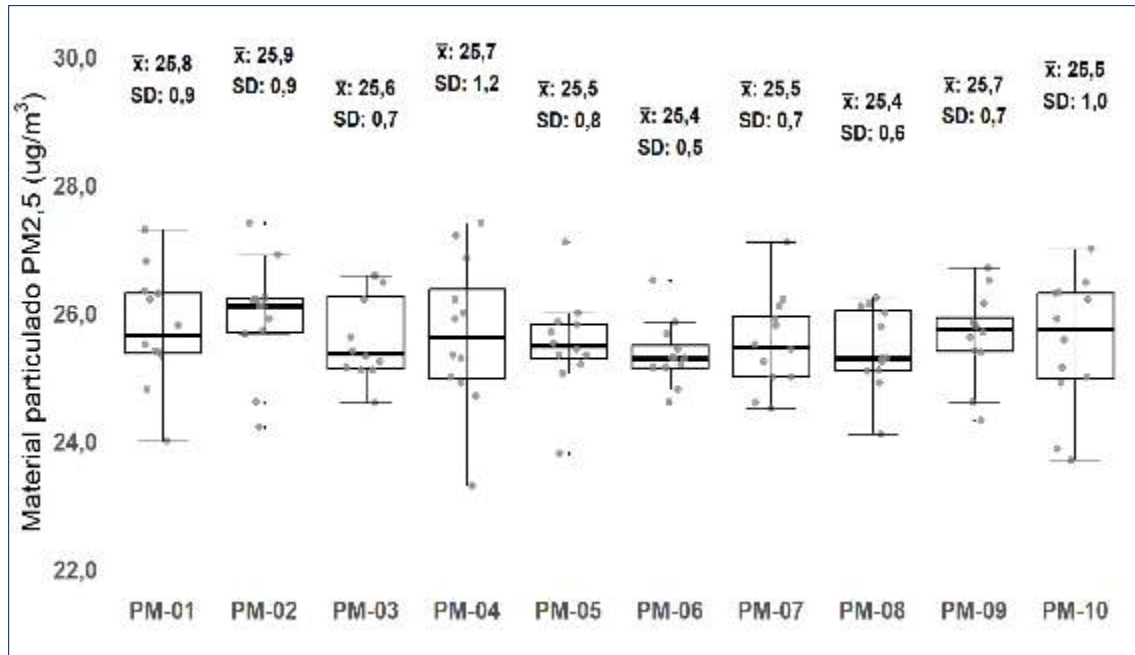
#### **4.2. Calidad del aire en función de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba**

Empleando un detector automático se monitoreo las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en los mismos puntos de muestreo donde se midieron los microplásticos. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

3

12

#### 4.2.1. Concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba



**Figura 11**

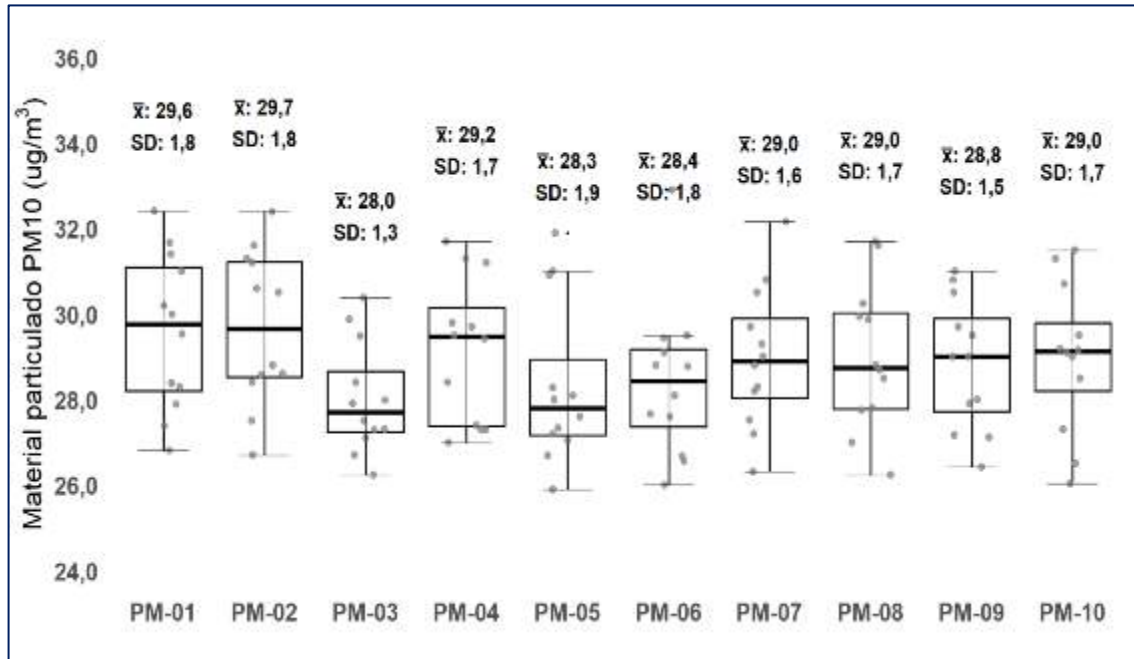
Concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.

Nota. Los puntos plomos en las cajas (box plot) representan a los valores promedios de PM<sub>2,5</sub> registrados en cada punto de muestreo. X: Promedio, SD: Desviación estándar

Se encontró que las concentraciones promedio de PM<sub>2,5</sub> varían entre 25,4 µg/m<sup>3</sup> y 25,9 µg/m<sup>3</sup> en los diferentes puntos de muestreo, con una desviación estándar relativamente baja (entre 0,5 y 1,2) en la mayoría de los puntos. Estos resultados sugieren una alta consistencia en las mediciones y una pequeña variabilidad en los valores de PM<sub>2,5</sub> entre los diferentes puntos. No obstante, algunas estaciones, como PM-02 (25,9 µg/m<sup>3</sup>) y PM-01 (25,8 µg/m<sup>3</sup>), presentaron ligero incremento en sus concentraciones, lo que señala posibles variaciones locales en las fuentes emisoras de material particulado. Además, los niveles de PM<sub>2,5</sub> no excedieron los Estándares de Calidad Ambiental para Aire (ECA-Aire) de 50 µg/m<sup>3</sup>, lo que significa que no se presenta un riesgo ambiental en relación con este parámetro.

Con respecto a las concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> (Figura 12), estas fluctúan entre 28,0 µg/m<sup>3</sup> y 29,7 µg/m<sup>3</sup> en los distintos puntos de muestreo, con desviaciones estándar que van desde 1,3 hasta 2,0, lo que indica una variabilidad mayor en ciertos puntos a diferencia de otros. Algunas estaciones, como PM-02 (29,7 µg/m<sup>3</sup>) y PM-01 (29,6 µg/m<sup>3</sup>), mostraron concentraciones más altas, sugiriendo probables variaciones locales en las fuentes de emisión de material particulado. Sin embargo, los niveles de PM<sub>10</sub> no

excedieron los ECA-Aire de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que también indica que no hay riesgo ambiental en relación con este parámetro.



**Figura 12**  
 Concentraciones de  $PM_{10}$  en los puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba.  
 Nota. Los puntos plomos en las cajas (box plot) representan a los valores promedios de  $PM_{10}$  registrados en cada punto de muestreo.  $\bar{x}$ : Promedio, SD: Desviación estándar

#### 4.2.2. Comparación de las concentraciones de $PM_{2,5}$ y $PM_{10}$ en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba

**Tabla 9**  
 Prueba de ANOVA para comparar las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en puntos de muestreo de microplásticos en la ciudad de Moyobamba

Variable	Fuente de variación	gl	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	p-valor
Concentraciones de $PM_{2,5}$	Grupo	9	3,03	0,3370	0,505	0,868
	Residuos	110	73,44	0,6676		
Concentraciones de $PM_{10}$	Grupo	9	30,2	3,355	1,086	0,379
	Residuos	110	339,7	3,089		

Nota. No significativo al 0,05 según prueba ANOVA

Mediante la prueba de ANOVA se determinó un p-valor de 0,868 para las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y de 0,379 para  $PM_{10}$ , ambos superiores al nivel de significancia establecido. Esto indica que no existen diferencias significativas en las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  entre los distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba. En otras palabras, las concentraciones de estos contaminantes no presentan variaciones notables en los puntos de muestreo analizados.

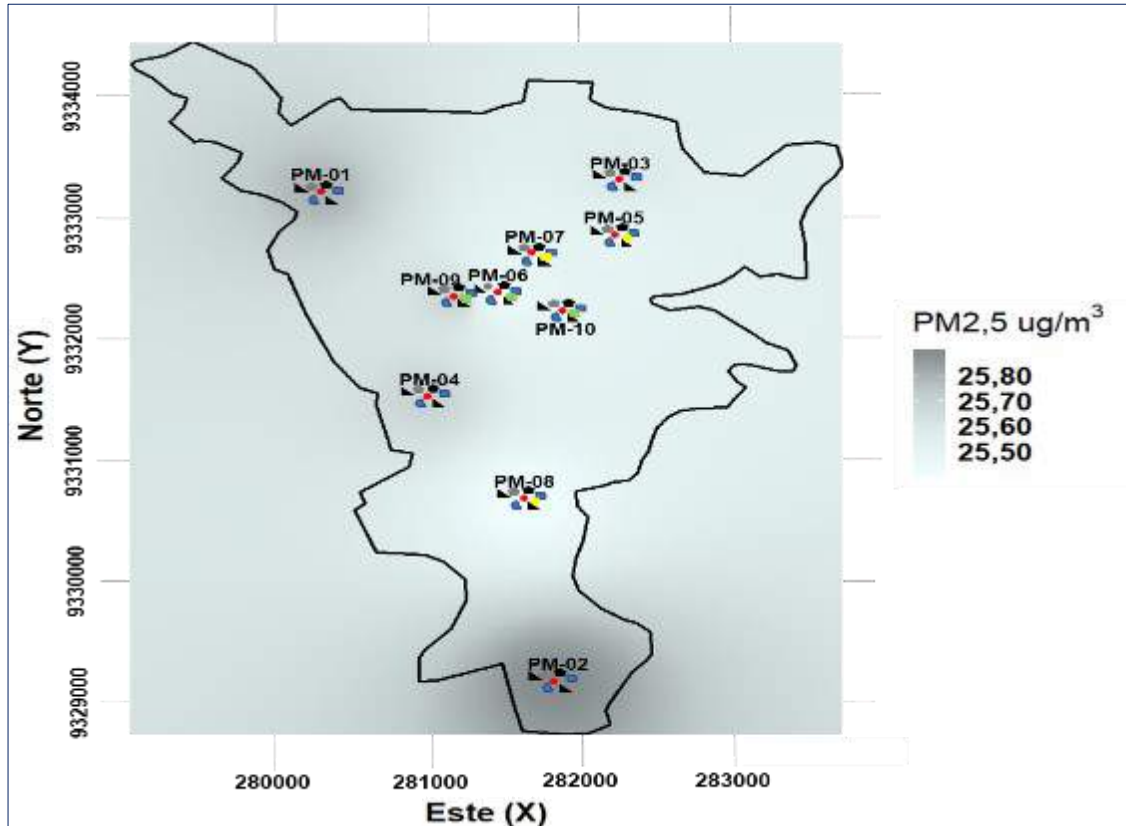
12 Los resultados obtenidos para las concentraciones de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  en los puntos de muestreo presentaron valores promedio de  $25,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $25,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2,5}$  y de  $28,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$ . En contraste, Rojas y Guerra-Saldaña (2022) documentaron en Moyobamba niveles promedio de  $82,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{10}$  y  $43,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $PM_{2,5}$ . Por su parte, Nayhua (2024) reportó en la ciudad de Arequipa concentraciones  $PM_{10}$  significativamente más altas, alcanzando los  $142,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La notable diferencia en los valores obtenidos puede atribuirse a varios factores, como las características particulares de las áreas de estudio, las fuentes de misión cercanas a las estaciones, el periodo y condiciones meteorológicas, así como las metodologías y frecuencias de monitoreo empleadas en cada investigación.

7 Por otro lado, se evidenció una ligera variabilidad de las concentraciones de los contaminantes entre las estaciones de muestreo, aunque los puntos PM-01, PM-02 y PM-04 registraron concentraciones ligeramente más altas para ambos parámetros. Este parámetro podría estar relacionado con las características específicas de los puntos de muestreo, ubicados en áreas donde las calles no están pavimentadas. En estos lugares, la acción del viento y el paso de vehículos favorecen la dispersión de los contaminantes. En contraste, Guerra (2020) documentó que, en el Morro de Calzada, las concentraciones más altas se encontraron en las zonas más bajas, las cuales se atribuyeron a un mayor tránsito vehicular y a las características de las avenidas y el suelo en esa área.

21  
60 Con respecto a la comparación de los niveles de  $PM_{2,5}$  y  $PM_{10}$  con los ECA-Aire, los resultados obtenidos indican que las concentraciones no exceden los valores establecidos en dicha normativa, lo que sugiere que estos contaminantes no representan un riesgo ambiental significativo en la ciudad de Moyobamba. A diferencia de ello, estudios realizados por Mullisaca (2024) en el distrito de San Miguel y Cueva (2023) en el distrito de Puente Piedra documentaron concentraciones de estos mismos contaminantes que superaron los estándares de calidad, evidenciando una situación de mayor riesgo ambiental en esas zonas. Las diferencias observadas en comparación con estos estudios podrían atribuirse a varias razones, como el mayor tráfico vehicular, las características urbanísticas o fuentes de emisión más intensas. Además, las condiciones meteorológicas, el periodo y método de muestreo pueden haber determinado los resultados.

### 4.3. Relación del número de microplásticos (MPs) con la calidad del aire (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) en la ciudad de Moyobamba

Se aplicó la prueba estadística de correlación Rho de Spearman para establecer la relación entre el número de MPs/cm<sup>2</sup> al día y las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> que representan a la calidad del aire. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.



**Figura 13**  
Distribución de concentraciones de MPs y PM<sub>2,5</sub> en la ciudad de Moyobamba.  
Nota. Las formas de diferentes colores en los puntos de muestreo (PM) representan a los posibles microplásticos registrados

**Tabla 10**  
Correlación Rho de Spearman entre el número de PMs y las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> en la ciudad de Moyobamba

			MPs/cm <sup>2</sup> al día	PM <sub>2,5</sub>
Rho de Spearman	MPs/cm <sup>2</sup> al día	Coefficiente de correlación	1,000	0,509**
		Sig. (bilateral)	!	< 0,001
		N	120	120
Rho de Spearman	PM <sub>2,5</sub>	Coefficiente de correlación	0,509**	1,000
		Sig. (bilateral)	< 0,001	!
		N	120	120

Nota. \*\*La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Se determinó que la correlación entre las concentraciones de microplásticos y PM<sub>2,5</sub> es significativa ( $p = < 0,001$ ), con un coeficiente de correlación de 0,509, lo que sugiere una

relación moderada entre ambas variables. Esto indica que, en general, a medida que aumentan las concentraciones de PM<sub>2,5</sub>, también lo hacen las cantidades de microplásticos, aunque la relación no es perfecta. La Figura 13 describe la distribución de MPs en relación a PM<sub>2,5</sub>, resultado que podría ser relevante para entender como coexisten ambos contaminantes y su posible implicancia para la salud pública y el ambiente.

**Tabla 11**  
*Correlación Rho de Spearman entre el número de PMs y las concentraciones de PM<sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba*

			MPs/cm <sup>2</sup> al día	PM <sub>10</sub>
Rho de Spearman	MPs/cm <sup>2</sup> al día	Coefficiente de correlación	1,000	0,489**
		Sig. (bilateral)	!	< 0,001
		N	120	120
	PM <sub>10</sub>	Coefficiente de correlación	0,489**	1,000
		Sig. (bilateral)	< 0,001	!
		N	120	120

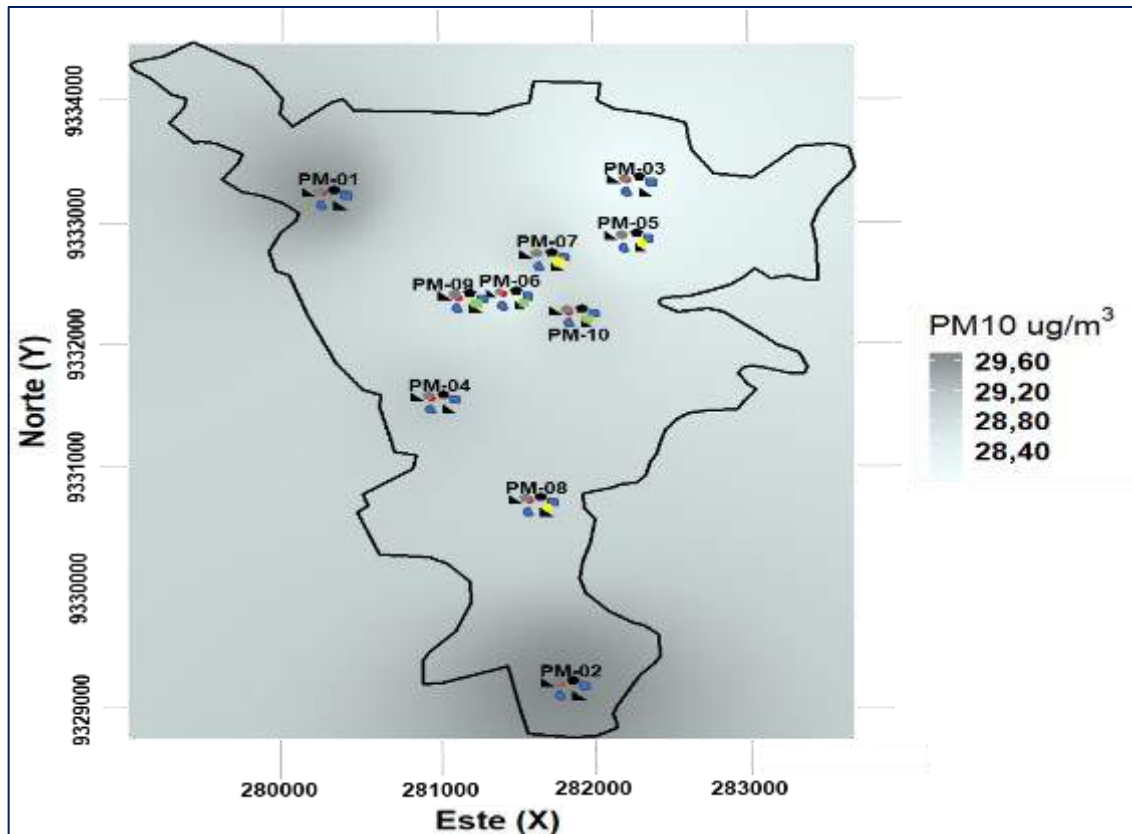
Nota. \*\*La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral)

Se determinó que la correlación entre las concentraciones de microplásticos y PM<sub>10</sub> es significativa ( $p = < 0,001$ ), con un coeficiente de correlación de 0,489, lo que sugiere una relación moderada entre ambas variables. Esto indica que, en general, a medida que aumentan las concentraciones de PM<sub>10</sub>, también lo hacen las cantidades de microplásticos, aunque la relación no es perfecta. La Figura 14 describe la distribución de MPs en relación a PM<sub>10</sub>, resultado que podría ser relevante para entender como coexisten ambos contaminantes y su posible implicancia para la salud pública y el ambiente.

### 4.3.1. Contraste de hipótesis de estudio

Hipótesis: Los microplásticos como material particulado tienen relación significativa con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025.

Conclusión: En referencia a los resultados presentados en las Tablas 10 y 11, se concluye que los microplásticos, como material particulado, están significativamente relacionados con la calidad del aire en Moyobamba, con una relación de nivel moderado, específicamente en función de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>. Es decir, se observa que el número de microplásticos tiende a aumentar en áreas con mayores niveles de contaminación por material particulado en el aire.

**Figura 14**

*Distribución de concentraciones de MPs y PM<sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba.*

Nota. Las formas de diferentes colores en los puntos de muestreo (PM) representan a los posibles microplásticos registrados

Los hallazgos demostraron que los microplásticos comparten una correlación positiva con las partículas de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>. Es decir, a mayores concentraciones de material particulado, mayor es la concentración de microplásticos en la ciudad de Moyobamba, aunque esta relación es de nivel moderado y el valor es mayor para PM<sub>2,5</sub>. Al respecto, Shruti et al. (2022) documentaron una razón media PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> de 0,576, lo que señala que los microplásticos se repartieron más hacia PM<sub>2,5</sub> que hacia PM<sub>10</sub>. Este fenómeno se podría explicar por el tamaño y la mayor capacidad de dispersión de las partículas de PM<sub>2,5</sub>, que permiten a los microplásticos mantenerse suspendidos en la atmósfera durante periodos más largos, facilitando su distribución y posterior acumulación en diversas áreas urbanas.

Este estudio resalta la correlación significativa entre las concentraciones de microplásticos y el material particulado en el aire, sugiriendo que los microplásticos podrían representar una preocupación emergente en términos de calidad del aire en Moyobamba. La mayor correlación observada con PM<sub>2,5</sub> sugiere que las partículas más pequeñas son más susceptibles de contener MPs, lo que destaca la importancia de realizar un seguimiento exhaustivo de estas partículas, no solo desde el punto de vista

de la contaminación del aire, sino también desde la perspectiva de la salud pública. En este contexto, Villavicencio (2025) señaló que, en muchos centros educativos, los microplásticos, pueden ser comunes y pueden estar presentes de manera inadvertida, lo que expone a los estudiantes y docentes a la inhalación o ingestión de estas partículas. Por ello, resulta fundamental implementar medidas de prevención y estrategias efectivas para reducir el impacto de los microplásticos, especialmente en entornos donde la exposición es más probable.

## CONCLUSIONES

La concentración de microplásticos muestra una baja variabilidad entre los puntos de muestreo, con cantidades promedio que oscilan entre 12,0 y 13,7 MPs/cm<sup>2</sup> a la semana. Las zonas céntricas presentan mayores concentraciones, mientras que las periféricas muestra valores más bajos. Los colores más comunes son el negro y azul, lo que puede estar vinculado con las fuentes locales de contaminación.

Las concentraciones promedio de PM<sub>2,5</sub> varían entre 25,4 µg/m<sup>3</sup> y 25,9 µg/m<sup>3</sup>, mientras que las de PM<sub>10</sub> fluctúan entre 28,0 µg/m<sup>3</sup> y 29,7 µg/m<sup>3</sup>, sin exceder los ECA-Aire establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Además, los resultados de la prueba ANOVA demuestran que no existen diferencias significativas en las concentraciones de estos contaminantes entre las diferentes estaciones de muestreo, lo que sugiere una distribución homogénea de las partículas en el área de estudio.

Las cantidades de microplásticos presentan una correlación estadísticamente significativa con las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> en la ciudad de Moyobamba ( $p < 0,001$ ). Esta relación es positiva y de nivel moderado, lo que sugiere que la cantidad de microplásticos tiende a aumentar a medida que lo hacen las concentraciones de material particulado PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>.

Con base en la hipótesis de estudio, se concluye que los microplásticos están significativamente correlacionados con la calidad del aire en Moyobamba, en un nivel moderado, específicamente en función de las concentraciones de PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>.

## RECOMENDACIONES

39 A los pobladores de la ciudad de Moyobamba, reducir el desarrollo de actividades que puedan contribuir a la emisión de microplásticos, como el uso excesivo de plásticos de un solo uso y promover prácticas de reciclaje y reutilización. Además, es importante mantener una buena ventilación en los hogares y espacios cerrados, así como estar conscientes de los posibles riesgos para la salud derivados de la exposición a los contaminantes en el aire.

46 A las autoridades, implementar programas de monitoreo de calidad del aire mediante sistemas de control de la contaminación por microplásticos y partículas finas. Asimismo, es fundamental promover políticas públicas para reducir la emisión de microplásticos, incentivar el uso de alternativas sostenibles y concienciar a la población sobre los riesgos de los MPs y otros temas vinculados a este.

Asimismo, a autoridades nacionales, incluir la medición y control de microplásticos en las normativas de calidad del aire, considerando su impacto en la salud pública. Además, es fundamental establecer políticas ambientales más estrictas para reducir la contaminación por partículas finas, con el apoyo de tecnologías avanzadas para la monitorización y el control de la emisión de microplásticos en diferentes regiones del país.

68 A docentes, estudiantes e investigadores, involucrarse activamente en proyectos de investigación y concienciación sobre la problemática de los microplásticos y su impacto en la calidad ambiental y la salud pública. Asimismo, se sugiere realizar una validación adicional del método utilizado o desarrollar otras técnicas que permitan estimar la cantidad diaria de MPs. También es importante incluir técnicas para el análisis de color, tipos y formas de los microplásticos, para complementar y enriquecer la información. Además, se sugiere investigar la presencia de MPs en el medio terrestre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abellán, J., y Cruz, J. (2023). *Lo que tu corazón espera de ti: descubre los 4 pilares para vivir en plena forma con una salud de hierro* (Grijalbo).
- Aristizábal, G. (2006). Contaminación ambiental y enfermedad respiratoria en el niño. In *Neumología Pediátrica* (Pnanamericana).
- Ayala, F., Rangel-Vega, A., Quinde, E., Reyes, E., Zeta-Flores, M., Tume-Ruiz, J., y De-la-Torre, G. E. (2023). Bibliometric review on microplastic contamination in the Pacific Alliance countries. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(11), 1369. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11990-4>
- Balmes, J. R., y Holm, S. (2016). Contaminación del aire interior y exterior. In *Tratado de medicina respiratoria* (Elsevier, Vol. 7).
- Basto, E. S. (2016). *Régimen jurídico del aroma y de la contaminación por hedor*. (Bosch Editor).
- Belmaker, I., Anca, E. D., Rubin, L. P., Magen-Molho, H., Miodovnik, A., y van der Hal, N. (2024). Adverse health effects of exposure to plastic, microplastics and their additives: environmental, legal and policy implications for Israel. *Israel Journal of Health Policy Research*, 13(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s13584-024-00628-6>
- Calbet, A. (2022). *El plancton y las redes tróficas marinas* (CSIC).
- Campos, I. (2003). *Saneamiento Ambiental* (EUNED).
- Chen, G., Feng, Q., y Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of The Total Environment*, 703, 135504. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>
- Cueva, J. N. (2023). *Evaluación de la calidad del aire por emisiones del material particulado y su relación con las enfermedades respiratorias agudas en el distrito de Puente Piedra, Lima Perú, 2014-2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/c68e7c93-df14-4182-b85f-35eb875e6116>
- De-la-Torre, G. E., Pizarro-Ortega, C. I., Dioses-Salinas, D. C., Ribeiro, V. V., Urizar Garfias Reyes, D. F., Ben-Haddad, M., Rakib, Md. R. J., y Dobaradaran, S. (2023). Micro- and mesoplastic pollution along the coast of Peru. *Environmental*

*Science and Pollution Research*, 30(27), 71396–71408.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-27707-6>

Díaz, G. E. (2018). *Evaluación del material particulado micro-plásticos y su relación con la calidad del aire en el interior de los hogares, Comas, 2018* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32304>

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

Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA). (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. [http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf)

Echeverri, C. (2019). *Contaminación atmosférica* (Ediciones de la U).

Edo, C., P. F. F., y R. R. (2021). *Las abejas indican la presencia de microplásticos en el medio ambiente*. <http://theconversation.com/las-abejas-indican-la-presencia-de-microplasticos-en-el-medio-ambiente-157611>

Emadian, S. M., Onay, T. T., y Demirel, B. (2017). Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*, 59, 526–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.006>

Eurofins Environment Testing. (2025). *Up to 1 300 microplastic particles per square metre per day: Global study reveals alarming level of air pollution*. Proyecto PlasticDustCloud: Eurofins Environment Testing. <https://plasticdustcloud.com/results/>

García, M. P., y García, M. (2012). Los métodos de investigación. In M. P. García & P. Martínez (Eds.), *Guía Práctica para la realización de trabajos de fin de grado y trabajos de fin de máster*. EDITUM. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-135806/12%20metodologc3ada-1-garcia-y-martinez.pdf>

Gómez, N. (2025). *Batidos que sanan* (Grijalbo).

González, A. C., Vallarino, A., Pérez, J. C., y Low, A. M. (2014). *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental* (ECOSUR).

- Guerra, M. T. (2020). *Distribución espacial vertical de la concentración de material particulado respirable (PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>) en el Morro de Calzada* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/ba069784-10d8-43ea-8c25-cd284cc905f0>
- Guijarro, R., Cantero, B., Muñoz, M., y Cantero, F. (2004). *Ayudantes técnicos de medio ambiente de la junta de Andalucía* (MAD).
- Hamanaka, R. B., y Mutlu, G. M. (2025). Particulate matter air pollution: effects on the respiratory system. *Journal of Clinical Investigation*, 135(17). <https://doi.org/10.1172/JCI194312>
- Henao, F. (2015). *Riesgos químicos* (Eco Ediciones).
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hueso, K. (2021). *Educación en la naturaleza* (Plataforma Editorial).
- Issac, M. N., y Kandasubramanian, B. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(16), 19544–19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>
- Jung, Y. S., Sampath, V., Prunicki, M., Aguilera, J., Allen, H., LaBeaud, D., Veidis, E., Barry, M., Erny, B., Patel, L., Akdis, C., Akdis, M., y Nadeau, K. (2022). Characterization and regulation of microplastic pollution for protecting planetary and human health. *Environmental Pollution*, 315, 120442. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120442>
- Larrea, B. (2025). *El cerebro atómico Cómo alimentarlo, cómo limpiarlo de tóxicos, cómo mantenerlo en forma, cómo crear nuevas neuronas. Aprende a conservar tu mente sana y lúcida toda la vida* (1ª ed.). La Esfera de los Libros.
- Lett, Z., Hall, A., Skidmore, S., y Alves, N. J. (2021). Environmental microplastic and nanoplastic: Exposure routes and effects on coagulation and the cardiovascular system. *Environmental Pollution*, 291, 118190. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118190>
- Marín, D., Calle, N., Arango, V., Betancur, P., Pérez, M., Orozco, L. Y., Marín-Ochoa, B., Ceballos, J. C., López, L., y Rueda, Z. V. (2024). Knowledge, attitudes and practices about air pollution and its health effects in 6th to 11th-grade students in

Colombia: a cross-sectional study. *Frontiers in Public Health*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1390780>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *Calidad Ambiental*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sialialtrujillo/archivos/public/docs/6699.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2024a). *Minam e IRTP consolidan alianza estratégica para contribuir a la reducción del consumo de plástico de un solo uso en el país*. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/936702-minam-e-irtp-consolidan-alianza-estrategica-para-contribuir-a-la-reduccion-del-consumo-de-plastico-de-un-solo-uso-en-el-pais>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2024b). *MINAM e Indecopi se unen para luchar frente a la contaminación por plástico en el país*. Ministerio del Ambiente. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/961030-minam-e-indecopi-se-unen-para-luchar-frente-a-la-contaminacion-por-plastico-en-el-pais>

Ministerio del Ambiente. (2023). *Expertos del Ministerio del Ambiente analizan impacto de la contaminación por microplásticos en diferentes regiones amazónicas*. Ministerio del Ambiente (MINAM). <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/861900-expertos-del-ministerio-del-ambiente-analizan-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-diferentes-regiones-amazonicas>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias*. Ministerio Del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-aire-establecen-disposiciones>

Moreno-Arribas, V., Porte, C., López-Rubio, A., y Prieto, M. A. (2025). *Micro y nanoplásticos* (Catarata).

Mullisaca, F. (2024). *Caracterización de la calidad del aire en función a parámetros microbiológicos y material particulado del distrito de San Miguel - 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Juliaca]. <https://repositorio.unaj.edu.pe/items/4143142a-efbd-4228-9ad7-9427e36bfbb2>

Naciones Unidas. (2025). *Cada persona consume más de 50.000 partículas de plástico al año*. <https://news.un.org/es/story/2025/06/1539146>

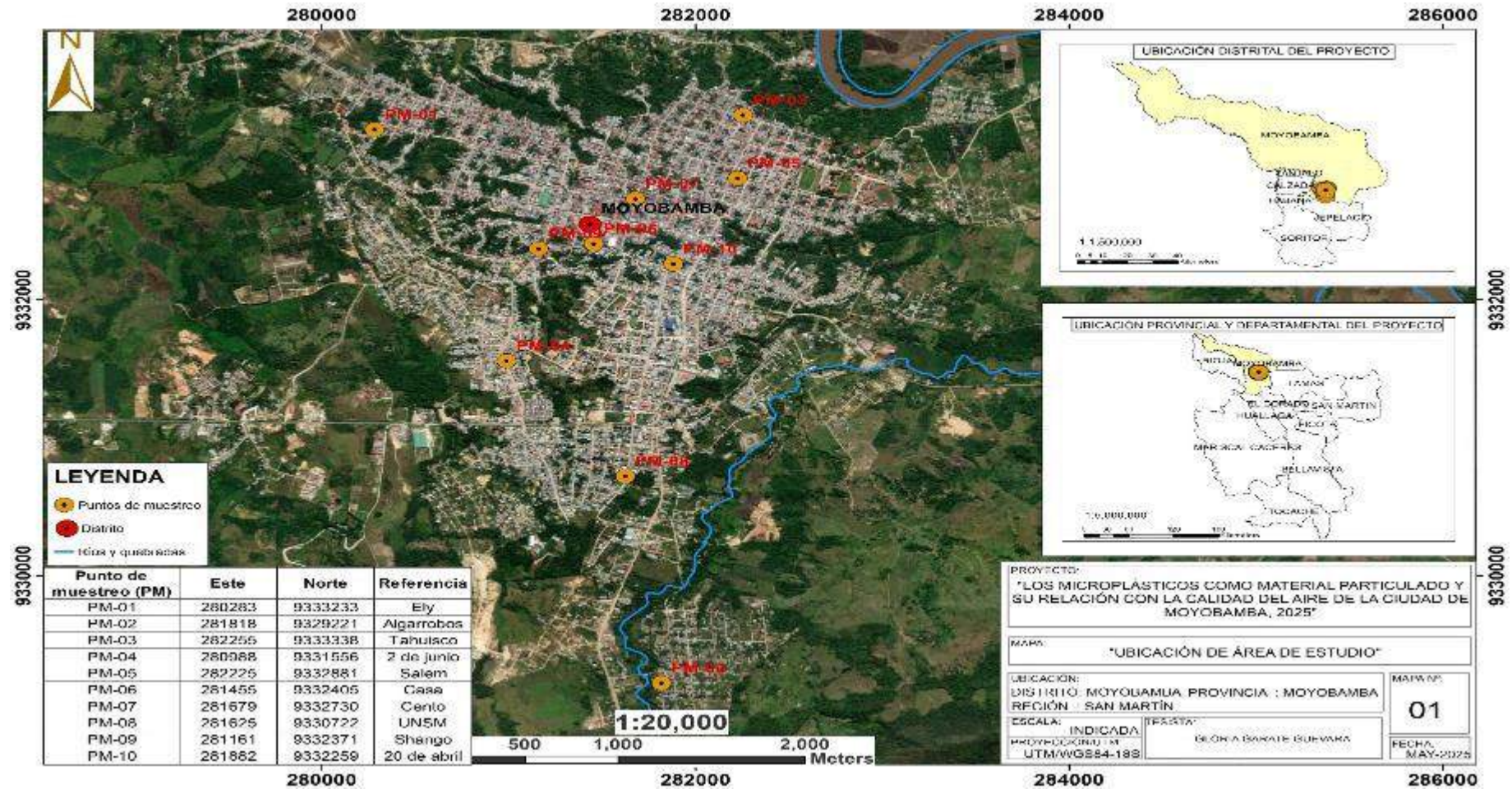
- Nayhua, R. A. (2024). *Concentraciones de material particulado (PM10) en la calidad del aire de la ciudad de Arequipa, Perú* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/9120>
- Oporto, V., Escóbar, I., Lujan, M., y d'Abzac, P. (2021). Evaluación de la contaminación del aire por microplásticos suspendidos en la zona de La Maica (Cochabamba, Bolivia). *Acta Nova*, 10(2), 190–221. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892021000200190&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892021000200190&lng=es&tlng=es).
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). *Microplásticos: consecuencias históricas de la contaminación por plásticos*. ONU. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/microplasticos-consecuencias-historicas-de-la-contaminacion-por>
- Organización Panamericana de la Salud. (2024). *Salud y contaminación por plásticos: la OPS considera clave fortalecer la investigación sobre los impactos en la salud y los sistemas de información y vigilancia*. <https://www.paho.org/es/noticias/16-4-2024-salud-contaminacion-por-plasticos-ops-considera-clave-fortalecer-investigacion>
- Osman, A. I., Hosny, M., Eltaweil, A. S., Omar, S., Elgarahy, A. M., Farghali, M., Yap, P.-S., Wu, Y.-S., Nagandran, S., Batumalaie, K., Gopinath, S. C. B., John, O. D., Sekar, M., Saikia, T., Karunanithi, P., Hatta, M. H. M., y Akinyede, K. A. (2023). Microplastic sources, formation, toxicity and remediation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(4), 2129–2169. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01593-3>
- Palomino-López, J., Pasquel-Vela, I., Paz-Aparicio, V. M., y Arrascue - Lino, A. A. (2024). *Quantification and characterization of atmospheric microplastics in a coastal urban area of the city of Lima, Peru*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1107>
- Pérez, J. (2015). Concentración de partículas menor a 10 micras y nivel de riesgo basado en valores del índice de calidad del aire realizado en el Departamento de San Martín – Perú. *Apuntes Universitarios*, 5(22), 75–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.17162/au.v0i2.235>
- Pryor, J. T., Cowley, L. O., y Simonds, S. E. (2022). The Physiological Effects of Air Pollution: Particulate Matter, Physiology and Disease. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.882569>

- Ramírez, V. M. (2016). *Química 2* (Editorial Patria, Vol. 3).
- Relat, J. M. (2010). Introducción a la investigación básica. *RAPD ONLINE*, 33(3), 221–227.
- Rojas, A., y Guerra-Saldaña, M. (2022). Nivel de contaminación del aire urbano por partículas suspendidas respirables (PM-10 y PM-2,5). *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 1(2), e373. <https://doi.org/10.51252/reacae.v1i2.373>
- Sattar, B., Liu, G., Yousaf, B., Arif, M., Gulzar, M. Z., Sajjad Haider, M. I., Safeer, R., Ijaz, S., Haider, M. A., y Aziz, K. (2025). Microplastic contamination in agricultural soils from mulch films and organic amendments: Transformation mechanism, soil-Biota toxicity, and future perspectives. *Waste Management*, 205, 115032. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.115032>
- Shruti, V. C., Kutralam-Muniasamy, G., Pérez-Guevara, F., Roy, P. D., y Martínez, I. E. (2022). Occurrence and characteristics of atmospheric microplastics in Mexico City. *Science of The Total Environment*, 847, 157601. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157601>
- Song, W., Kwan, M.-P., y Huang, J. (2024). Assessment of air pollution and air quality perception mismatch using mobility-based real-time exposure. *PLOS ONE*, 19(2), e0294605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294605>
- Tapia, L., Quintana, E., Ance, D., y Morales, J. (2002). *Calidad de vida en cuatro zonas del municipio de Potsí (PIEB)*.
- Valladares, F., Cantera, X., y Escudero, A. (2025). *La salud Planetaria* (CSIC).
- Vallarino, A. (2025). *¿Cómo ves? Océanos de plástico* (UNAM).
- Villavicencio, S. C. (2025). *Microplásticos como contaminante ambiental: riesgos de exposición en instituciones educativas estatales* [Trabajo de investigación de pregrado, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle]. <https://repositorio.une.edu.pe/entities/publication/19adda7d-e4ac-4878-bc6b-571d79e20541>
- Xue, T., Zhu, T., Zheng, Y., y Zhang, Q. (2019). Declines in mental health associated with air pollution and temperature variability in China. *Nature Communications*, 10(1), 2165. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10196-y>

- Yap, J., Ng, Y., Yeo, K. K., Sahlén, A., Lam, C. S. P., Lee, V., y Ma, S. (2019). Particulate air pollution on cardiovascular mortality in the tropics: impact on the elderly. *Environmental Health*, 18(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0476-4>
- Ziani, K., Ioniță-Mîndrican, C.-B., Mititelu, M., Neacșu, S. M., Negrei, C., Moroșan, E., Drăgănescu, D., y Preda, O.-T. (2023). Microplastics: A Real Global Threat for Environment and Food Safety: A State of the Art Review. *Nutrients*, 15(3), 617. <https://doi.org/10.3390/nu15030617>

# ANEXOS

## Anexo 1. Mapa de ubicación del proyecto



## Anexo 2. Autorización para ingreso al laboratorio



UNSM  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE SAN MARTÍN



Firma Digital  
FACULTAD DE  
ECOLOGÍA

Firmado digitalmente por: RUIZ RÍOS  
Astrid FALU 2016070701 uaf  
Módulo: Tercer año del documento  
Fecha: 20.01.2025 14:18:00 -05:00

"Año de la recuperación y consolidación de la Economía peruana"

Moyobamba, 20 de enero de 2025.

### Carta N° 0005-2025-UNSM-FECOL- M

Señorita.

**GLORIA GARATE GUEVARA**

Egresado de la E.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ecología  
Presente.-

**Asunto:** Autorización para Ingreso al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria

**Ref.** Exp. N° 0181-2025-FECOL

Me dirijo a usted para saludarle cordialmente al mismo tiempo en atención al documento de la referencia se autoriza el ingreso al Laboratorio de Ingeniería Sanitaria según cronograma establecido para los análisis respectivos de su tesis "Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025", debiendo ingresar al laboratorio conjuntamente con su asesor Ing. M.Sc. Roydichan Olano Arévalo, cumpliendo con todos los protocolos de bioseguridad.

N°	Fechas
01	23 enero 2025
02	15 febrero 2025
03	4 marzo 2025
04	25 marzo 2025

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,


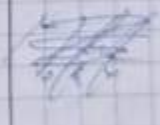
Documento firmado digitalmente


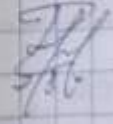
**Dra. Astrid Ruiz Ríos**  
Decano  
Facultad de Ecología

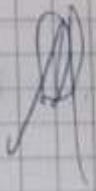

C.c. Coordinador de vigilancia  
ARR/ymt


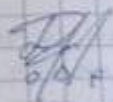
FILIAL MOYOBAMBA  
Prolongación 20 de Abril C-3 S/N - Moyobamba, Perú  
+51 (042) 291030  
fecol@unsm.edu.pe  
<https://unsm.edu.pe/>

Copia del registro y control de asistencia al laboratorio

Fecha	23-01-2025	Hora:	01.00 - 12.30
Gloria Gárate Guevara	Ejecución de tesis. Uso de estereoscopio		

Fecha	14-02 - 2025	Hora:	09:00 - 12:30.
Gloria Gárate Guevara	Ejecución de tesis. - Uso de estereoscopio		

Fecha	04-03 - 2025	Hora:	09-00 - 12.30 pm
Gloria Gárate Guevara	- Ejecución de tesis - Uso de estereoscopio		

Fecha	25-03 - 2024	Hora	09:00 - 12:30
Gloria Gárate Guevara	- Ejecución de tesis - Uso de estereoscopio		

### Anexo 3. Autorizaciones predios para instalar las placas Petri y monitorear la calidad del aire

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junin y Ayacucho"

Moyobamba, 27 de diciembre del 2024

Srta. Tesista  
**Gloria Garate Guevara**  
**Bachiller en Ingeniería Ambiental**

Asunto: Aceptación para ejecutar proyecto de tesis  
en mi propiedad.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y, en respuesta a lo solicitado, otorgar mi conformidad para la ejecución del proyecto de tesis titulado "Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025" en el ámbito de mi propiedad.

Autorizó la colocación de placas Petri y el monitoreo de la calidad del aire en los espacios que considere técnicamente apropiados, así como el desarrollo de todas las actividades conexas necesarias para el cumplimiento de los objetivos de investigación. Cabe señalar que dichas actividades deberán ser coordinadas previamente con mi persona para garantizar el adecuado desarrollo de las mismas.

Agradezco su atención y quedo a disposición para las coordinaciones que fueran necesarias.

Atentamente,

  
Lilam A. Guevara Asaña

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junin y Ayacucho"

Moyobamba, 28 de diciembre del 2024

Srta. Tesista

**Gloria Garate Guevara**

**Bachiller en Ingeniería Ambiental**

Asunto: Aceptación para ejecutar proyecto de tesis  
en mi propiedad.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y, en respuesta a lo solicitado, otorgar mi conformidad para la ejecución del proyecto de tesis titulado "Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025" en el ámbito de mi propiedad.

Autorizó la colocación de placas Petri y el monitoreo de la calidad del aire en los espacios que considere técnicamente apropiados, así como el desarrollo de todas las actividades conexas necesarias para el cumplimiento de los objetivos de investigación. Cabe señalar que dichas actividades deberán ser coordinadas previamente con mi persona para garantizar el adecuado desarrollo de las mismas.

Agradezco su atención y quedo a disposición para las coordinaciones que fueran necesarias.

Atentamente,



Carlos Lozano Ramirez

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junin y Ayacucho"

Moyobamba, 28 de diciembre del 2024

Srta. Tesista

**Gloria Garate Guevara**

**Bachiller en Ingeniería Ambiental**

Asunto: Aceptación para ejecutar proyecto de tesis  
en mi propiedad.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y, en respuesta a lo solicitado, otorgar mi conformidad para la ejecución del proyecto de tesis titulado "Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025" en el ámbito de mi propiedad.

Autorizó la colocación de placas Petri y el monitoreo de la calidad del aire en los espacios que considere técnicamente apropiados, así como el desarrollo de todas las actividades conexas necesarias para el cumplimiento de los objetivos de investigación. Cabe señalar que dichas actividades deberán ser coordinadas previamente con mi persona para garantizar el adecuado desarrollo de las mismas.

Agradezco su atención y quedo a disposición para las coordinaciones que fueran necesarias.

Atentamente,



Elizabeth Alvan Torres

### Anexo 4. Ficha de recolección de microplásticos

Título de tesis: Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025.							
Fecha :				Semana :			
Muestreador : Gloria Garate Guevara.							
Institución : Facultad de Ecología – Universidad Nacional de San Martín.							
Tipo de muestreo : Muestreo pasivo.							
Área de intervención : Zona urbana de Moyobamba.							
Punto de muestreo	Cuadrantes						
	C-01	C-02	C-03	C-04	C-05	C-06	C-07
PM-01							
PM-02							
PM-03							
PM-04							
PM-05							
PM-06							
PM-07							
PM-08							
PM-09							
PM-10							
Observaciones:							

### Anexo 5. Ficha de recolección de datos de calidad del aire

Título de tesis: Los microplásticos como material particulado y su relación con la calidad del aire de la ciudad de Moyobamba, 2025.				
Muestreador : Gloria Garate Guevara.				
Institución : Facultad de Ecología – Universidad Nacional de San Martín.				
Tipo de muestreo : Medición directa con detector automático de calidad de aire.				
Área de intervención : Zona urbana de Moyobamba.				
Punto de muestreo :				
Día	Fecha	Hora	PM2,5	PM10
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
Observaciones:				

## Anexo 6. Análisis estadístico

**Tabla 12**

*Comparaciones por parejas de grupo entre las cantidades de microplásticos registrados semanalmente en distintos puntos de muestreo de la ciudad de Moyobamba*

Muestra 1- Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
PM-03-PM-04	-21,542	36,808	-,585	,558	1,000
PM-03-PM-01	93,244	36,808	2,533	,011	,509
PM-03-PM-02	157,815	36,808	4,288	,000	,001
PM-03-PM-05	-170,833	36,808	-4,641	,000	,000
PM-03-PM-06	-171,780	36,808	-4,667	,000	,000
PM-03-PM-09	-179,619	36,808	-4,880	,000	,000
PM-03-PM-08	-188,131	36,808	-5,111	,000	,000
PM-03-PM-10	-220,417	36,808	-5,988	,000	,000
PM-03-PM-07	-237,929	36,808	-6,464	,000	,000
PM-04-PM-01	71,702	36,808	1,948	,051	1,000
PM-04-PM-02	136,274	36,808	3,702	,000	,010
PM-04-PM-05	-149,292	36,808	-4,056	,000	,002
PM-04-PM-06	-150,238	36,808	-4,082	,000	,002
PM-04-PM-09	-158,077	36,808	-4,295	,000	,001
PM-04-PM-08	-166,589	36,808	-4,526	,000	,000
PM-04-PM-10	-198,875	36,808	-5,403	,000	,000
PM-04-PM-07	-216,387	36,808	-5,879	,000	,000
PM-01-PM-02	-64,571	36,808	-1,754	,079	1,000
PM-01-PM-05	-77,589	36,808	-2,108	,035	1,000
PM-01-PM-06	-78,536	36,808	-2,134	,033	1,000
PM-01-PM-09	-86,375	36,808	-2,347	,019	,852
PM-01-PM-08	-94,887	36,808	-2,578	,010	,447
PM-01-PM-10	-127,173	36,808	-3,455	,001	,025
PM-01-PM-07	-144,685	36,808	-3,931	,000	,004
PM-02-PM-05	-13,018	36,808	-,354	,724	1,000
PM-02-PM-06	-13,964	36,808	-,379	,704	1,000
PM-02-PM-09	-21,804	36,808	-,592	,554	1,000
PM-02-PM-08	-30,315	36,808	-,824	,410	1,000
PM-02-PM-10	-62,601	36,808	-1,701	,089	1,000
PM-02-PM-07	-80,113	36,808	-2,177	,030	1,000
PM-05-PM-06	-,946	36,808	-,026	,979	1,000
PM-05-PM-09	-8,786	36,808	-,239	,811	1,000
PM-05-PM-08	-17,298	36,808	-,470	,638	1,000
PM-05-PM-10	-49,583	36,808	-1,347	,178	1,000
PM-05-PM-07	-67,095	36,808	-1,823	,068	1,000
PM-06-PM-09	-7,839	36,808	-,213	,831	1,000
PM-06-PM-08	-16,351	36,808	-,444	,657	1,000
PM-06-PM-10	-48,637	36,808	-1,321	,186	1,000
PM-06-PM-07	-66,149	36,808	-1,797	,072	1,000
PM-09-PM-08	8,512	36,808	,231	,817	1,000
PM-09-PM-10	-40,798	36,808	-1,108	,268	1,000
PM-09-PM-07	58,310	36,808	1,584	,113	1,000
PM-08-PM-10	-32,286	36,808	-,877	,380	1,000
PM-08-PM-07	49,798	36,808	1,353	,176	1,000
PM-10-PM-07	17,512	36,808	,476	,634	1,000

11

---

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de 0,050.

<sup>a</sup>Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

---

## Anexo 7. Registro fotográfico



Fotografía 1. Delimitación de cuadrantes y codificación de filtros para su instalación en las áreas de estudio.



Fotografía 2. Instalación de filtros en los puntos de muestreo establecidos.



Fotografía 3. Monitoreo de la calidad del aire con detector automático.



Fotografía 4. Contabilización de microplásticos en el laboratorio.