

Impacts of Particulate Matter (PM 2.5) on the atmospheric quality of the District of Morales - Province of San Martín – 2022

Impactos de Material Particulado (PM 2.5) en la calidad atmosférica del Distrito de Morales – Provincia de San Martín – 2022

Rodrigo Dávid Colichón Carranza¹  , Alexis Torres-del Aguila¹ , Carlos Mauricio Lozano Carranza¹  , Andi Lozano Chung²  

¹Universidad César Vallejo, Facultad De Ingeniería Y Arquitectura. Tarapoto, Perú.

²Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú.

Cite as

Colichón Carranza RD, Torres-del Aguila A, Lozano Carranza CM, Lozano Chung A. Impacts of Particulate Matter (PM 2.5) on the atmospheric quality of the District of Morales - Province of San Martín – 2022. SAP Biomedical & Chemical Engineering Innovation. 2023; 2:67. <https://doi.org/10.56294/evk202367>

Publication History

Submitted: 19-12-2022

Revised: 13-03-2023

Accepted: 14-07-2023

Published: 15-07-2023

Corresponding Author

Rodrigo Dávid Colichón Carranza 

ABSTRACT

The particles (PM 2.5) contain a series of contaminants present on their surface, including minerals released into the environment and microplastics, among others, which affect air quality and people's health. The objective of the study was to evaluate the impact of particulate matter (PM2.5) on atmospheric quality in the Morales district of the city of Tarapoto. The design was non-experimental, applied and cross-sectional. For this purpose, 10 sampling stations were considered where air samples were collected for the measurement of PM2.5 by gravimetry and the characterization of PM2.5 by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared spectroscopy analysis. (FTIR); Climatological measurements were also made, such as temperature, relative humidity, wind direction and speed, during a period of 10 days in the month of March 2022. The results indicated a range of PM2.5 between 71 µg/m3 (point: CA- 07) and 123 µg/m3 (point CA-10) and perfluorododecyl iodide type microplastic was identified, which suggests continuing with a monitoring program as an instrument to help control sources of pollution in the city.

Keywords: Microplastic; PM2.5; Meteorological Variables.

RESUMEN

Las partículas (PM 2.5) contienen una serie de contaminantes presentes en su superficie entre ellos los minerales desprendidos en el ambiente y microplásticos entre otros, estos afectan la condición del aire y la salud poblacional. El objetivo del estudio fue evaluar el impacto del material particulado (PM2.5) en la calidad atmosférica en el distrito Morales de la ciudad de Tarapoto. El diseño fue no experimental, de tipo aplicada y de nivel transversal. Se consideraron 10 estaciones de muestreo donde se colectaron muestras de aire para la medición de PM2.5 por gravimetría y la caracterización del PM2.5 mediante microscopía electrónica por barrido (SEM) y el análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR); también se hicieron mediciones climatológicas como dirección del viento, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento, durante un periodo de 10 días en el mes de marzo del 2022. Los resultados indicaron un rango de PM2.5 entre 71 µg/m3 (punto: CA-07) y 123 µg/m3 (punto CA-10) y se identificaron micro plásticos de tipo yoduro de perfluorododecilo, lo cual sugiere continuar con un programa de monitoreo como un instrumento que ayude a controlar a las fuentes de contaminación de la ciudad.

Palabras clave: Microplástico; PM2.5; Variables Meteorológicas.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica constituye uno de los problemas ambientales más críticos a nivel mundial, debido a sus efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente.^(1,2) Entre los contaminantes más peligrosos se encuentra el material particulado fino (PM_{2.5}), cuyas partículas, con un diámetro aerodinámico igual o inferior a 2,5 micrómetros, pueden penetrar profundamente en el sistema respiratorio y generar enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como incrementar el riesgo de mortalidad prematura.⁽³⁾ La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido valores de referencia estrictos para este contaminante, recomendando una media diaria no superior a 15 µg/m³, con el fin de proteger la salud de la población. Sin embargo, en diversas zonas urbanas y periurbanas, las concentraciones reales suelen exceder ampliamente dichos valores, lo que evidencia la urgencia de su monitoreo y control.^(4,5)

En el contexto nacional, el distrito de Morales, ubicado en la provincia de San Martín, presenta características socioeconómicas y geográficas que favorecen la generación y acumulación de material particulado. Entre las actividades más relevantes que contribuyen a la emisión de PM_{2.5} se encuentran el transporte vehicular, la actividad comercial, las ladrilleras, las pildoras de arroz y otras prácticas de origen antropogénico. A ello se suman factores meteorológicos, como la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, que influyen significativamente en la dispersión o acumulación de partículas en el aire.^(6,7,8)

A pesar de la importancia de este contaminante, en el distrito de Morales existen escasos estudios que analicen de manera sistemática sus niveles, comparándolos con las normativas nacionales e internacionales. Este vacío de información limita la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas efectivas para mejorar la calidad del aire. Asimismo, en los últimos años se ha identificado un nuevo componente de preocupación dentro del material particulado: los microplásticos. Estas partículas, de tamaño inferior a 5 mm, pueden encontrarse suspendidas en la atmósfera y actuar como vectores de otros contaminantes químicos, amplificando los riesgos para la salud y el ambiente.^(9,10,11,12,13)

En este contexto, la presente investigación se orienta a evaluar las concentraciones de PM_{2.5} en el distrito de Morales durante el año 2022, determinando su relación con los parámetros meteorológicos y comparando los resultados con los estándares establecidos por la OMS, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) y el Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA).^(14,15) Adicionalmente, se busca identificar la presencia de microplásticos en el material particulado, analizando sus características y posibles fuentes de emisión. Con ello, se pretende aportar evidencia científica que sirva de base para futuras estrategias de control, mitigación y sensibilización de la población respecto a la calidad del aire que respira.⁽¹⁶⁾

MÉTODO

Tipo de investigación

Dado que ya se ha llevado el muestreo, registro y análisis de datos digitales, la investigación presenta enfoque cuantitativo. Esto se incluye en la categoría de aplicación ya que es necesario recopilar nuevos conocimientos. Proponer una alternativa de solución. El tipo de muestreo para este estudio es el muestreo no probabilístico por conveniencia. Se basa en observaciones porque tiene un diseño *ab initio* debido a la falta de manipulación de variables y ocurre naturalmente para su posterior análisis.

Transversal descriptivo fue el nivel de investigación porque nos basamos en el centro de estudiar una realidad problemática poco inquirida, en el diseño no se realizó intervención alguna y el nivel es de enfoque descriptivo porque se recogió información, indagar acerca de las características y propiedades de manera detallada.

Esta investigación es aplicada debido a que se han usado los enfoques teóricos sobre el transporte de MP, y su presencia en el ambiente que se generó por las distintas actividades antropogénicas que existen en el distrito de Morales (PM_{2.5}), estos han sido aplicados en el muestreo de material particulado en la cual se determinó la existencia de microplásticos que se genera en el ambiente del distrito mencionado.

Variables y operacionalización

Para el presente trabajo de investigación se usó las variables:

Variable Independiente: material particulado (PM_{2.5})

Variable Interviniente: condiciones meteorológicas.

Variable Dependiente: calidad del aire.

Población, muestra y muestreo

Población

Se define conjunto de casos, asequibles, limitados y definidos que sirven para representar la muestra y que cumplen varios criterios específicos. Está conformada por las columnas atmosféricas que están presentes en el distrito de Morales, las columnas atmosféricas, están situadas a dos metros de la superficie del suelo.

Muestra

Para Toledo, la muestra representa la porción de la población investigada, las que reflejan las condiciones similares a la población. Las muestras fueron tomadas en 10 días durante el mes de marzo de año 2022. Las muestras obtenidas van a depender por la humedad relativa, dirección del viento, temperatura y velocidad del flujo, en las diez estaciones a estudiar.

Tabla 1. Impacto del Material Particulado (PM2.5) en la calidad atmosférica del Distrito de Morales – Provincia de San Martín – 2022

Problemas	Hipótesis	Objetivo	Variable	Tipos de Variables	Definición	Operatividad	Dimensiones	Indicadores	Escala
¿Son comparables las concentraciones de material particulado 2,5 con los valores de referencia internacional?	Las concentraciones de material particulado 2,5, no son comparables con los valores de referencia internacional	Analizar las concentraciones de material particulado 2,5, frente a los valores de referencia internacional	material particulado 2,5,	Independiente	PM 2.5. Son partículas muy diminutas suspendidas en el aire, con un volumen de 2,5 micrómetros. Microplásticos: Los microplásticos definen las partículas (Thompson 2019) plásticas de tamaño ≤ 5 mm	Ambos parámetros serán medidos con equipos de Monitoreo de la Calidad del Aire con una duración de 24 horas por Punto, para poder determinar la concentración y la presencia de los parámetros.	Nivel de concentración de PM2.5	Concentración de PM 2.5	Nominal
			condiciones meteorológicas	Interviniente			variables meteorológicas	Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento	
¿Son comparables las concentraciones de material particulado 2,5, con la normativa nacional?	Las concentraciones de material particulado 2,5, no son comparables con la normativa nacional	Analizar la influencia de las concentraciones de material particulado 2,5, frente a la normativa nacional	calidad del aire	Dependiente	Es un reflejo de cuando el aire está libre de contaminantes atmosféricos y por lo tanto idóneo para ser respirado (INEI)	Obtenido los resultados, en el caso de Material Particulado lo comparamos con la normativa nacional, en el caso de Microplásticos veremos la presencia y características que presenta.	Valores de referencias internacional	OMS	Nominal
							Normativa Nacional	ECAs, INCA	
¿Son comparables las concentraciones de material particulado 2,5, con los valores de referencia internacional?	Las concentraciones de material particulado 2,5, no son comparables con los valores de referencia internacional	Analizar las concentraciones de material particulado 2,5, frente a los valores de referencia internacional	material particulado 2,5,	Independiente	PM 2.5. Son partículas muy diminutas suspendidas en el aire, con un volumen de 2,5 micrómetros. Microplásticos: Los microplásticos definen las partículas (Thompson 2019) plásticas de tamaño ≤ 5 mm	Ambos parámetros serán medidos con equipos de Monitoreo de la Calidad del Aire con una duración de 24 horas por Punto, para poder determinar la concentración y la presencia de los parámetros.	Nivel de concentración de PM2.5	Concentración de PM 2.5	Nominal
			condiciones meteorológicas	Interviniente			variables meteorológicas	Temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento	
¿Son comparables las concentraciones de material particulado 2,5, con la normativa nacional?	Las concentraciones de material particulado 2,5, no son comparables con la normativa nacional	Analizar la influencia de las concentraciones de material particulado 2,5, frente a la normativa nacional	calidad del aire	Dependiente	Es un reflejo de cuando el aire está libre de contaminantes atmosféricos y por lo tanto idóneo para ser respirado (INEI)	Obtenido los resultados, en el caso de Material Particulado lo comparamos con la normativa nacional, en el caso de Microplásticos veremos la presencia y características que presenta.	Valores de referencias internacional	OMS	Nominal
							Normativa Nacional	ECAs, INCA	

Formula de concentración de aire

Calculo para la obtención del volumen de aire absorbido por el PQ200, en el periodo de 24 horas de muestreo:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de aire} &= \text{FLUJO} \times \text{TIEMPO} \\ \text{Volumen de aire} &= 10.44 \text{ L/min} \times 1440 \text{ min (24 horas en minutos)} \\ \text{Volumen de aire} &= 15.03 \text{ L (transformarlo a m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Figura 1. Fórmula

Muestreo

Es el grupo de elementos o unidades de la población estudiada, que muestran probabilidades distintas de cero. Estará conformado por 10 puntos designados acorde al Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad Ambiental del aire.

Método de Muestreo

Para el muestreo de material particulado PM2.5 se utilizó el método descrito en la Norma Técnica Peruana (NTP 900.069-2017), donde describe la forma correcta de obtener los resultados. Se utilizó una balanza analítica electrónica del modelo (RADWAG), equipo adquirido en la Florida-Estados Unidos y calibrado anualmente en Perú, con una capacidad máxima de pesaje de 5100 mg. Se proporcionan filtros de Politetrafluoroetileno (PTFE Teflon), con anillo de soporte integral, de diámetro circular de $(46,2 \pm 0,25)$ mm y Espesor de $(30 \mu\text{m a } 50 \mu\text{m})$. Para el pesaje de los filtros antes y después del monitoreo el laboratorio utiliza el mismo equipo en este caso la balanza analítica para obtener datos correctos sin ninguna variación, todos los filtros son colocados en un ambiente acondicionado con una temperatura de $20^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}$, la balanza utilizada cuenta con una resolución de $\pm 1 \mu\text{g}$ y calibración anual y la recalibran antes de cada pesaje. La balanza analítica se encuentra en el mismo ambiente controlado donde se acondicionan los filtros ya que los filtros deben ser pesados inmediatamente después del periodo de acondicionamiento (No menos de 24 horas), sin explosión intermedia u otras condiciones o entornos. Con los resultados obtenidos de Material Particulado (PM2.5) en g/filtro. Se procedió a convertir los resultados de Material Particulado (PM2.5) en $\mu\text{g/m}^3$ multiplicados los resultados del primer cuadro por el valor de $(1\ 000\ 000)$.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según un estudio este paso consiste en recopilar datos relevantes sobre los caracteres, percepciones, formas y variables de los participantes o sujetos relacionados con la investigación.

Técnicas de recolección de datos

- Observación directa en campo.
- Georreferenciación (UTM).
- Muestreo del material particulado.
- Validación y confiabilidad de instrumentos.

Estas técnicas demandan principalmente cambios manuales de filtros de 24 horas según EPA 40 CFR Appendix L. to Part 50, Item 6 y 8.

Instrumentos de recolección de datos

- Fichas de campo.
- Filtro para recolección de Material Particulado.
- Cadena de Custodia.

Procedimiento

Se muestra el diagrama de flujo proporcionado al proceso del Impacto de Material Particulado (PM2.5) en la calidad atmosférica del distrito de Morales

Posteriormente se expone el período en los métodos manipulados para el muestreo de Material Particulado (PM2.5) en la calidad atmosférica del Distrito de Morales.

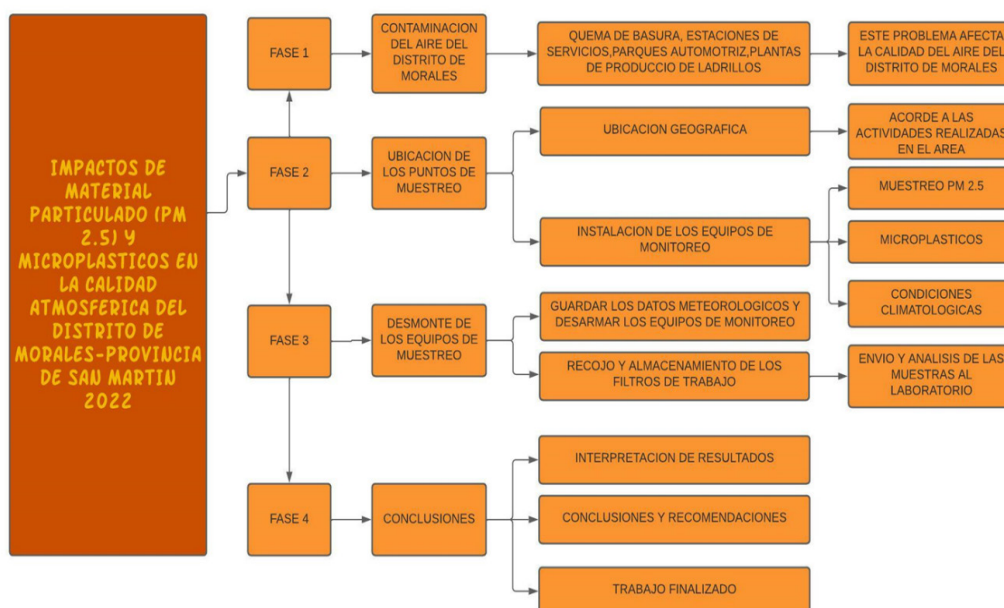


Figura 2. Diagrama de flujo: proceso del muestreo

Fases de la Investigación

Fase 1: identificación de puntos para la toma de muestra. Se realizó la caracterización de las zonas más críticas del área de estudio realizando el método de observación directa, en el que se determinó 10 puntos de muestreo en las zonas con más influencia tanto de comercios, estaciones de servicio, centros comerciales, ladrilleras, pilladoras de arroz y el parque automotor. Estos influenciando de manera significativa al distrito de Morales por estar caracterizadas económicamente y productivamente.

Fase 2: recolección y proceso de toma de muestras. Una vez identificados los puntos críticos se ubicó geográficamente con coordenadas UTM con la ayuda de un GPS.

1. Se instalaron los equipos para la medición de la calidad del aire (LOW VOL), de marca ECOTECH y (PQ200) de Marca Mesa Labs, ambos equipos ensamblados y calibrados en Perú, con los filtros correspondientes para la captación de (PM_{2.5}) y con un flujo constante de acuerdo a normativa nacional que corresponde a un valor de 10,44 L/min y la estación meteorológica para los datos de fuerza y dirección del viento.

2. La Estación Meteorológica que se utilizó es del modelo FWS 20N, contiene sensores para la medición de dirección del viento, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa, datos que fueron muy útiles ya que con eso se determinó si los parámetros ya mencionados influyeron en la medición de Microplásticos y Material Particulado.

Los Equipos trabajaron 24 horas por punto de acuerdo al DS. N° 003-2017 MINAM con un flujo constante de 10,44 L/m.

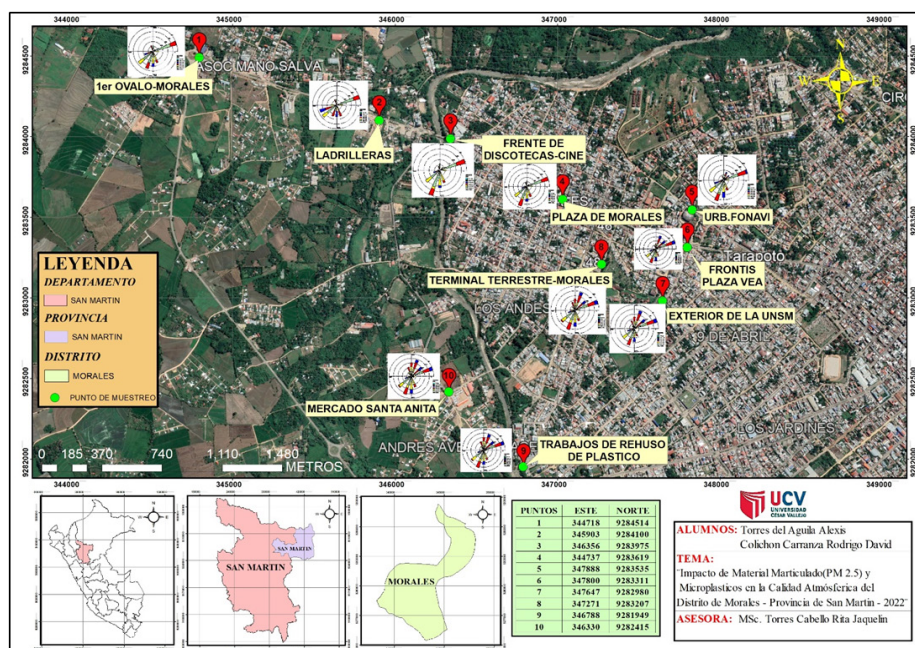


Figura 3. Mapa del lugar de la zona de estudio

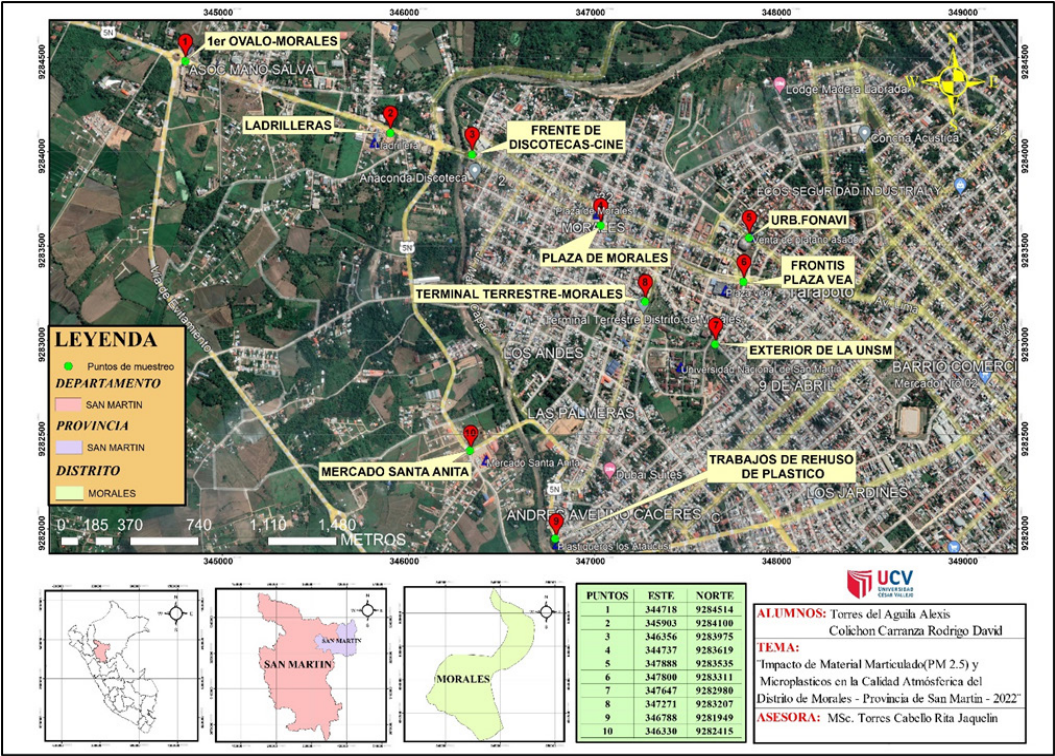


Figura 4. Caracterización de las actividades económicas en los sitios de muestreo

Parámetros	Periodo	Valor [ug/m³]	Criterios de evaluación	Método de Análisis
Material Particulado con Diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)

Figura 5. Estándar de Calidad Ambiental del Aire (ECA)



Figura 6. Recolección de muestras

EPA 40 CFR Appendix L. to Part 50 , el método proporciona es el (Método de Referencia que sirvió para determinar el PM_{2.5}), este método indica la forma de las mediciones de concentraciones de masa de partículas finas que tienen un radio inferior o igual a 2,5 micrómetros en el aire durante un proceso de 24 horas con el fin de conocer si la concentración cumple con los estándar nacional de calidad de aire y partículas finas especificados (National Institute for Occupational Safety & Health)

Tabla 2. Medidas de Muestreo	
Agente Químico	Polvo respirable/Microplásticos
Metodología	EPA 40 CFR Appendix L. top art 50
Equipo	BGI (PQ200)
Flujo	10,44 L/m
Periodo de Muestreo	24 hrs

Se ha utilizado un muestreador activo, y como elemento para la ejecución en exactitud y seguridad se manipuló metodologías manuales para partícula.

Tabla 3. Materiales y equipos utilizados para la medición en polvo en Material Particulado (PM_{2.5})						
Unidad	Equipo	Marca	Modelo	Nº de Serie	Función	Imagen
1	Muestreador de Partículas	MESA LABS	BGI (PQ 200)	2851	Muestreador para Material Particulado (PM ₁₀ , PM _{2.5}) con aprobación de US EPA.	
10	Filtros de Teflón de 37mm y 5 Um	-	-	-	La captación del Material Particulado para su posterior análisis	
10	Porta Filtros de Celulosa	-	-	-	Estuches para mantener el filtro en óptimas condiciones	
1	GPS	GARMIN	GPSMAP 64 S		Proporcionar información sobre la ubicación geográfica del lugar.	
1	Estación Meteorológica	PCE INSTRUMENT	FWS 20N	-	Es medir y registrar datos meteorológicos, para realizar acciones preventivas en cuanto a las variaciones de los factores.	

Fase 3: se guardó la información obtenida por el equipo meteorológico y los filtros serán retirados cuidadosamente de los equipos y almacenados en porta filtros de celulosa para su correspondiente envío y análisis al laboratorio. El mismo procedimiento se empleó en los 10 puntos de monitoreo una vez culminada su tiempo de monitoreo.

Se analizará la concentración de material particulado por el método de gravimetría, que consta en el pesaje del filtro.

Para el análisis de Microplásticos se utilizó el método de FTIR, consta en la utilización de luz infrarroja.

Fase 4: interpretamos los datos analizados, en el caso de Material particulado vemos la concentración de cada punto de monitoreo y los comparamos con los ECAs, LMP y OMS.

En el caso de Microplásticos después de los análisis correspondientes identificamos si es que existe la presencia de partículas de plástico, el tamaño de las partículas y el tipo de plástico presente y así podremos saber cuál es su fuente de procedencia.

Método de Análisis de datos

En el proceso de análisis de datos obtenidos en el presente trabajo de investigación se opera la estadística descriptiva en la presentación Excel para la conducción de datos de las condiciones meteorológicas (parámetros).

Aspectos técnicos

Esta investigación se basa en la integridad, responsabilidad y respeto por quienes siguen los principios establecidos en el Código de Ética establecidos en la Resolución Sectorial N° 0089-2019-UCV de la Universidad Cesar Vallejo. De manera similar, el uso del software de Turnitin para verificar la propiedad y la propiedad intelectual mantiene el principio de integridad.

RESULTADOS

La obtención de los resultados durante la evaluación de material particulado (PM2.5) en el distrito de Morales se muestran en las siguientes figuras y tablas concerniente a los objetivos planteados.

Resultados del Cálculo de Material Particulado (PM2.5) obtenidos en los sitios de muestreo.

Fórmula para determinar la concentración de Material Particulado PM2.5, absorbido por el equipo PQ 200, a través del volumen del aire durante el tiempo de muestreo de 24 hrs.

$$\begin{aligned}\text{Volumen de aire} &= \text{Flujo del Equipo} * \text{Tiempo de Monitoreo} \\ \text{Volumen de aire} &= 10.44 \text{ L/M} * 1440 \text{ min (24 horas en minutos)} \\ \text{Volumen de aire} &= 15030 \text{ L (Transformarlo a m}^3 \text{ dividiéndolo por 1000)} \\ \text{Volumen de aire} &= 15.03 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Figura 7. Fórmula

Tabla 4. Resultados de Material Particulado en g/filtro	
Resultados de Material Particulado en g/filtro	
CA-01 (1° Ovalo de morales)	0,001300 g/filtro
CA-02 (Ladrilleras)	0,001791 g/filtro
CA-03 (Frente de Discotecas-cines)	0,001132 g/filtro
CA-04 (Plaza de Morales)	0,001077 g/filtro
CA-05 (Urb. Fonavi)	0,001165 g/filtro
CA-06 (Frontis Plaza Veja)	0,001542 g/filtro
CA-07 (Exterior de UNSM)	0,001063 g/filtro
CA-08 (Terminal Terrestre de Morales)	0,001586 g/filtro
CA-09 (Trabajos de Reusó de Plásticos)	0,001484 g/filtro
CA-10 (Mercado Santa Anita)	0,001855 g/filtro

Cálculo de la concentración de PM2.5 en µg/m3 en el sitio CA-01

Concentración = peso (µg) – (multiplicarlo por 1000000) / volumen de aire (m3)

Concentración = 1300 µg / 15,03 m3

Concentración = 86,4 µg/m3

Cálculo de la concentración de PM2.5 en µg/m3 en el sitio CA-02

Concentración = 1791 µg / 15,03 m3

Concentración = 119,1mn µg/m3

Cálculo de concentración de PM2.5 en µg/m3 en el sitio CA-03

Concentración = 1132 µg / 15,03 m3

Concentración = 75,3 µg/m3

Cálculo de concentración de PM2.5 en µg/m3 en el sitio CA-04

Concentración = 1077 µg / 15,03 m3

Concentración = 72 µg/m3

Cálculo de concentración de PM2.5 en µg/m3 en el sitio CA-05

Concentración = 1165 µg / 15,03 m3

Concentración = 78 µg/m3

*Cálculo de concentración de PM_{2.5} en µg/m³ en el sitio CA-06*Concentración = 1542 µg / 15,03 m³Concentración = 103 µg/m³*Cálculo de concentración de PM_{2.5} en µg/m³ en el sitio CA-07*Concentración = 1063 µg / 15,03 m³Concentración = 71 µg/m³*Cálculo de concentración de PM_{2.5} en µg/m³ en el sitio CA-08*Concentración = 1586 µg / 15,03 m³Concentración = 106 µg/m³*Cálculo de concentración de PM_{2.5} en µg/m³ en el sitio CA-09*Concentración = 1484 µg / 15,03 m³Concentración = 99 µg/m³*Cálculo de concentración de PM_{2.5} en µg/m³ en el sitio CA-10*Concentración = 1855 µg / 15,03 m³Concentración = 123,4 µg/m³.

Analizar las concentraciones de material particulado 2,5, frente a los valores de referencia internacional.

Tabla 5. Comparación de resultados de Material Particulado PM _{2.5} , según la OMS		
Puntos de Monitoreo	Valores Finales	Valores de la OMS
CA-01	86,4 µg/m ³	15 µg/m ³ de media diaria
CA-02	119,1 µg/m ³	
CA-03	75,3 µg/m ³	
CA-04	72 µg/m ³	
CA-05	78 µg/m ³	
CA-06	103 µg/m ³	
CA-07	71 µg/m ³	
CA-08	106 µg/m ³	
CA-09	99 µg/m ³	
CA-10	123,4 µg/m ³	



Figura 8. Valores finales en los puntos de monitoreo en comparación a los valores de la OMS

Se muestran la obtención de resultados durante el proceso del monitoreo ambiental de la calidad del aire del distrito de Morales, referido al Material Particulado (PM_{2.5}), donde los resultados de los sitios de muestreo superan lo establecido según la OMS donde su valor es 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Analizar la influencia de las concentraciones de material particulado 2,5, frente a la normativa nacional

Se muestran la obtención de datos durante el monitoreo ambiental de la calidad del aire del distrito de Morales, referente al Material Particulado (PM_{2.5}), donde los resultados de los sitios de monitoreo SUPERAN lo establecido según los Estándares de calidad de aire (ECAS) DS N° 003-2017-MINAM lo que establece valor de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla 6. Comparación de resultados de Material Particulado según ECA

Puntos de Monitoreo	Valores Finales	ECA DS N° 003-2017-MINAM
CA-01	86,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en un periodo de 24 horas
CA-02	119,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-03	75,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-04	72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-05	78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-06	103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-07	71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-08	106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-09	99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-10	123,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

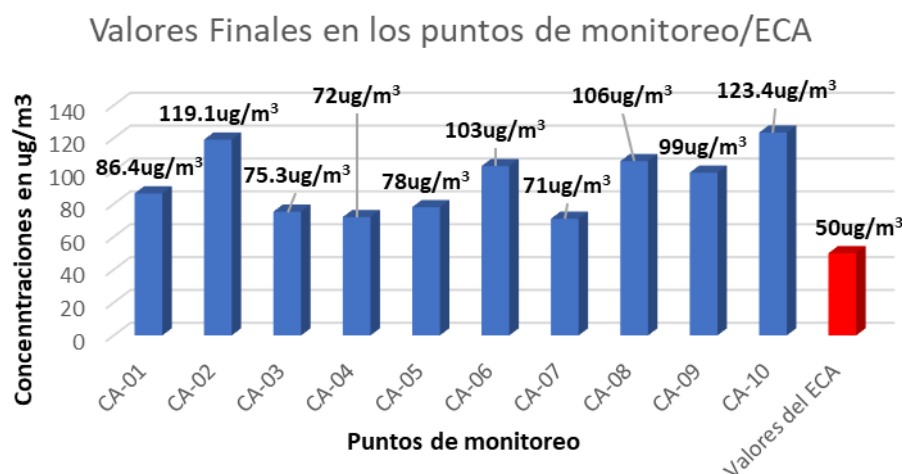


Figura 9. Valores finales en los puntos de monitoreo en comparación con el ECA

Tabla 7. Comparación de Resultados de Material Particulado según Índice de calidad de aire (INCA)

Puntos de Monitoreo	Valores Finales	INCA-RM-N° 181-2016-MINAM
CA-01	345,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0 – 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-02	476,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(BUENA)
CA-03	301,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	51-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-04	288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(MODERADA)
CA-05	312 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	101-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CA-06	412 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	(MALA)
CA-07	284 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	>500 (UMBRAL DE CUIDADO)
CA-08	424 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-09	396 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CA-10	493,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Se muestran los resultados obtenidos durante el monitoreo ambiental de la calidad del aire del distrito de Morales, referente al Material Particulado (PM_{2.5}), donde los resultados de los puntos de monitoreo SUPERAN lo establecido según el INCA RM-

N°181-2016-MINAM lo que establece valores permitidos de 0 – 50 ug/m³

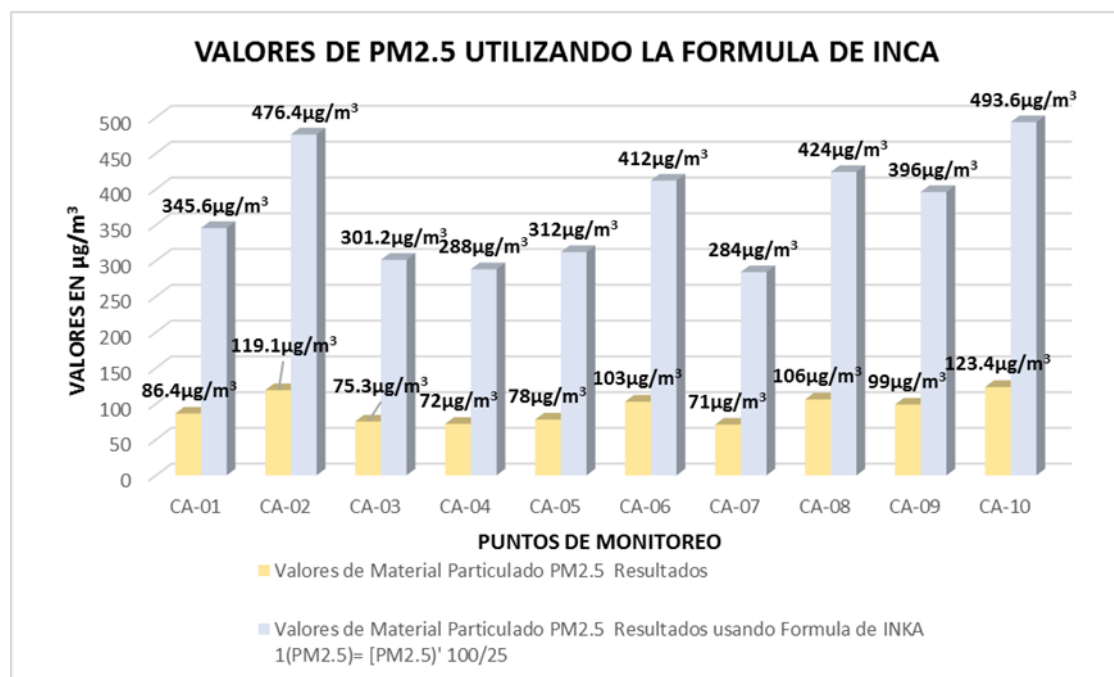


Figura 10. Valores de Material Particulado PM2.5 utilizando la fórmula de los Índices de calidad del Aire (INCA)

Tabla 8. Cálculo del Índice de calidad del Aire (INCA)		
Material Particulado (PM _{2.5}) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (ug/m ³)	Ecuación
0 – 50	0 – 12,5	$1(PM2.5) = [PM2.5] \cdot 100/25$
51 – 100	12,6 – 25	
101 – 500	25,1 – 125	
>500	>125	

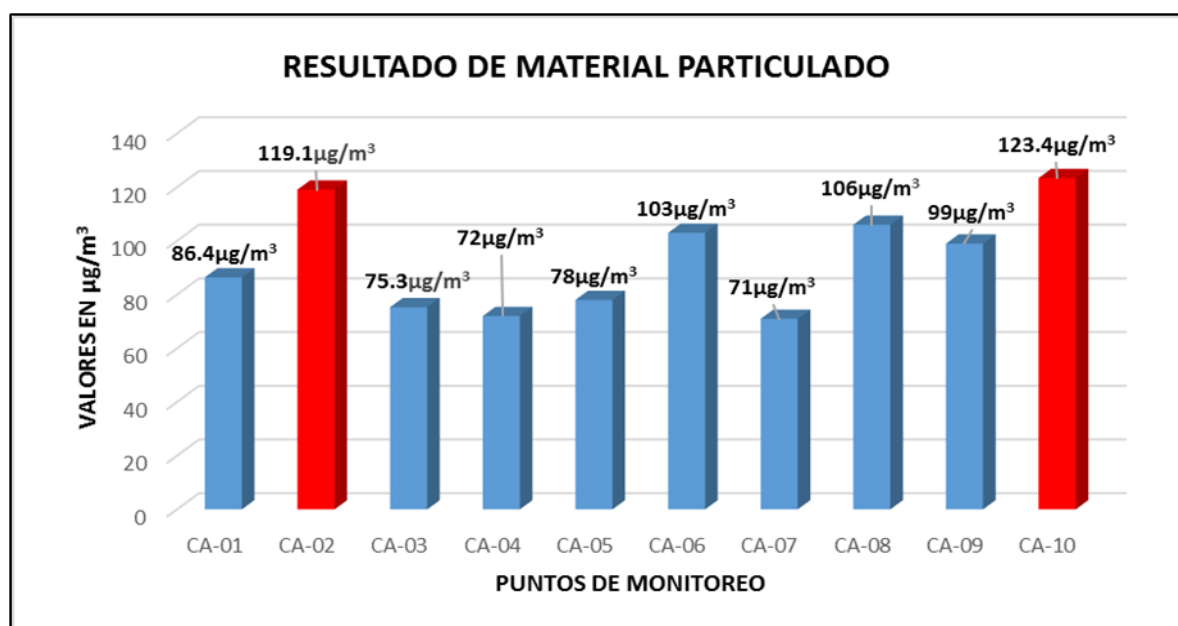


Figura 11. Resultado de Material Particulado en los puntos de monitoreo

De acuerdo a los valores encontrados en el monitoreo de aire según el INCA se manifiesta que las concentraciones superan lo establecido, manifestando que la calidad del aire no presenta óptimas condiciones ya que se encuentra en un rango de >125 ug/m³ lo que representa el color marrón (Umbral de cuidado) indicando que las concentraciones del contaminante afectan la salud de la

población vulnerable.

Analizar el Impacto del Material Particulado 2.5 en la calidad atmosférica del Distrito de Morales-Provincia de San Martín-2022.

Determinan en nivel de concentración del material particulado PM2.5 de las muestras. Consiguiendo un valor de 123,4 µg/m³ en el décimo sitio de muestreo (P10-M10), siendo esto el de mayor volumen de concentración.

Tabla 10. Promedio final de las Variables Meteorológicas

Promedio Final de las Variables Meteorológicas					
Nº de Estación	Temperatura	Humedad Relativa	Velocidad del Viento (m/s)	Dirección del Viento	Fechas de muestreo
CA-01	26,3 °C	70,5 %	1,6	NNE	14-03-2022
CA-02	26,5°C	65,5 %	2,4	SWW	15-03-2022
CA-03	27,7°C	70,5 %	1,6	NNE	16-03-2022
CA-04	27,1°C	65,5 %	2,4	SWW	17-03-2022
CA-05	27,2°C	58,3 %	3,5	SSW	18-03-2022
CA-06	27,5°C	59,9 %	4,5	SW	19-03-2022
CA-07	26,8°C	68,3 %	1,9	SSE	20-03-2022
CA-08	26,5°C	71,2 %	1,3	SE	21-03-2022
CA-09	27,1°C	69,1 %	0,5	SWW	22-03-2022
CA-10	27,7°C	62,5 %	0,5	SWW	23-03-2022

Tabla 11. Data promedio Dirección del Viento

Promedio de Dirección del Viento		
CA-01	NNE	22,5 grados
CA-02	SWW	247,5 grados
CA-03	NNE	22,5 grados
CA-04	SWW	247,5 grados
CA-05	SSW	202,5 grados
CA-06	SW	225 grados
CA-07	SSE	157,5 grados
CA-08	SE	135 grados
CA-09	SWW	247,5 grados
CA-10	SWW	247,5 grados

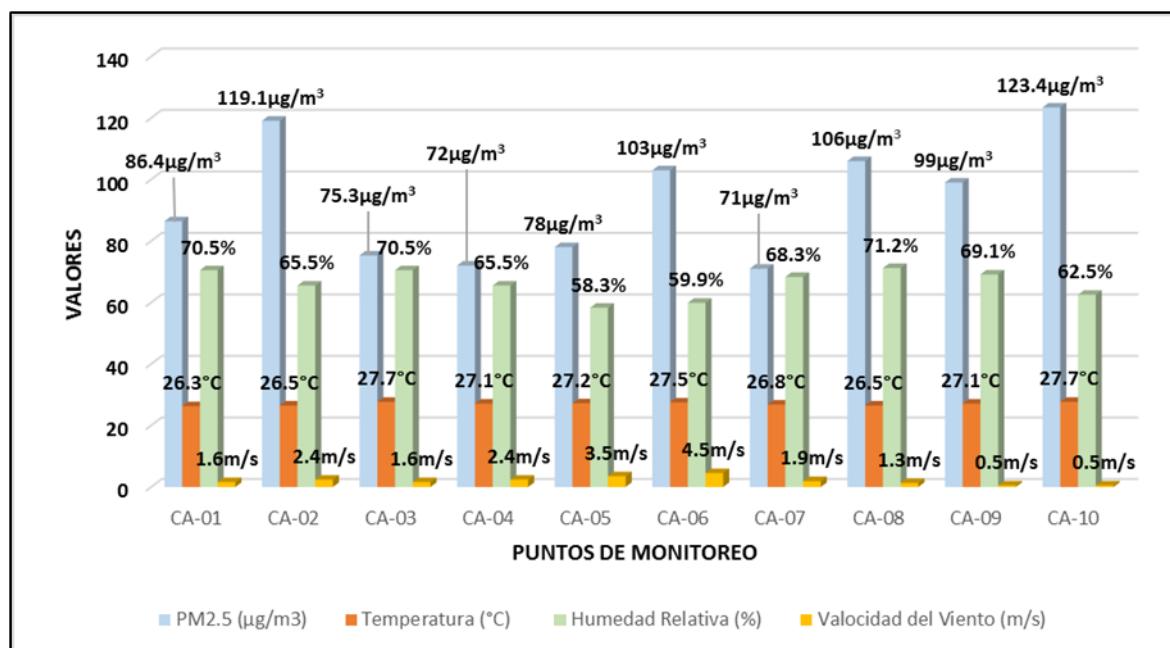


Figura 12. Concentración de Material Particulado (PM 2.5) en relación con las condiciones meteorológicas en las muestras obtenidas durante el monitoreo

Para comprobar la presencia de Material particulado (PM2.5) y se analizaron los valores de los parámetros meteorológicos los días 14,15 16,17,18,19,20,21,22 y 23 de marzo de 2022.

De acuerdo a estos estudios se obtuvo que la condición climática mínima exhibió un promedio de 26,3 °C en el punto de monitoreo CA-01. La temperatura máxima fue en los sitios de monitoreo CA-03 y CA-10 donde se obtuvo un promedio de 27,7

°C. La humedad relativa media fue 87,9 %. La humedad relativa mínima fue 78,4 %; en tanto la humedad relativa máxima fue 97,1 % y los promedios meteorológicos de la dirección del viento, descritos. Las trayectorias preponderantes durante el progreso del monitoreo fueron SSW con 247,5 % en los sitios CA-02, CA-04, CA-09 y CA-10 este proceso se hizo con la rosa de viento que es un esquema hipérboreo que simboliza el porcentaje de viento con la dirección oportuna, con una observación simple a un tipo gráfico donde estudiaremos la frecuencia y valores de la dirección y velocidad del viento.

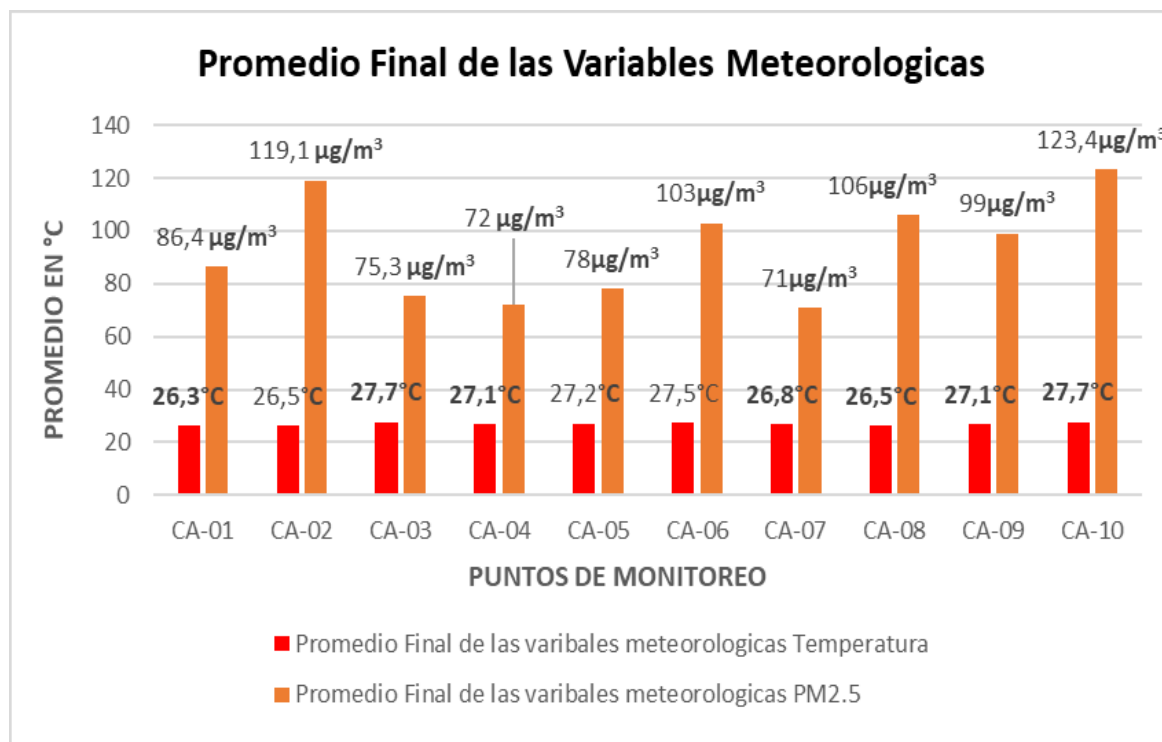


Figura 13. Promedio final de las variables meteorológicas en relación a la temperatura

En la figura 13 se indica el promedio final de las variables meteorológicas que se realizó en los sitios de muestreo, en donde se determinó el promedio final de la temperatura.

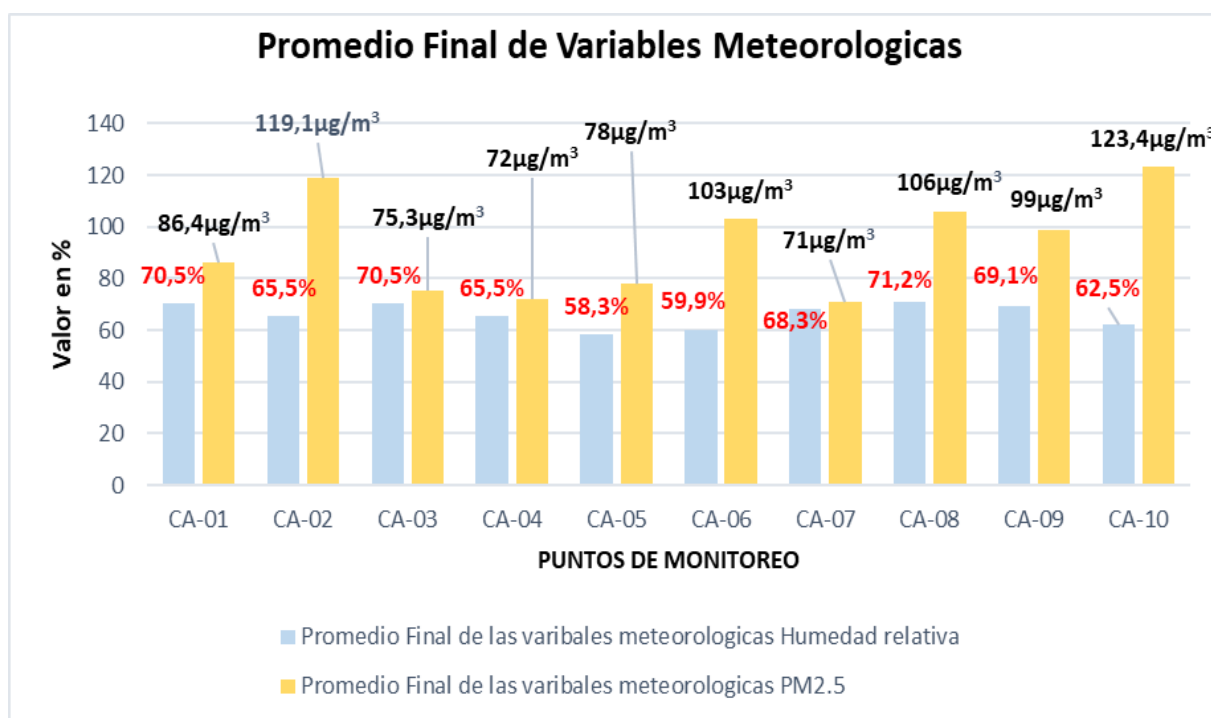


Figura 14. Promedio final de las variables meteorológicas en relación a la Humedad relativa

En la figura 14 se indica el promedio final de las variables meteorológicas en relación con la Humedad Relativa.

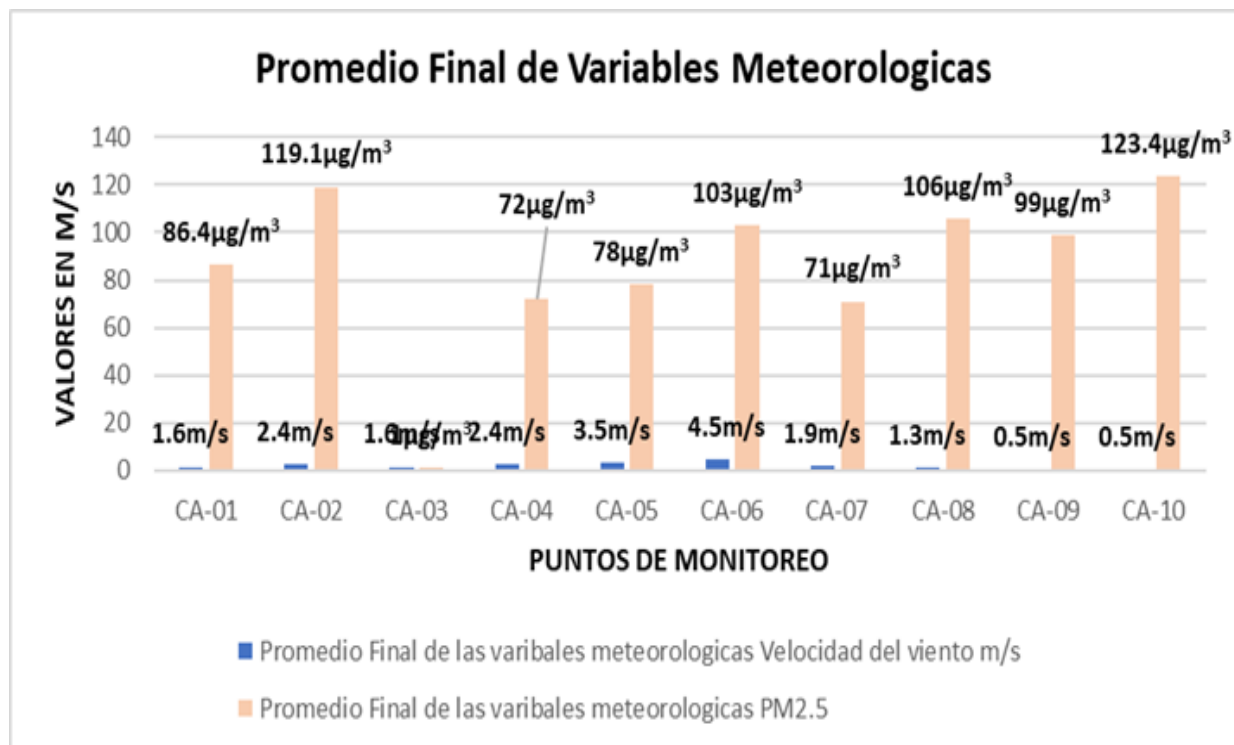
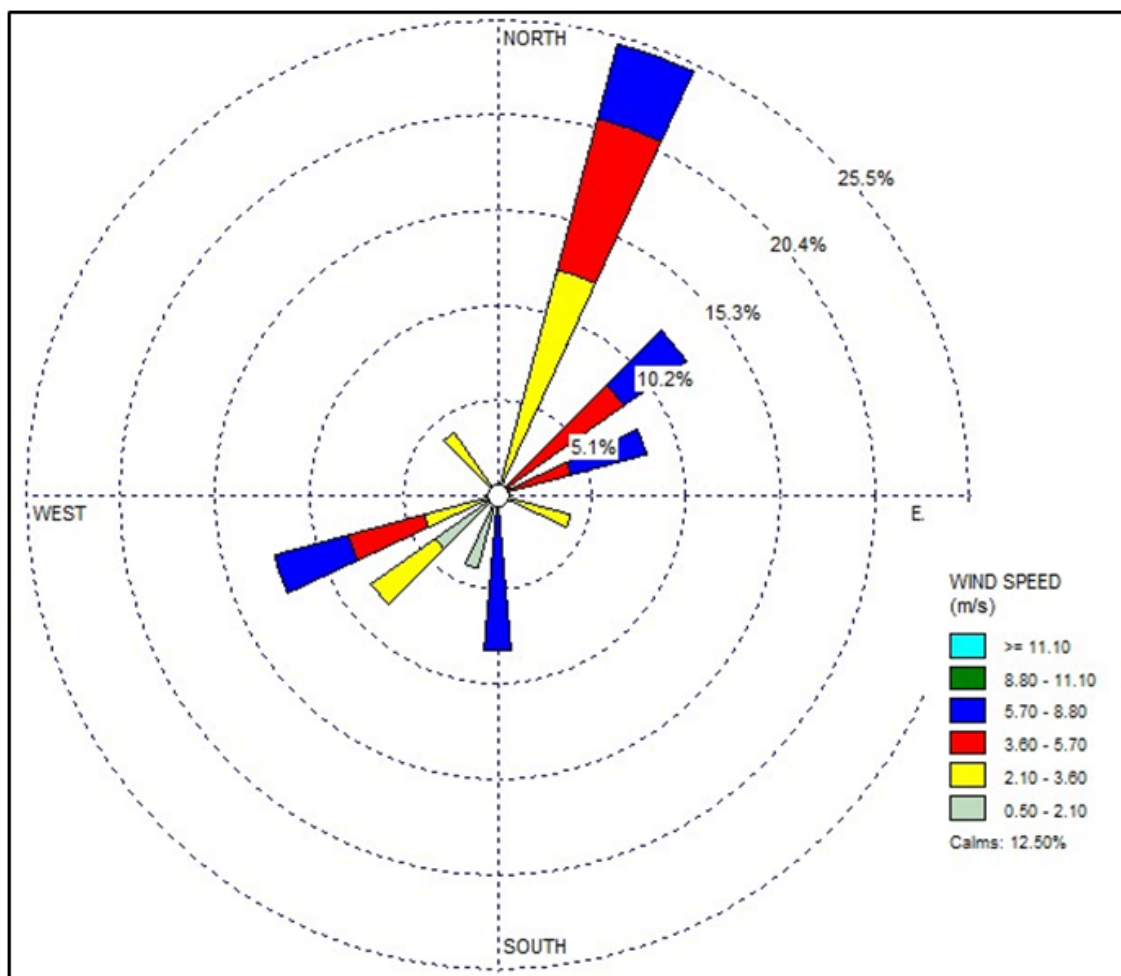


Figura 15. Promedio Final de las variables meteorológicas en relación con la velocidad del viento (m/s)

También se realizó el promedio final de la velocidad del viento (m/s) en cada sitio de muestreo (figura 15).



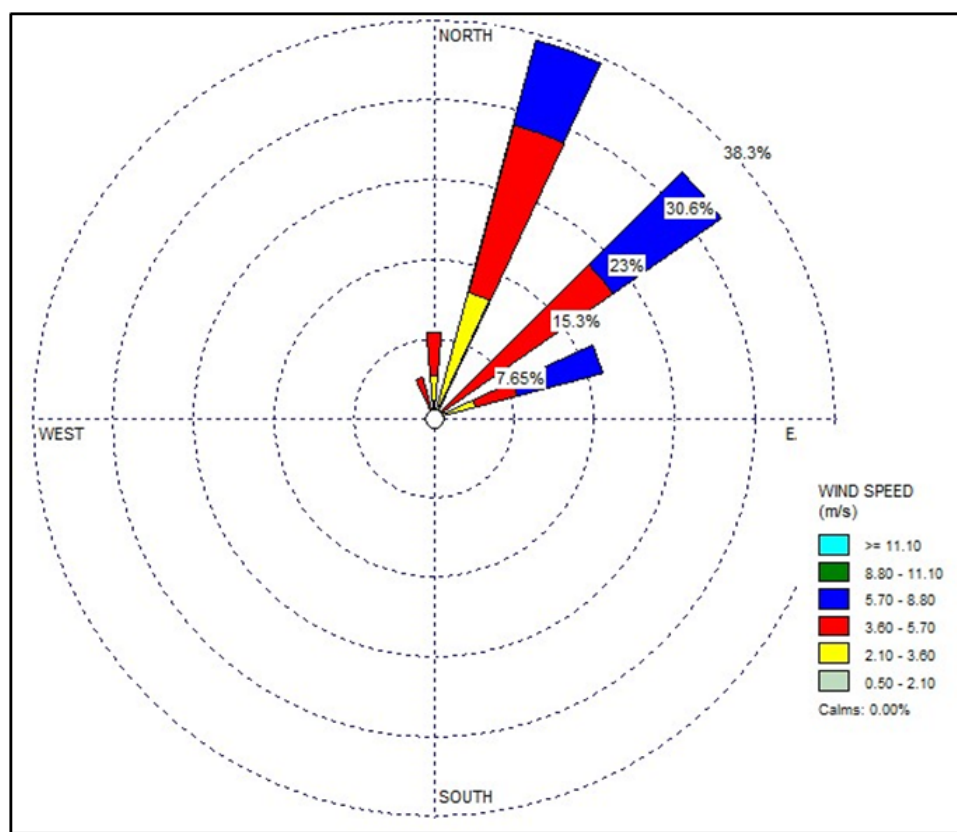


Figura 16. Rosa de Viento

Durante el monitoreo de aire se realizó conjuntamente el monitoreo meteorológico, que tienen predominancia las rosas del viento hacia el noroeste en los puntos de muestreo.

Características del PM_{2.5}

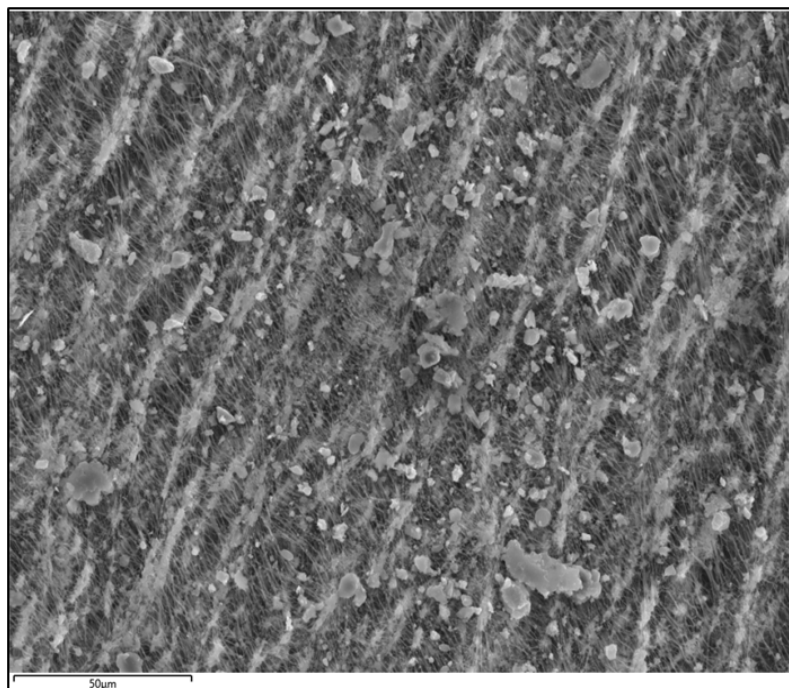


Figura 17. Imagen de la muestra CA-01 en el microscopio (500x)

De esta manera, se logró identificar las particularidades del material particulado (PM 2.5) que se encuentra presente en la calidad del aire del distrito de Morales, a través de la microscopía electrónica de barrido (SEM).

En la figura 17 se ha observado el material particulado en la muestra de análisis con un nivel microscópico de 500 x donde se

puede distinguir las partículas y de color transparente originario del material particulado PM 2.5

En la figura 18 se aumentó el levantamiento del microscópico a 1500 x en la cual se ha podido apreciar partículas de material particulado de color claro y de forma proporcionada.

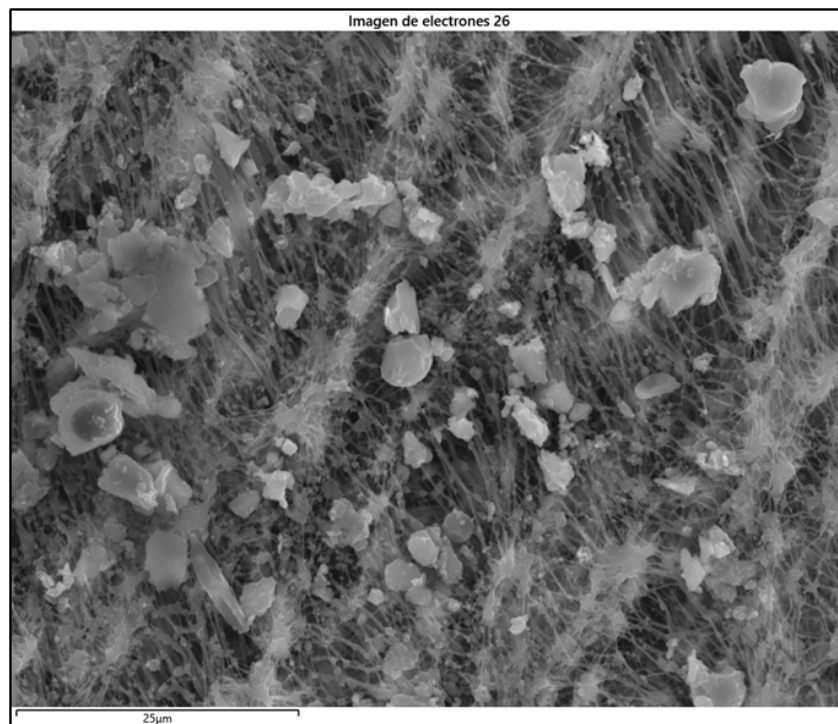


Figura 18. Imagen de la muestra CA-01 en el microscopio (1500x)

En la figura 19 el nivel microscópico fue de 5000x, se indica que los materiales particulados con mucha claridad y de una forma definida.

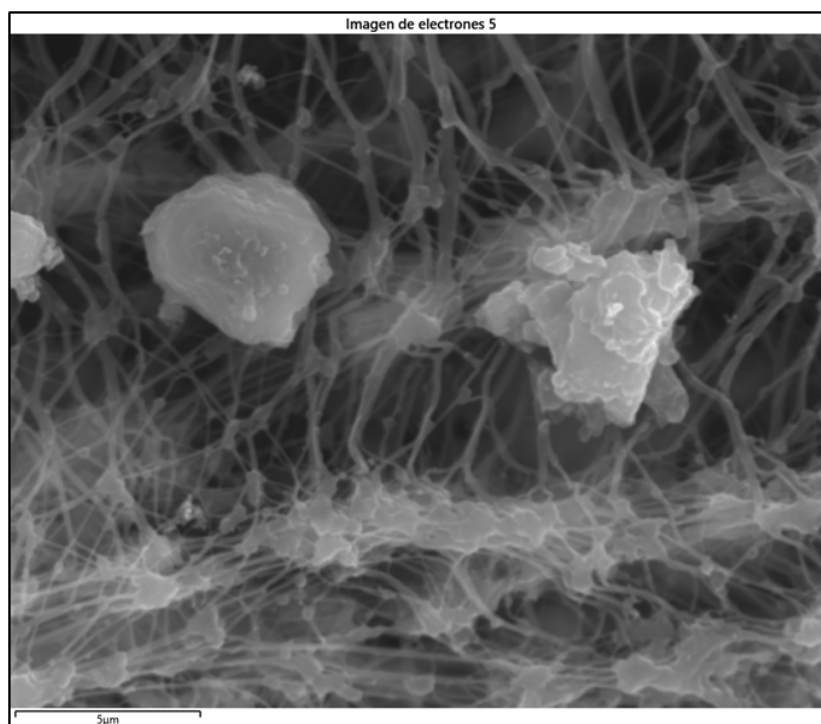


Figura 19. Imagen de la muestra CA-01 en el microscopio (5000x)

Se identifica la composición general de compuestos inorgánicos, presente, una composición de minerales de silicatos, material vítreo, wollastonita, óxido de aluminio, hierro y cobre particulado.

Resultados del análisis futir

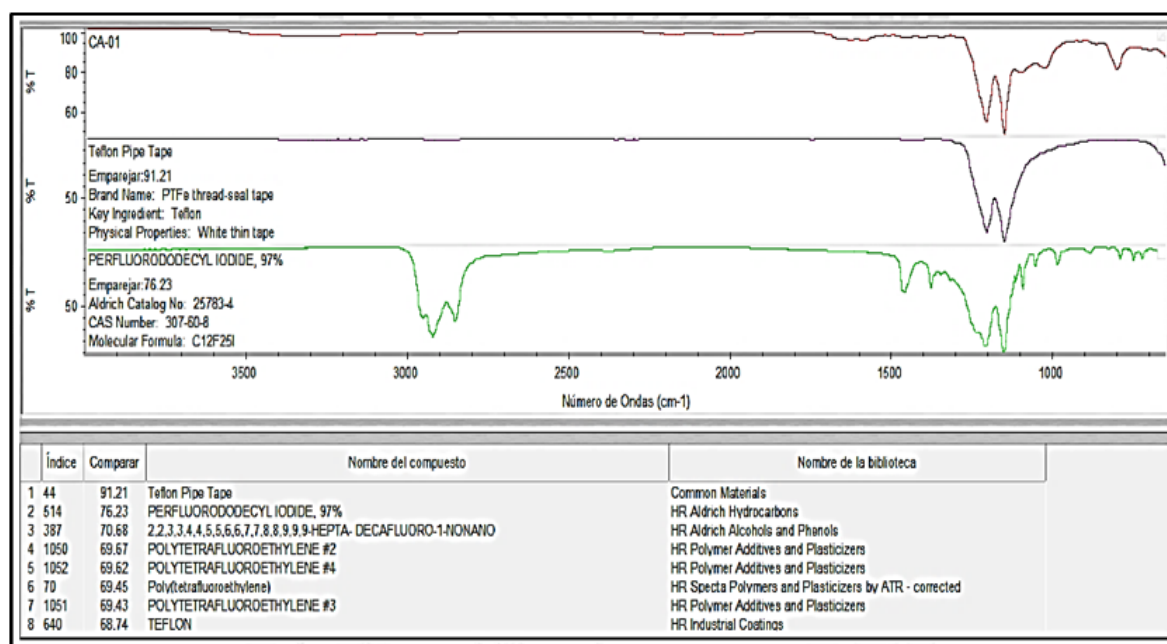


Figura 20. Análisis de microplásticos en el punto CA-01

Interpretación: en cuanto a la figura 20 se hizo un análisis de mediante (FTIR) que es la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, para identificar la presencia de microplasticos, de acuerdo a la figura 20, se observó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-01, se demostró la presencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 3343,58 cm⁻¹ y 2966,80 cm⁻¹.

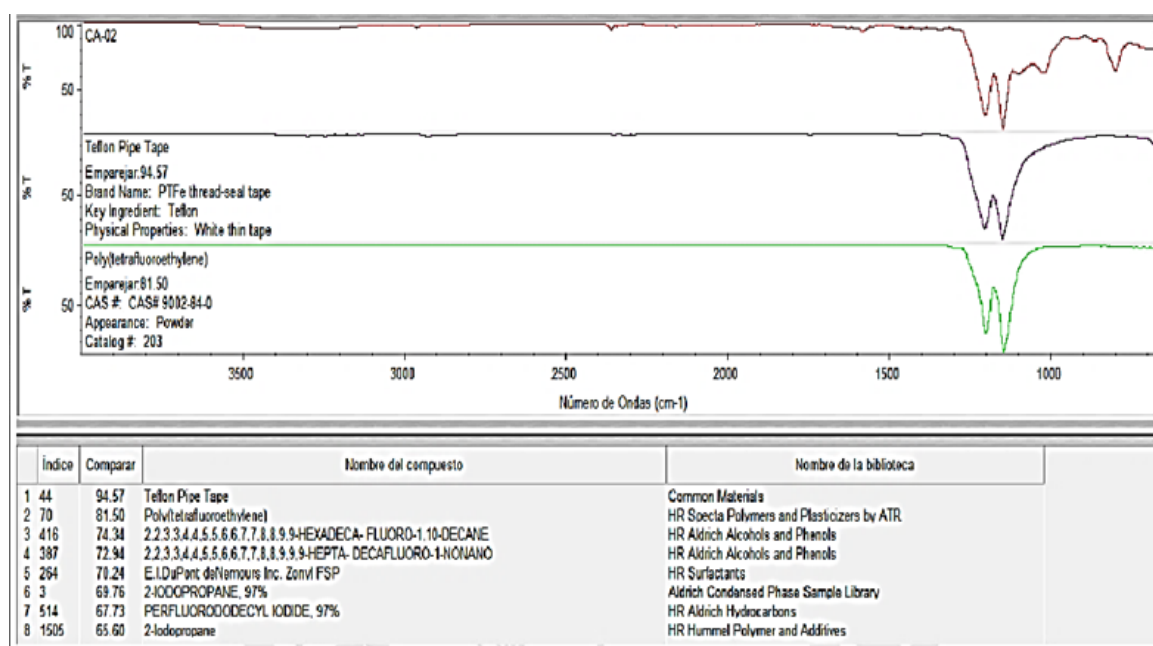


Figura 21. Análisis de microplásticos en el punto CA-02

Interpretación: en cuanto a la figura 21 se hizo un análisis de mediante (FTIR) que es la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, para identificar la presencia de microplasticos, de acuerdo a la figura 21, se identificó elementos de cierto material plástico como politetrafluoroetileno que podría suponerse expuestos en los picos del filtro de teflón, para la muestra CA-02, por lo tanto la falta de datos no permite identificar elementos de cierto material plástico, para la muestra estudiada.

Interpretación: en cuanto a la figura 22 se desarrolló un análisis de mediante (FTIR) que es la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, para identificar la presencia de microplasticos, de acuerdo a la figura 22, se identificó elementos de cierto material plástico como politetrafluoroetileno que podría suponerse expuestos en los picos del filtro de teflón, para la muestra CA-03, por lo tanto la falta de datos no permite observar elementos de cierto material plástico, para la muestra.

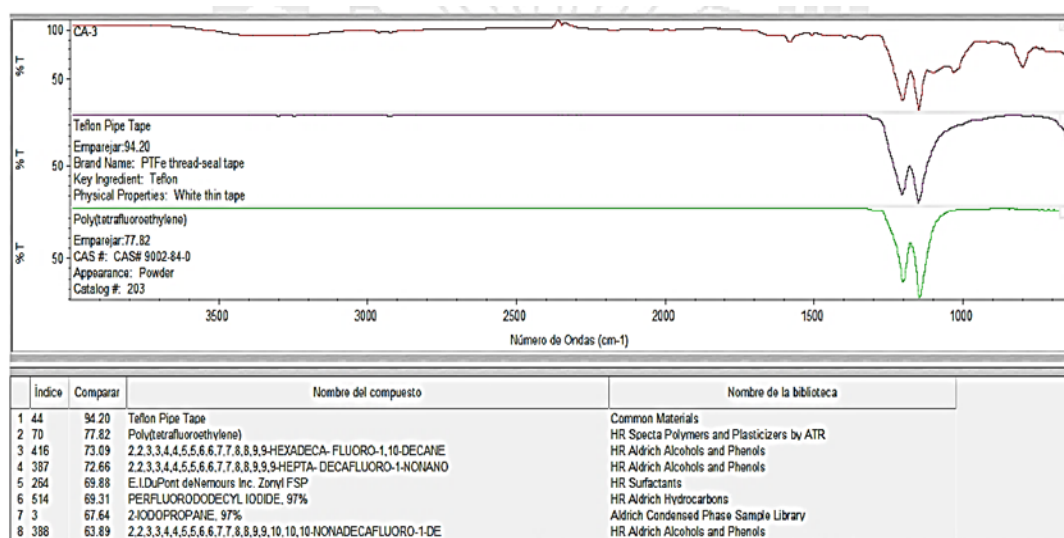


Figura 22. Análisis de microplásticos en el punto CA-03

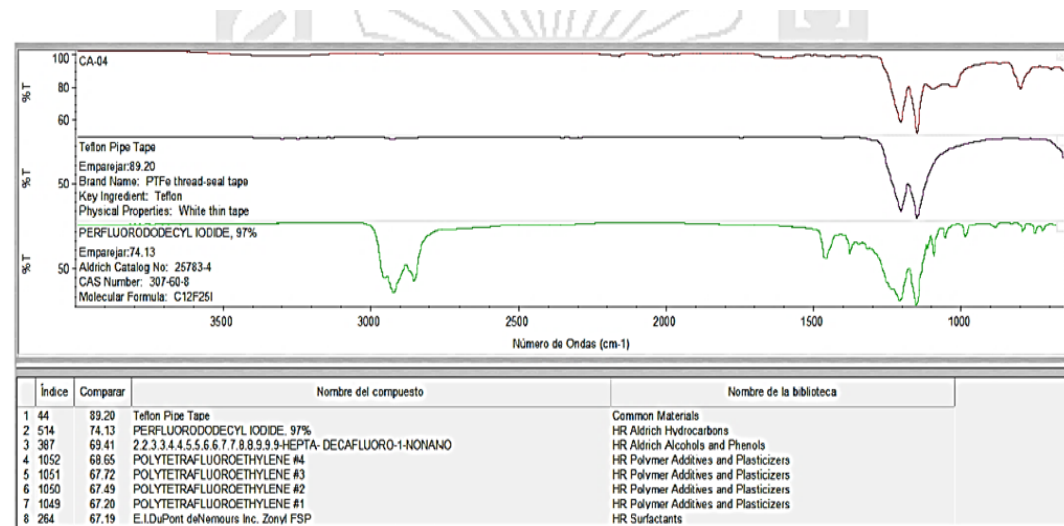


Figura 23. Análisis de microplásticos en el punto CA-04

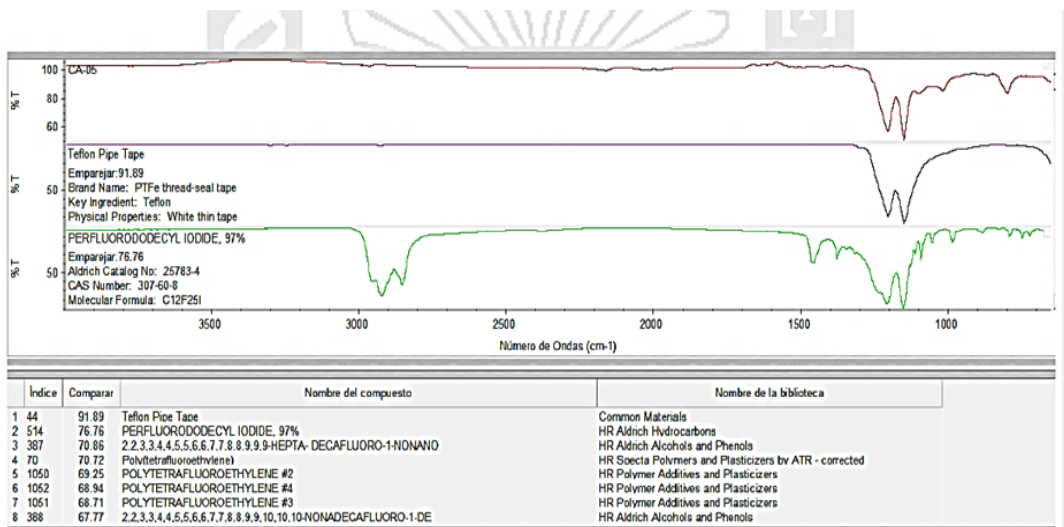


Figura 24. Análisis de microplásticos en el punto CA-05

Interpretación: en cuanto a la figura 23 se determinó a través de un análisis del uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 23, se observó elementos de cierto material

plástico, para la muestra CA-04, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 1204,42 cm⁻¹ y 1095,91 cm⁻¹

Interpretación: en cuanto a la figura 24 se realizó, mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 24, se identificó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-05, en donde se evidenció la existencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 2969,75cm⁻¹ y 1212,43 cm⁻¹

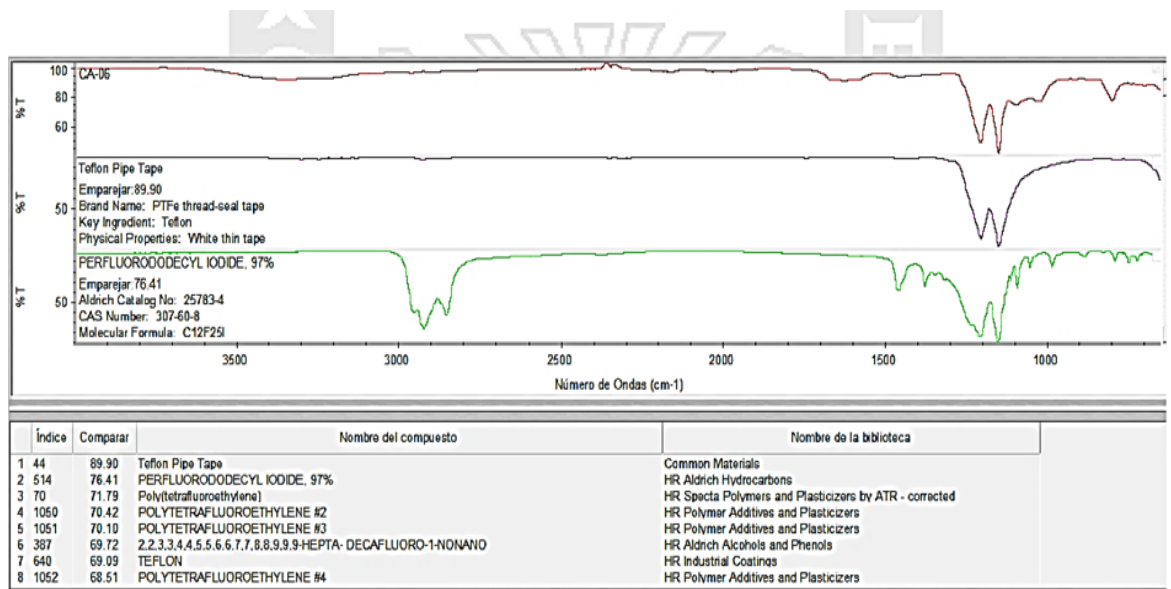


Figura 25. Análisis de microplásticos en el punto CA-06

Interpretación: en cuanto a la figura 25 se hizo un análisis de mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 25, se observó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-06, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 1454,58 cm⁻¹ y 1096,96 cm⁻¹.

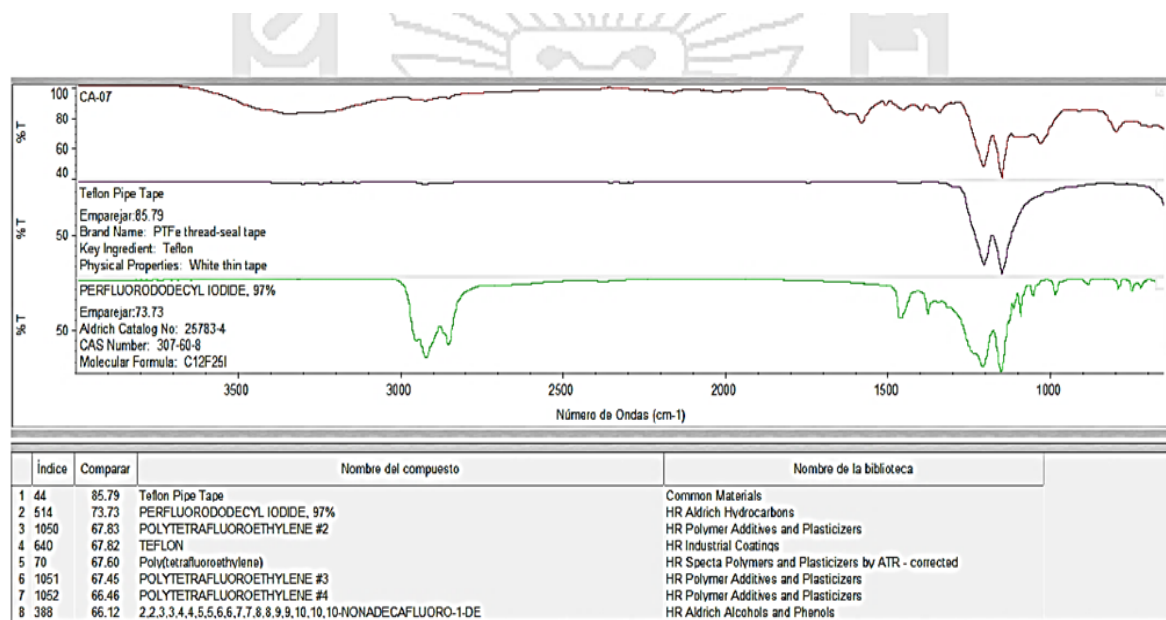


Figura 26. Análisis de microplásticos en el punto CA-07

Interpretación: en cuanto a la figura 26 se hizo un análisis de mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 26, se observó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-07, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 2963,86 cm⁻¹ y 1455,39 cm⁻¹.

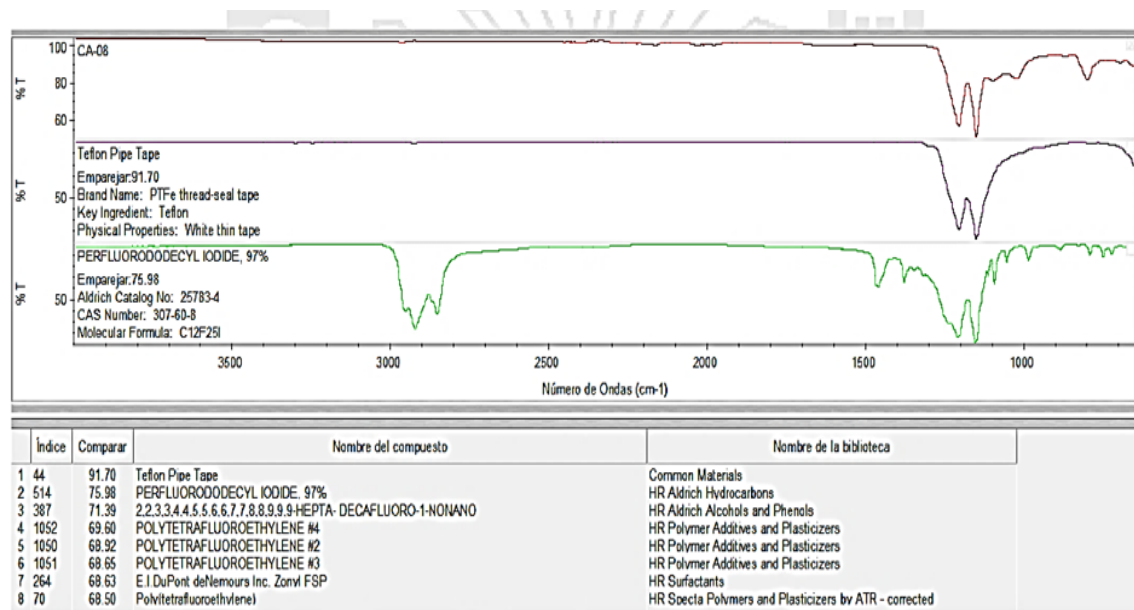


Figura 27. Análisis de microplásticos en el punto CA-08

Interpretación: en cuanto a la figura 27 se determinó, mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 27, se identificó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-08, en donde se evidenció la existencia de Yoduro de perfluorododecilo, longitudes de onda de 2966,60 cm⁻¹ y 1412,59 cm⁻¹

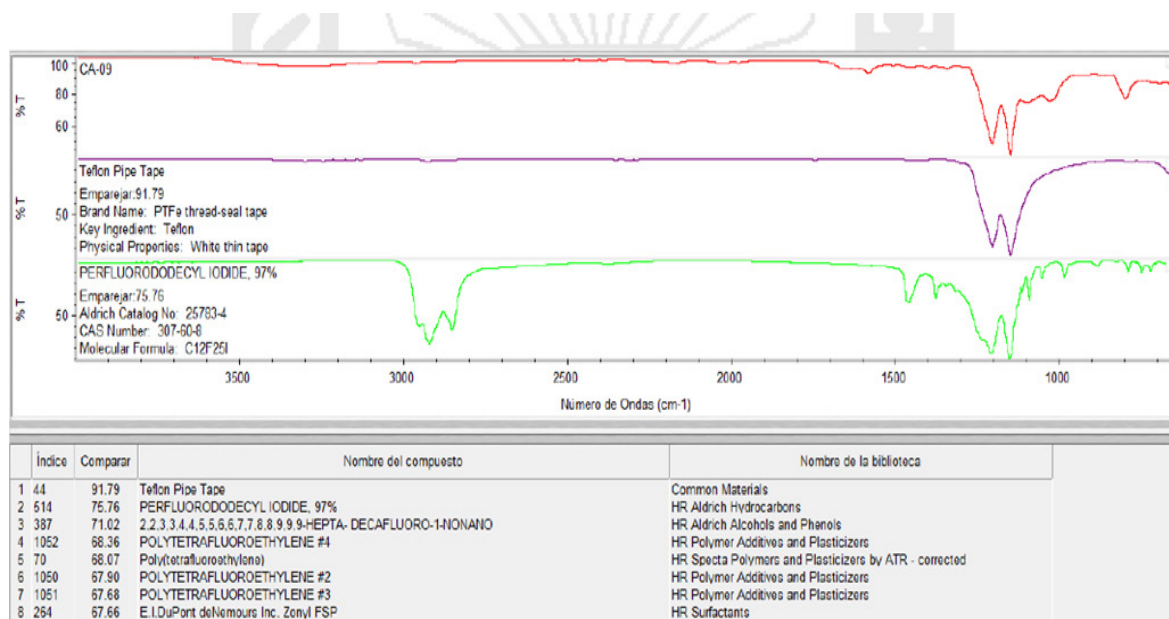


Figura 28. Análisis de microplásticos en el punto CA-09

Interpretación: en cuanto a la figura 28 se hizo un análisis de mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 28, se observó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-09, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorododecilo con longitudes de onda de 1149,09 cm⁻¹ y 1103,52 cm⁻¹

Interpretación: en cuanto a la figura 29 se determinó, mediante el uso de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para identificar la presencia de microplásticos, de acuerdo a la figura 29, se identificó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-10, se identificó elementos de cierto material plástico como politetrafluoroetileno que podría suponerse expuestos en los picos del filtro de teflón, para la muestra CA-10, por lo tanto la falta de datos no permite identificar elementos de cierto material plástico, para la muestra estudiada.

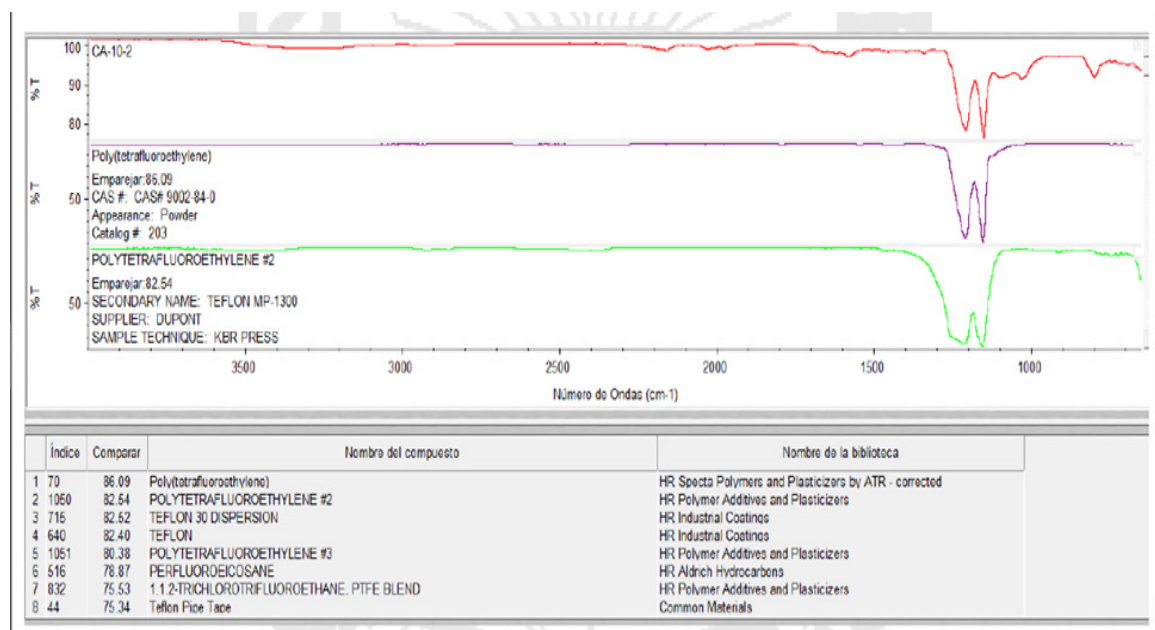


Figura 29. Análisis de microplásticos en el punto CA-10

DISCUSIÓN

OE1: Los valores encontrados durante el monitoreo de la calidad de aire del distrito de morales en los 10 puntos de monitoreo se muestra valor máximo de 123 ug/m³ en el CA-10 y valor mínimo de 71ug/m³ en el CA-07, valores que SOBREPASAN según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud que establece concentración permitido de 15 ug/m³, del mismo modo un estudio monitoreó el PM_{2.5} en Brasil y reportó un valor máximo de 60mg/m³ evaluados en 24 horas, superior a la referencia OMS (10ug/m³-anual y 25 ug/m³-24 horas).^(17,18,19,20,21,22) Por otro lado, un Informe de la OMS, indica que la contaminación del aire es una de las 10 amenazas principales de salud mundial, La exposición a partículas materia (PM) se asocia con la carga mundial de enfermedades y mortalidad no accidental.^(23,24,25) Por su parte, el Instituto de Efectos de la Salud, menciona que la contaminación ambiental por PM_{2.5} representa el 62 % de todas las muertes atribuibles a la contaminación del aire y el 55 % de los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) perdidos, es decir, 4,14 (intervalo de incertidumbre [UI] del 95 %: 2,50–3,36) millones de muertes y 118 (95 % IU: 95,9–138) millones de AVAD, de tal modo, por todo lo expuesto se evidencia de que el material particulado PM_{2.5} encontrado en los puntos evaluados del distrito de Morales muestran valores significativos que sobrepasan de acuerdo a la concentración establecido por la OMS por lo que se deduce que la calidad del aire es mala y que ninguno de los puntos cumple con los medios para proteger la salud ya que afecta a la población vulnerable, ya que al identificar la mala calidad del aire la población está expuesto a enfermedades agudas y crónicas como enfermedades pulmonares, cardiovasculares, cáncer, Neumonía, Bronquiolitis y asma, tal y como se evidenció en la ciudad de México Matus y Oyarzun.^(26,27,28,29,30,31)

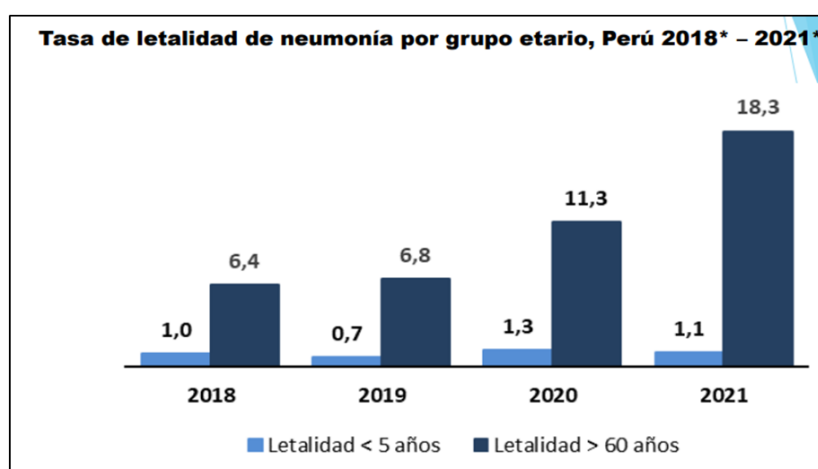


Figura 30. Tasa de letalidad de neumonía por grupo etario, Perú 2018-2021

El Perú tiene la más baja calidad de aire de América Latina,^(32,33,34) así, mientras nuestro país se ubica en el lugar 26 (con 29,6 µg/m³) de 117, tenemos a Chile en la posición 40 (21,7 µg/m³), México 51 (19,3 µg/m³), Colombia 72 (14,1 µg/m³), Brasil 75 (13,6 µg/m³), entre otros. Para la elaboración del estudio de IQAir se evaluó el nivel de calidad del aire en 6,475 ciudades y 117 países de todo el mundo a través de la existencia de materia particulada o PM_{2.5} de acuerdo con el estudio World Air Quality report. En el Perú

las enfermedades más comunes por contaminación del aire son el asma, bronquitis, cáncer de pulmón, las Infecciones respiratorias Agudas (IRAS), neumonía, normalmente estas enfermedades indican que la tasa de letalidad afecta a personas < 05 años y > 60 años según el Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y control de enfermedades del Minsa (figura 30).^(35,36,37,38,39,40)

Dentro del distrito de Morales se encontró la tasa de enfermedades respiratorias respecto al Material Particulado PM2.5 en el centro de salud de Morales (figura 31).

Enfermedad	Sexo	Total	Edad				
			0 - 11 años	12 - 17 años	18 - 29 años	30 - 59 años	60 a más
ASMA NO ESPECIFICADO. ASMA DE APARICION TARDIA. BRONQUITIS ASMATICA/SOB SIBILANCIA, HIP	M	8	2	2	1	2	1
	F	33	5	2	-	11	15
	Total	41	7	4	1	13	16
BRONQUITIS AGUDA, NO ESPECIFICADA	M	11	10	1	-	-	-
	F	12	8	1	1	-	2
	Total	23	18	2	1	-	2
BRONQUITIS, NO ESPECIFICADA COMO AGUDA O CRONICA	M	6	-	-	1	1	4
	F	10	-	-	1	4	5
	Total	16	-	-	2	5	9
DERMATITIS, NO ESPECIFICADA	M	7	5	1	-	-	1
	F	8	1	2	2	2	1
	Total	15	6	3	2	2	2
DERMATITIS ALERGICA DE CONTACTO, DE CAUSA NO ESPECIFICADA	M	4	2	1	-	-	1
	F	5	1	-	2	1	1
	Total	9	3	1	2	1	2
INFECCION AGUDA DE LAS VIAS RESPIRATORIAS SUPERIORES, NO ESPECIFICADA	M	3	2	-	-	-	1
	F	2	-	-	1	-	1
	Total	5	2	-	1	-	2
BRONQUITIS AGUDA DEBIDA A VIRUS ECHO	M	1	1	-	-	-	-
	F	-	-	-	-	-	-
	Total	1	1	-	-	-	-
BRONQUIOLITIS SIN ESPECIFICAR, BRONQUIOLITIS AGUDA	M	1	1	-	-	-	-
	F	-	-	-	-	-	-
	Total	1	1	-	-	-	-
ENFERMEDAD CRONICA DE LAS AMIGDALAS Y DE LAS ADENOIDES, NO ESPECIFICADA	M	1	1	-	-	-	-
	F	-	-	-	-	-	-
	Total	1	1	-	-	-	-
ASMA NO ALERGICA.	M	-	-	-	-	-	-
	F	1	-	1	-	-	-
	Total	1	-	1	-	-	-
ASMA MIXTA	M	1	-	-	1	-	-
	F	-	-	-	-	-	-
	Total	1	-	-	1	-	-
OTRAS ENFERMEDADES PULMONARES INTERSTICIALES CON FIBROSIS	M	1	-	-	-	-	1
	F	-	-	-	-	-	-
	Total	1	-	-	-	-	1
ENFERMEDAD PULMONAR INTERSTICIAL, NO ESPECIFICADA	M	-	-	-	-	-	-
	F	1	-	-	-	1	-
	Total	1	-	-	-	1	-

Figura 31. Tasa de enfermedades respiratorias por Material Particulado PM2.5 en el centro de salud de Morales

OE2: analizar la influencia de las concentraciones de material particulado 2,5, frente a la normativa nacional, en este caso mencionamos a las normativas de INCA y ECA de aire, en el cual indicamos que las concentraciones de los 10 puntos de monitoreo del distrito de Morales sobrepasan los valores de acuerdo al ECA de aire DS-N° 003-2017-MINAM con valor de 50 ug/m3 en un periodo de 24 horas, los valores de nuestro monitoreo representan concentraciones de 71 ug/m3 en el CA-07 hasta 123,4 ug/m3 en CA-10, es por ello que mencionamos un estudio en el cual indica que la exposición a PM2.5 aumentaría la susceptibilidad pulmonar, a pesar de una recuperación gradual de la lesión pulmonar después del cese de la exposición a PM2.5 demostrando que el PM2.5 puede inhalarse fácilmente y depositarse en la tráquea, los bronquios e incluso los alvéolos, lo que produce efectos adversos en el sistema y la función respiratorios un estudio midió el PM2.5 en 3 ciudades del Perú (Tarapoto, Lima y Juliaca), demostrando que la ciudad de Tarapoto tiene una concentración de 30,91 µg/m3 de PM2.5, Juliaca una concentración de 19,80 µg/m3 y Lima con un valor de 14,58 µg/m3, valores que no superaron el (ECA) con (50 µg.m3); ante lo expuesto y con los resultados encontrados en la investigación sabemos que la calidad del aire es mala en las zonas de muestreo y es malo para la salud ya que las partículas que ingresan por la nariz o la boca se asientan en el tracto respiratorio afectando las vías respiratorias.^(41,42,43,44,45)

Respecto a los resultados de acuerdo al INCA con RM-N° 181-2016-MINAM encontramos valores que sobrepasan a la normativa valor que es aceptable en 0 a 100 ug/m3, en los monitoreos respectivos (CA-01, CA-02, CA-03, CA-04, CA-05, CA-06, CA-07, CA-08, CA-09, CA-10) se muestran valores de 345,6; 476,4; 301,2; 288; 312; 412; 284; 424; 396; 493,6 ug/m3, respectivamente,

indicando que el índice de calidad del aire en el distrito de Morales es muy mala ya que supera las concentraciones del rango establecido de $>125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ según el INCA, se encuentra en color marrón (Umbral de cuidado) indicando que las concentraciones del contaminante afectan la salud de la población vulnerable. Por su parte, en un estudio se evaluó la calidad del aire del barrio huayco en Tarapoto la evaluación lo realizó en 2 puntos de monitoreo, en un periodo de 1 semana en el mes de abril, obteniendo como resultado la calidad del aire MUY MALA según el índice de calidad de aire (INCA) en el primer punto de monitoreo, y MALA en el segundo punto de monitoreo.^(46,47,48,49,50)

Concerniente al Índice de calidad de aire (AQI) nos ayudó a identificar el grado de contaminación atmosférica con respecto a la amenaza para la salud del distrito de morales, los resultados obtenidos en las estaciones de CA-01, CA-02, CA-03, CA-04, CA-05, CA-06, CA-07, CA-08, CA-09, CA-10, tuvieron valores de 360, 496,3, 313,8, 300,325,429,2,295,8,441,7,412,5 y 514,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, lo cual indica que la contaminación con respecto a la salud se encuentra dentro del sexto rango de categoría PELIGROSO con concentraciones superiores a $250,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual significa un alto riesgo de experimentar fuertes irritaciones y efectos adversos para la salud, y que todos deben evitar las actividades al aire libre, como se indica en el siguiente cuadro que pertenece concentraciones límite de contaminantes del aire según la EPA de EE. UU (tabla 12).^(51,52,53,54)

Tabla 12. Concentraciones de límites de contaminantes de aire según EPA de EE.UU

Rango de puntuación del AQI	Categoría AQI	PM2.5 ($\mu\text{g} / \text{m}^3$)	Riesgos de salud
0-50	Bueno	0-12,0	La calidad del aire es satisfactoria y presenta poco o ningún riesgo.
51-100	Moderado	12,1-35,4	Las personas sensibles deben evitar la actividad al aire libre.
101-150	Insalubre para grupos sensibles	35,5-55,4	El público en general y las personas sensibles en particular corren el riesgo de sufrir irritación y problemas respiratorios.
151-200	Insalubre	55,5-150,4	Mayor probabilidad de efectos adversos y agravamiento del corazón y los pulmones entre el público en general.
201-300	Muy insalubre	150,5-250,4	El público en general se verá notablemente afectado. Los grupos sensibles deben restringir las actividades al aire libre.
301+	Peligroso	250,5+	El público en general tiene un alto riesgo de experimentar fuertes irritaciones y efectos adversos para la salud. Todos deben evitar las actividades al aire libre.

Mientras tanto, en un estudio evaluaron la calidad del aire de la India en 240 ciudades con 342 estaciones de monitoreo. El índice de calidad del aire (AQI) se ha clasificado en diferentes grupos, para predecir el AQI en la ciudad de Chennai, se recopiló el conjunto de datos y luego se procesó para reemplazar los valores faltantes y eliminar los datos redundantes, registrando que el conjunto de datos original muestra en color rojo para el PM2.5 versus el valor del índice AQI, lo cual indica que la calidad del aire es INSALUBRE y que la población está expuesto a tener efectos adversos y agravamiento del corazón y los pulmones entre el público en general.^(55,56,57,58)

Analizar el Impacto del Material Particulado 2.5 en la calidad atmosférica del Distrito de Morales-Provincia de San Martín-2022, se indica que se evaluó los parámetros meteorológicos de Temperatura, Humedad relativa, Velocidad del viento y Dirección de viento para así poder comprobar la presencia de PM2.5 en cada punto de monitoreo, un estudio en Sambalpur, a PM2.5 evidenciando valores de $36,38$ a $64,00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ indicando que está por encima del límite permisible anual fijado por el CPCB. donde, mientras tanto se monitoreo los parámetros meteorológicos donde la Temperatura presenta valores variados entre $26,3^\circ\text{C}$ a 27°C ; para Humedad relativa de $58,3\%$ a $71,2\%$; respecto a la Velocidad del viento desde $0,5 \text{ m/s}$ a $4,5 \text{ m/s}$ con promedio de dirección de viento desde $22,5$ grados a $247,5$ grados, en el cual la rosa de viento jugaron un papel en la dispersión y dilución de los contaminantes, además de verse favorecidos por la topografía y las actividades antrópicas de la zona en donde la temperatura media del aire más alta se registró durante los meses de abril ($26,4^\circ\text{C}$) y mayo de ($26,2^\circ\text{C}$) y la más baja fue de ($21,5^\circ\text{C}$) existiendo una correlación positiva significativa entre la temperatura y la velocidad del viento en nuestro análisis refuerza este hecho ($r=+0,338$, $p<0,05$).^(59,60,61,62,63) La calidad del aire del área osciló de una contaminación atmosférica ligera a una contaminación atmosférica moderada, que se atribuye principalmente a las partículas (PM2,5) mientras tanto al analizar la presencia de microplásticos, para la muestra CA-01, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorodecilo con longitudes de onda de $3343,58 \text{ cm}^{-1}$ y $2966,80 \text{ cm}^{-1}$, para la muestra CA-02, no se identificó elementos de cierto material plástico, en la muestra CA-03, no se observó elementos de cierto material plástico, para la muestra CA-04, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorodecilo con longitudes de onda de $1204,42 \text{ cm}^{-1}$ y $1095,91 \text{ cm}^{-1}$, para la muestra CA-05, en donde se evidenció la existencia de yoduro de perfluorodecilo con longitudes de onda de $2969,75 \text{ cm}^{-1}$ y $1212,43 \text{ cm}^{-1}$, en la muestra CA-06, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorodecilo con longitudes de onda de $1554,58 \text{ cm}^{-1}$ y $1096,96 \text{ cm}^{-1}$, en la muestra CA-07, se evidenció la existencia de yoduro de perfluorodecilo con longitudes de onda de $2963,86 \text{ cm}^{-1}$ y $1455,39 \text{ cm}^{-1}$, para la muestra CA-08, en donde se evidenció la existencia de Yoduro de perfluorodecilo, longitudes de onda de $2966,60 \text{ cm}^{-1}$ y $1412,59 \text{ cm}^{-1}$ mientras tanto en la muestra CA-09, se evidenció la existencia de yoduro de

perfluorodecilo con longitudes de onda de 1149,09 cm⁻¹ y 1103,52 cm⁻¹, finalmente para la muestra CA-10, no se evidenció la existencia de materiales plásticos, por su parte se exploró las distribuciones, composiciones y morfología de los microplásticos en el aire interior y ambiente en Nueva Jersey, Estados Unidos, las fibras microplásticas, películas y fragmentos de Poliestireno (PS), Polietileno tereftalato (PET), Policloruro de vinilo (PVC), Polietileno (PE), y Polipropileno (PP con texturas similares pero diferentes tamaños se identificaron tanto en la deposición atmosférica total como en las muestras de partículas (PM2.5), por lo tanto estos resultados revelan las propiedades de los microplásticos transportados por el aire en entornos urbanos son importantes para comprender su destino, transporte y riesgos potenciales para la salud, Las partículas (PM2.5) y los microplásticos podrían actuar como portadores de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) que pueden aumentar el riesgo potencial de cáncer.^(64,65,66)

CONCLUSIONES

OE1: la concentración de Material Particulado PM2.5 en los 10 puntos de monitoreo del distrito de Morales, identificándose partículas plásticas y distintos componentes presente en el ambiente, concerniente al parámetro PM2.5 que se analizó en los 10 puntos de monitoreo, comparándolo con la normativa Internacional de la OMS que tiene un valor de 15 µg/m³ de media diaria, los valores finales obtenidos superan los límites establecidos, teniendo como valor máximo al punto CA-10 (Mercado Santa Anita) con un valor de 123,4 µg/m³ y valor mínimo de 71 µg/m³ correspondiente al punto CA-07 (Exterior de UNSM).

OE2: la comparación entre los resultados finales de PM2.5 con los Estándares de Calidad (ECA) que presentan un valor total de 50 µg/m³, se demostraron que los 10 puntos de monitoreo superan los valores establecidos según los estándares nacionales, mientras tanto según el Índice de Calidad del Aire (INCA) muestran valores máximos en la estación CA-10 con valor de 493,6 ug/m³ y con valor mínimo en el punto en el punto CA-04 con concentración de 288 ug/m³, entonces se concluye que el aire respirable del distrito de Morales está dentro del Umbral de Cuidado ya que las concentraciones de contaminantes afectan la salud de todos y pueden tener serias implicaciones para la población vulnerable.

Al evaluar los parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y dirección del viento sus valores variaron de acuerdo al factor climático, además de que a mayor fuerza del viento las concentraciones de PM2.5 pueden variar ya que el viento arrastra partículas en suspensión de tal modo influye en las concentraciones de las muestras, además, para el análisis de Material Particulado se utilizó el método de Microscopia Electrónica de Barrido con una escala de 500x, 1500x, 5000x, lo cual fue un equipo eficiente para el análisis ya que se identificó las características que presentan, identificando óxido de aluminio, material vítreo, hierro, cobre particulado, concluyendo que el microplástico con mayor abundancia fue el Perfluorododecil Yoduro, siendo un contaminante poco común.

RECOMENDACIONES

A los futuros investigadores recomendarles realizar un estudio más complejo de Material Particulado, incluyendo quizás toda la ciudad de Tarapoto para poder tener una base de datos más amplia y concreta sobre este parámetro y poder saber en qué condiciones se encuentra la calidad del aire ya que la ciudad tiene una expansión demográfica muy acelerada y las diferentes actividades que generan pueden llegar a influenciar en la generación de Material Particulado.

Los tres niveles de gobierno nacional, regional y local deben realizar monitoreos mensuales para conocer las condiciones a las que se expone la población que se encuentran de alguna forma en contacto con estos contaminantes que son nocivos para el ser humano, ya que a corto o largo plazo puede ser perjudicial para la salud humana, ya que estos contaminantes muchas veces sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS).

Finalmente, viendo la influencia del distrito y la alta población que este presenta, a los municipios recomendamos implementar programas de sensibilización y planes de mitigación para la disminución de las partículas en suspensión que en un tiempo determinado puede generar enfermedades crónicas no solo a la población vulnerable sino también a personas de bajo riesgo.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Rodrigo Dávid Colichón Carranza, Alexis Torres-del Aguila, Carlos Mauricio Lozano Carranza, Andi Lozano Chung.

Curación de datos: Rodrigo Dávid Colichón Carranza, Alexis Torres-del Aguila, Carlos Mauricio Lozano Carranza, Andi Lozano Chung.

Análisis formal: Rodrigo Dávid Colichón Carranza, Alexis Torres-del Aguila, Carlos Mauricio Lozano Carranza, Andi Lozano Chung.

Redacción – borrador original: Rodrigo Dávid Colichón Carranza, Alexis Torres-del Aguila, Carlos Mauricio Lozano Carranza, Andi Lozano Chung.

Redacción – revisión y edición: Rodrigo Dávid Colichón Carranza, Alexis Torres-del Aguila, Carlos Mauricio Lozano Carranza, Andi Lozano Chung.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Akhbarizadeh R, Dobaradaran S, Nabipour I, Tangestani M, Abedi D, Javanfekr F, et al. Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications. *Environ Res*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110339>
2. Sridharan S, Kumar M, Singh L, Bolan NS, Saha M. Microplastics as an emerging source of particulate air pollution: A critical review. *J Hazard Mater*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126245>
3. Wright SL, Ulke J, Font A, Chan KL, Kelly FJ. Development of screening criteria for microplastic particles in air and atmospheric deposition: critical review and applicability towards assessing human exposure. *Microplast Nanoplast*. 2021 Apr 17;1(1):6. <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00006-y>
4. Liu C, Li J, Zhang Y, Wang L, Deng J, Gao Y, et al. Widespread distribution of PET and PC microplastics in dust in urban China and their estimated human exposure. *Environ Int*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.04.024>
5. Oroumihyeh F, Zhu Y. Brake and tire particles measured from on-road vehicles: Effects of vehicle mass and braking intensity. *Atmos Environ (1994)*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100121>
6. Kelly FJ, Fussell JC. Toxicity of airborne particles—established evidence, knowledge gaps and emerging areas of importance. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2020. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0322>
7. Evangelidou N, Grythe H, Klimont Z, Heyes C, Eckhardt S, Lopez-Aparicio S, et al. Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions. *Nat Commun*. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17201-9>
8. Provencher JF, Ammendolia J, Rochman CM, Mallory ML. Proceed with caution: The need to raise the publication bar for microplastics research. *Sci Total Environ*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141426>
9. Gasperi J, Wright SL, Dris R, Collard F, Mandin C, Guerrouache M, et al. Microplastics in air: Are we breathing it in?. *Curr Opin Environ Sci Health*. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.10.002>
10. Zhang Y, Kang S, Allen S, Allen D, Gao T, Sillanpää M. Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth Sci Rev*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118>
11. Rushingabigwi G, Yang W, Xin J, Zhao H, Guo L. Analysis of the atmospheric dust in Africa: The breathable dust's fine particulate matter PM_{2.5} in correlation with carbon monoxide. *Atmos Environ (1994)*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117319>
12. Liang L, Gong P, Wu L, Liu X, Li H. Calibrating low-cost sensors for ambient air monitoring: Techniques, trends, and challenges. *Environ Res*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111163>
13. Wright SL, Ulke J, Font A, Chan KL, Kelly FJ. Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environ Int*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>
14. Prata JC, da Costa JP, Lopes I, Duarte AC, Rocha-Santos T. The importance of contamination control in airborne fibers and microplastic sampling: Experiences from indoor and outdoor air sampling in Aveiro, Portugal. *Mar Pollut Bull*. 2020 Oct;159:111522. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111522.
15. Ebrahimi P, Kalantari N, Farrokhi M, Nasiri M, Zarei M, Fazlzadeh M. Investigating impact of physicochemical properties of microplastics on human health: A short bibliometric analysis and review. *Chemosphere*. 2022 Feb;289:133146. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.133146.
16. Ye Y, Zhang Y, Chen Y, Han X, Ren H. The development and application of advanced analytical methods in microplastics contamination detection: A critical review. *Sci Total Environ*. 2022 Apr 20;818:151851. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.151851.
17. Yao Y, Glamoclija J, Rojanasakul Y, Castranova V, Brooks BW, He K. Characterization of microplastics in indoor and ambient air in northern New Jersey. *Environ Res*. 2022 May;207:112142. doi:10.1016/j.envres.2021.112142.
18. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Turner A, Kelly FJ, Dominguez AO, et al. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environ Pollut*. 2019 Jan;244:153-164. doi:10.1016/j.envpol.2018.10.039.

19. Gasperi J, Wright SL, Dris R, Collard F, Mandin C, Guerrouache M, et al. Microplastics in air: Are we breathing it in? *Curr Opin Environ Sci Health*. 2018 Feb;1:1-5. doi:10.1016/j.coesh.2017.10.002.
20. Beaupaire M, Dris R, Gasperi J, Tassin B. Microplastics in the atmospheric compartment: a comprehensive review on methods, results on their occurrence and determining factors. *Curr Opin Food Sci*. 2021 Oct;41:159-168. doi:10.1016/j.cofs.2021.04.010.
21. Daiber A, Kuntic M, Oelze M, Abou-El-Ardat K, Steven S, Schulz E, et al. Effects of air pollution particles (ultrafine and fine particulate matter) on mitochondrial function and oxidative stress – Implications for cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Arch Biochem Biophys*. 2020 Dec 15;696:108662. doi:10.1016/j.abb.2020.108662.
22. Huang Y, He B, Yang T, Chen Z, Shi J. Mini-review on current studies of airborne microplastics: Analytical methods, occurrence, sources, fate and potential risk to human beings. *TrAC Trends Anal Chem*. 2020 Apr;125:115821. doi:10.1016/j.trac.2020.115821.
23. Prata JC. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ Pollut*. 2018 Mar;234:115-126. doi:10.1016/j.envpol.2017.11.043.
24. Fan C, Wu H, Zeng G, Li H, Zhou Y, Wang Z, et al. Microplastic constituent identification from admixtures by Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy: The use of polyethylene terephthalate (PET), polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinyl chloride (PVC) and nylon (NY) as the model constituents. *Environ Technol Innov*. 2021 Aug;23:101798. doi:10.1016/j.eti.2021.101798.
25. Stockin KA, Orams MB, Bollard B, Ventre K, Wiseman N, Moore MJ, et al. Fourier transform infrared (FTIR) analysis identifies microplastics in stranded common dolphins (*Delphinus delphis*) from New Zealand waters. *Mar Pollut Bull*. 2021 Dec;173:113084. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113084>
26. Hopke PK, Dai Q, Li L, Feng Y. Global review of recent source apportionments for airborne particulate matter. *Sci Total Environ*. 2020 Oct 20;740:140091. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140091>
27. Liao Z, Ji X, Ma Y, Lv B, Huang W, Zhu X, et al. Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. *J Hazard Mater*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126007>
28. Akdogan Z, Guven B. Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environ Pollut*. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113011>
29. Correia Prata J, da Costa JP, Lopes I, Duarte AC, Rocha-Santos T. Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Sci Total Environ*. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
30. Rahman A, Sarkar B, Yadav OP, Achari G, Slobodnik J. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. *Sci Total Environ*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143872>
31. Urrutikoetxea-Gutiérrez M, García-García B, Alonso ML, Marimón JM. Ultra-fast direct method for identifying microorganisms from BACTEC lytic/10 anaerobic/F flasks. *Future Microbiol*. 2021. <https://doi.org/10.2217/fmb-2021-0059>
32. Rahman L, Mahmudur Rahman S, Rakib MR, Jho Y, Lee S, Park J, et al. Microplastics and nanoplastics science: collecting and characterizing airborne microplastics in fine particulate matter. *Nanotoxicology*. 2021. <https://doi.org/10.1080/17435390.2021.2018065>
33. Peñalver R, Borrull F, Pocurull E, Marcé RM. Assessing the level of airborne polystyrene microplastics using thermogravimetry-mass spectrometry: Results for an agricultural area. *Sci Total Environ*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147656>
34. Habibi N, Kazemi SM, Shams M. Microplastics in the atmosphere: a review. *J Environ Expo Assess*. 2022. <https://doi.org/10.20517/jeea.2021.07>
35. Xie Y, Chen J, Li J, Zhang Y, Guo Y, Zhao Y, et al. Inhalable microplastics prevails in air: Exploring the size detection limit. *Environ Int*. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107151>
36. Uddin S, Fowler SW, Saeed T, Al-Ghadban AN, Al-Shamroukh D, Zaki N, et al. A preliminary assessment of size-fractionated microplastics in indoor aerosol—Kuwait's baseline. *Toxics*. 2022. <https://doi.org/10.3390/toxics10020071>

37. Su L, Nan B, Hassell KL, Craig NJ, Pettigrove V. Temporal and spatial variations of microplastics in roadside dust from rural and urban Victoria, Australia: Implications for diffuse pollution. *Chemosphere*. 2020;252:126567. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126567
38. Torres-Agulló A, Karanasiou A, Moreno T, Lacorte S. Overview on the occurrence of microplastics in air and implications from the use of face masks during the COVID-19 pandemic. *Sci Total Environ*. 2021;800:149555. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.149555
39. Hu K, Gong M, Feng S, Gao S, Zhou J, Zhu L, et al. Emerging microplastics in the environment: Properties, distributions, and impacts. *Chemosphere*. 2022;297:134118. doi:10.1016/j.chemosphere.2022.134118
40. Luo Z, Mai L, Li H, Liu Y, Zhang D, Wong CS, et al. Environmental occurrence, fate, impact, and potential solution of tire microplastics: Similarities and differences with tire wear particles. *Sci Total Environ*. 2021;795:148902. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148902
41. Szewc K, Graca B, Dołęga A. Atmospheric deposition of microplastics in the coastal zone: Characteristics and relationship with meteorological factors. *Sci Total Environ*. 2020;143272. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143272
42. Liu K, Wang X, Fang T, Xu P, Zhu L, Li D. Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Sci Total Environ*. 2019;675:462-71. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.110
43. Kole PJ, Löhr AJ, Van Belleghem FGAJ, Ragas AMJ. Wear and tear of tyres: A stealthy source of microplastics in the environment. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(10):1265. doi:10.3390/ijerph14101265
44. Amato-Lourenço LF, Carvalho-Oliveira R, Júnior GR, dos Santos Galvão L, Ando RA, Mauad T. Airborne microplastics and SARS-CoV-2 in total suspended particles in the area surrounding the largest medical centre in Latin America. *Environ Pollut*. 2022;292:118299. doi:10.1016/j.envpol.2021.118299
45. Ljubimova JY, Braubach O, Patil R, Chumakova A, Chen Z, Kleinman MT, et al. Coarse particulate matter (PM_{2.5}–10) in Los Angeles Basin air induces expression of inflammation and cancer biomarkers in rat brains. *Sci Rep*. 2018;8(1):5708. doi:10.1038/s41598-018-23885-3
46. Amato-Lourenço LF, dos Santos Galvão L, de Weger LA, Hiemstra PS, Vijver MG, Mauad T. An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? *Sci Total Environ*. 2020;749:141676. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141676
47. Abbass RA, Kumar P, El-Gendy A. Car users exposure to particulate matter and gaseous air pollutants in megacity Cairo. *Sustain Cities Soc*. 2020;56:102090. doi:10.1016/j.scs.2020.102090
48. Chen G, Feng Q, Wang J. An overview of analytical methods for detecting microplastics in the atmosphere. *TrAC Trends Anal Chem*. 2020;130:115981. doi:10.1016/j.trac.2020.115981
49. Cooper DM, Loxham M. Particulate matter and the airway epithelium: the special case of the underground? *Eur Respir Rev*. 2019;28(153):190066. doi:10.1183/16000617.0066-2019
50. Chen Y, Wild O, Conibear L, Ran L, He J, Wang L, et al. Local characteristics of and exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) in four Indian megacities. *Atmos Environ X*. 2020;5:100052. doi:10.1016/j.aeaoa.2019.100052
51. Guo C, Zhang Z, Lau AKH, Lin CQ, Chuang YC, Chan J, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) and lung function in children, adolescents, and young adults: a longitudinal cohort study. *Environ Health Perspect*. 2019;127(12):127008. doi:10.1289/EHP5220.
52. Sarkodie SA, Owusu PA, Leirvik T. Proximate determinants of particulate matter (PM_{2.5}) emission, mortality and life expectancy in Europe, Central Asia, Australia, Canada and the US. *Sci Total Environ*. 2019;683:489-97. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.05.278.
53. Zhou T, Zhong Y, Hu Y, Sun C, Wang Y, Huang Z, et al. Fine particulate matter (PM_{2.5}) aggravates apoptosis of cigarette-inflamed bronchial epithelium in vivo and in vitro. *Environ Pollut*. 2019;248:1-9. doi:10.1016/j.envpol.2018.11.054.
54. Shamsipour M, Hassanvand MS, Goudarzi G, Idani E, Gharibzadeh S, Naddafi K, et al. National and sub-national exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) and its attributable burden of disease in Iran from 1990 to 2016. *Environ Pollut*. 2019;255:113173. doi:10.1016/j.envpol.2019.113173.

55. Singh V, Singh S, Biswal A. Exceedances and trends of particulate matter (PM_{2.5}) in five Indian megacities. *Sci Total Environ*. 2021;750:141461. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141461.
56. Chen R, Yin P, Meng X, Liu C, Wang L, Xu X, et al. Associations between coarse particulate matter air pollution and cause-specific mortality: a nationwide analysis in 272 Chinese cities. *Environ Health Perspect*. 2019;127(1):017008. doi:10.1289/EHP2711.
57. Wang Q, Yuan X, Yang J, Li C, Zhang K, Li J, et al. The impacts of urbanization on fine particulate matter (PM_{2.5}) concentrations: empirical evidence from 135 countries worldwide. *Environ Pollut*. 2019;247:989-98. doi:10.1016/j.envpol.2019.01.086.
58. Bai Y, Sun Q. Fine particulate matter air pollution and atherosclerosis: mechanistic insights. *Biochim Biophys Acta Gen Subj*. 2016;1860(12):2863-8. doi:10.1016/j.bbagen.2016.04.030.
59. Velasquez RMA, Romero YL, Noel J. Citizen science approach for spatiotemporal modelling of air pollution quality and traffic in Lima, Peru. In: 2019 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON). IEEE; 2019. doi:10.1109/SHIRCON48091.2019.9024879.
60. European Respiratory Society. Clean air for healthy lungs – an urgent call to action: European Respiratory Society position on the launch of the WHO 2021 Air Quality Guidelines. *Eur Respir J*. <https://erj.ersjournals.com/content/58/6/2102447>
61. Siciliano B, Carvalho G, Arbilla G. The updated Brazilian national air quality standards: a critical review. *J Braz Chem Soc*. 2020;31(3):523-35. doi:10.21577/0103-5053.20190212.
62. Sahu C, Sahu SK. Ambient air quality and air pollution index of Sambalpur: a major town in Eastern India. *Int J Environ Sci Technol*. 2019;16(12):8217-28. doi:10.1007/s13762-019-02383-7.
63. Xue T, Geng G, Meng X, Xiao Q, Zheng Y, Gong J, et al. New WHO global air quality guidelines help prevent premature deaths in China. *Natl Sci Rev*. 2022;9(4):nwac055. doi:10.1093/nsr/nwac055.
64. Zaib S, Lu J, Bilal M. Características espacio-temporales del índice de calidad del aire (ICA) en el noroeste de China. *Atmósfera*. 2022;13(3):375. doi:10.3390/atmos13030375.
65. Heidarinejad Z, Alidadi H, Aghayani E, Esmaeili A. Data on evaluation of AQI for different seasons in Kerman, Iran, 2015. *Data Brief*. 2018;20:1917-23. doi:10.1016/j.dib.2018.08.216.
66. Tan X, Han L, Zhang X, Zhou W, Li W, Qian Y. A review of current air quality indexes and improvements under the multi-contaminant air pollution exposure. *J Environ Manag*. 2021;279:111681. doi:10.1016/j.jenvman.2020.111681.