

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES**



Tesis

Determinación del grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.

Asesora:

Ing. Rojas Cáceres, Mariela

Autor:

Palomino Centeno, Jeefrey Davy

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay – Apurímac – Perú

2025



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 28 días del mes de enero del 2025, siendo las 11:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 004-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 20 de enero del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
Dictaminante :	Mg. Salas Peña Vanesa
Replicante :	Mg. Pimentel Maldonado Waldir

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN (PM2.5 Y PM 10) Y SU RELACIÓN CON ENFERMEDADES RESPIRATORIAS DE LOS POBLADORES EN LAS VÍAS URBANAS DEL DISTRITO DE TALAVERA – ANDAHUAYLAS 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Palomino Centeno, Jeeffy Davy

(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: **Mayoría**

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:


Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Palomino Centeno, Jeeffy Davy	Aprobado

Siendo las 13:00 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **MG. Calderón Aedo Kristhel Jaylane**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Dictaminante: **Mg. Salas Peña Vanesa**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Replicante: **Mg. Pimentel Maldonado Waldir**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o

Reporte de similitud

Determinación del grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andah

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y Nombres	:	Palomino Centeno Jeefrey Davy
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	70424750
URL ORCID (opcional)	:	https://orci.org/0009-0000-9680-9768
Datos del Asesor		
Apellidos y Nombres	:	Ing. Rojas Cáceres Mariela
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Número de documento de identidad	:	46624530
URL ORCID (opcional)	:	https://orci.org/0009-0007-8438-1208
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2023 - 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	22%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford# 2.07.01

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios porque él fue la razón por la cual hoy me encuentro de pie y pude culminar mi carrera profesional, a mis padres porque siempre han estado ahí para mí proporcionándome apoyo y consejos, muchos de mis logros los debo a ellos, uno de ellos es este; convertirme en un gran profesional. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final siempre me alentaron para no decaer y poder cumplir mis sueños.

Agradecimiento

Expreso mi más profundo reconocimiento al Ser Supremo por concederme una estirpe prodigiosa que invariablemente depositó su fe en mi ser, brindándome un modelo de trascendencia, modestia y entrega; sembrando en mi interior el aprecio por cada una de las dádivas que poseo. A todos ellos les agradezco porque me inspiraron el deseo de mejorar y triunfar en la vida, de manera que contribuyó a este logro; esperando contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Resumen

La investigación tuvo como objetivo determinar el grado de contaminación por partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀) y su relación con las enfermedades respiratorias en los pobladores del distrito de Talavera – Andahuaylas durante el 2023. El estudio fue de tipo básico, nivel descriptivo, diseño no experimental y enfoque cuantitativo, utilizando el método hipotético-deductivo. La variable independiente fue la concentración de material particulado en suspensión y la dependiente, las enfermedades respiratorias.

Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, dividiendo la población en tres sectores, con nueve puntos de monitoreo (tres por sector). Se empleó el detector de gas múltiple AEROQUAL S500, certificado para el monitoreo de PM_{2.5} y PM₁₀, junto con formatos de campo, encuestas y programas para el procesamiento de datos.

Los valores promedio de PM_{2.5} fueron: Av. 3 de octubre (29.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Jr. Ayacucho (25.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Jr. Mazuraccra (38.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Para PM₁₀: Av. 3 de octubre (96.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Jr. Ayacucho (88.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Jr. Mazuraccra (190.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos niveles mostraron una correlación significativa con las enfermedades respiratorias.

Según el Índice de Calidad del Aire (INCA), el PM_{2.5} se calificó como aire de mala a muy mala calidad, especialmente en Jr. Mazuraccra. Para el PM₁₀, se obtuvo aire de buena a moderada calidad. La investigación concluye que existe una relación directa entre la exposición a partículas en suspensión y el aumento de enfermedades respiratorias en la población.

Palabras claves: PM 2.5, PM10, INCA, ug/m3, detector de gases múltiples, vías pavimentadas y vía no pavimentada.

Abstract

The objective of this research was to determine the level of particulate matter pollution (PM_{2.5} and PM₁₀) and its relationship to respiratory illnesses among residents of the Talavera-Andahuaylas district during 2023. The study was basic, descriptive, with a non-experimental design and a quantitative approach, using the hypothetical-deductive method. The independent variable was the concentration of particulate matter, and the dependent variable was respiratory illnesses.

Non-probability convenience sampling was used, dividing the population into three sectors, with nine monitoring points (three per sector). The AEROQUAL S500 multi-gas detector, certified for PM_{2.5} and PM₁₀ monitoring, was used, along with field forms, surveys, and data processing software. The average PM_{2.5} values were: Av. 3 de Octubre (29.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Jr. Ayacucho (25.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and Jr. Mazuraccra (38.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). For PM₁₀: Av. 3 de Octubre (96.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Jr. Ayacucho (88.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and Jr. Mazuraccra (190.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). These levels showed a significant correlation with respiratory illnesses.

According to the Air Quality Index (INCA), PM_{2.5} air quality was rated as poor to very poor, especially in Jr. Mazuraccra. For PM₁₀, air quality was good to moderate. The research concludes that there is a direct relationship between exposure to suspended particles and the increase in respiratory illnesses in the population.

Keywords: PM 2.5, PM₁₀, INCA, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, multi-gas detector, paved roads and unpaved roads.

Índice

Portada.....	i
Acta de Sustentación Original	ii
Reporte de Similitud.....	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	vii
Índice de General.....	ix
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras	xii
Índice de Anexos	xiii
I. Introducción	14
II. Planteamiento del Problema.....	15
2.1. Descripción y formulación del problema	15
2.1.1. Problema General.....	17
2.1.2. Problema Específicos	18
2.2. Objetivos	18
2.2.1. Objetivo General	18
2.2.2. Objetivos Específicos	18
2.3. Justificación e importancia.....	19
2.4. Hipótesis.....	20
2.4.1. Hipótesis General.....	20
2.4.2. Hipótesis Específicas	20
2.5. Variables.....	21
III. Marco Teórico.....	22
3.1. Antecedentes	22
3.1.1. A nivel internacional.....	22
3.1.2. A nivel nacional.....	25
3.1.3. A nivel regional y local.....	28
3.2. Bases Teóricas	29
3.3. Definición de Términos.....	55
IV. Metodología	59
4.1. Tipo y nivel de investigación	59
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	60

4.3. Población y muestra	61
4.4. Instrumentos	63
4.5. Procedimientos	63
4.6. Análisis de Datos.....	65
4.7. Consideraciones Éticas.....	65
V. Resultados y Discusión	66
5.1. Resultados	66
5.1.2. Estadística Descriptiva.....	66
5.2. Discusión de Resultados.....	83
5.3. Prueba de Hipótesis	85
VI. Conclusiones	90
VII. Recomendaciones.....	92
VIII. Referencias.....	93
Web Grafía – Link Grafía.....	98
IX. Anexos	100

Índice de Tablas

Tabla 1 Matriz de Operacionalización de Variables	21
Tabla 2 Procesos que afectan la suspensión del material particulado	35
Tabla 3 Estándares de calidad del aire para el polvo sedimentable	45
Tabla 4 Estándares de calidad para el aire	49
Tabla 5 Monitoreo de polvo sedimentable	51
Tabla 6 Valores del índice de Calidad del Aire	53
Tabla 7 Cuidados y recomendaciones del índice del aire	53
Tabla 8 Cálculo del índice del aire para el PM10	55
Tabla 9 Cálculo del índice de calidad del aire para el PM2.5	55
Tabla 10 Sectorización de los puntos de muestreo	62
Tabla 11 Prueba de Comparación de media	66
Tabla 12 Análisis de varianza para PM10 (ug/m3) en 3 puntos de monitoreo	67
Tabla 13 Prueba de comparación de medias	69
Tabla 14 Análisis de varianza para PM2.5 (ug/m3) en 3 puntos de monitoreo	70
Tabla 15 Valores Obtenidos del monitoreo en campo de las partículas en suspensión PM10	71
Tabla 16 Valores del material particulado PM2.5	73
Tabla 17 Valor promedio mensual sobre el tránsito vehicular en los sectores de monitoreo	73
Tabla 18 Frecuencia de resultados a la pregunta 1 del cuestionario	74
Tabla 19 Frecuencia de resultados a la pregunta 2 del cuestionario	76
Tabla 20 Frecuencia de resultados a la pregunta 3 del cuestionario	77
Tabla 21 Frecuencia de resultados a la pregunta 4 del cuestionario	78
Tabla 22 Frecuencia de resultados a la pregunta 5 del cuestionario	79
Tabla 23 Frecuencia de resultados a la pregunta 6 del cuestionario	81
Tabla 24 Frecuencia de resultados a la pregunta 7 del cuestionario	82
Tabla 25 Rango de correlación del coeficiente de Rho de Spearman	85
Tabla 26 Prueba de Normalidad	86
Tabla 27 Correlación de material participado en suspensión PM2.5	87
Tabla 28 Correlación de material participado en suspensión PM10	88

Índice de Figuras

Figura 1 Crecimiento poblacional de acuerdo al INEI	17
Figura 2 Modelo de la cadena de la salud ambiental	30
Figura 3 Distribución típica de las partículas en la atmosfera donde se muestran las partículas finas y las gruesas	31
Figura 4 Distribución del número de partículas en función al diámetro	32
Figura 5 Tamaño de la distribución de partículas de acuerdo a la fuente de emisión	33
Figura 6 Distribución química del material particulado de acuerdo con el polvo de vías y suelo	34
Figura 7 Rutas y vías de exposición de los seres humanos a contaminantes en el ambiente.....	38
Figura 8 Gráfica de intervalos de PM10 VS Sectores	67
Figura 9 ICs simultáneos de 95% de Tukey	68
Figura 10 Gráfica de intervalos de PM2.5 VS Sectores	69
Figura 11 ICs simultáneos de 95% de Tukey	70
Figura 12 Promedio Mensual del Tránsito Vehicular en los Sectores de Monitoreo.....	74
Figura 13 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 1 del cuestionario	75
Figura 14 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 2 del cuestionario	76
Figura 15 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 3 del cuestionario.....	78
Figura 16 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 4 del cuestionario.....	79
Figura 17 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 5 del cuestionario.....	80
Figura 18 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 6 del cuestionario.....	81
Figura 19 Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta 7 del cuestionario.....	83

Índice de Anexos

Matriz de consistencia.....	100
Instrumento de recolección de información.....	101
Cuestionario	104
Juicio de expertos (Opcional)	110
Certificado de Calibración del equipo Detector de Gas Múltiple	113
Evidencias de los puntos de muestreo en los tres sectores de estudio	114
Evidencias de las encuestas realizada a la población cercana a los tres sectores de monitoreo	117
Consentimiento informado	120
Asentimiento informado.....	121

I. Introducción

A lo largo del tiempo, la calidad del aire ha experimentado un deterioro debido a diversas actividades, tales como la operación de industrias, la actividad minera, el aumento de tráfico vehicular y otras prácticas. Esta problemática ambiental plantea una amenaza para el bien y nuestro país no escapa a esta preocupante realidad, ya que se observa que en algunas ciudades la concentración de partículas en suspensión supera el índice de calidad del aire (INCA). El objetivo del estudio es proporcionar la información esencial sobre la contaminación del aire por el material particulado (PM 2.5 y PM 10) y su relación con las enfermedades respiratorias para la ciudad de Talavera, situada en la provincia de Andahuaylas, en la región de Apurímac, dado que carece de sistemas de monitoreo de la calidad del aire, lo que complica la gestión adecuada de esta problemática. El objetivo central que se planteó para este proyecto investigativo a falta de datos precisos y actualizados sobre la contaminación del aire en la zona, lo cual impide una planificación efectiva para mitigar los efectos adversos sobre la salud pública y el ambiente; fue ¿Cuál es el grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas distrito de Talavera – Andahuaylas 2023?

El trabajo se ha estructurado en nueve capítulos: El primer segmento alberga la introducción, mientras que el segundo revela la formulación del problema, objetivos, justificación, hipótesis y variables. El tercer segmento se halla constituido por los antecedentes, bases teóricas y definición de términos. El cuarto segmento se expone el tipo y nivel de investigación, ámbito temporal y espacial, población y muestra. En el quinto segmento se presentan resultados y discusiones. El sexto segmento contiene las conclusiones; en el séptimo se incluyen las recomendaciones, en el octavo se exhiben las fuentes bibliográficas y, finalmente, en el noveno segmento se hallan los anexos.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y Formulación del Problema

La contaminación atmosférica constituye un dilema que enfrentan numerosas urbes globales, siendo el contaminante primordial que perjudica nuestro orbe el conjunto de partículas microscópicas dispersas en el aire. Esta modalidad de polución continúa siendo un tema de estudio, asociándose con una variedad de afecciones respiratorias, tales como el asma, las reacciones alérgicas, la bronquitis y trastornos cardiovasculares. En la región latinoamericana, Perú ocupa el puesto número 21 entre las 50 naciones con los más graves niveles de deterioro atmosférico, debido a las micropartículas suspendidas resultantes de las actividades humanas. Las elevadas acumulaciones de sustancia particulada en áreas metropolitanas, originadas por el incremento del tránsito vehicular, la expansión urbana y la intensificación industrial, constituyen una amenaza significativa para el bienestar colectivo. Este contaminante demanda consideración debido a las fracciones PM10 y PM2.5, que corresponden a fragmentos con dimensiones inferiores o equivalentes a 10 y 2.5 micrómetros, respectivamente. Las fuentes primarias de material particulado abarcan la incineración de combustibles en los hogares, la circulación de vehículos, las actividades energéticas, la praxis agrícola y ciertas emanaciones naturales. (Sanchez & Aldaba, 2022).

En Perú, un país diverso y multicultural en vías de desarrollo, circulan aproximadamente 2 millones 600 mil vehículos. Este país enfrenta una alta contaminación atmosférica por partículas suspendidas, las cuales se originan principalmente por actividades humanas, como la quema de combustible fósiles, las emisiones de cementeras y ladrilleras, y el polvo de calles no pavimentadas, entre otras. Las partículas de material particulado, tanto de fuentes móviles como fijas, tienen un impacto negativo en la salud, afectando principalmente el sistema respiratorio y cardiovascular (Vásquez, 2020).

De acuerdo al INEA se identificaron 31 zonas de atención prioritarias afectados por elemento (PM2.5 y PM10) a nivel nacional, teniendo un total de 59.02% de población atendida según el censo 2007, y una población estimada de 58.12% para el 2015. (INEA, 2024).

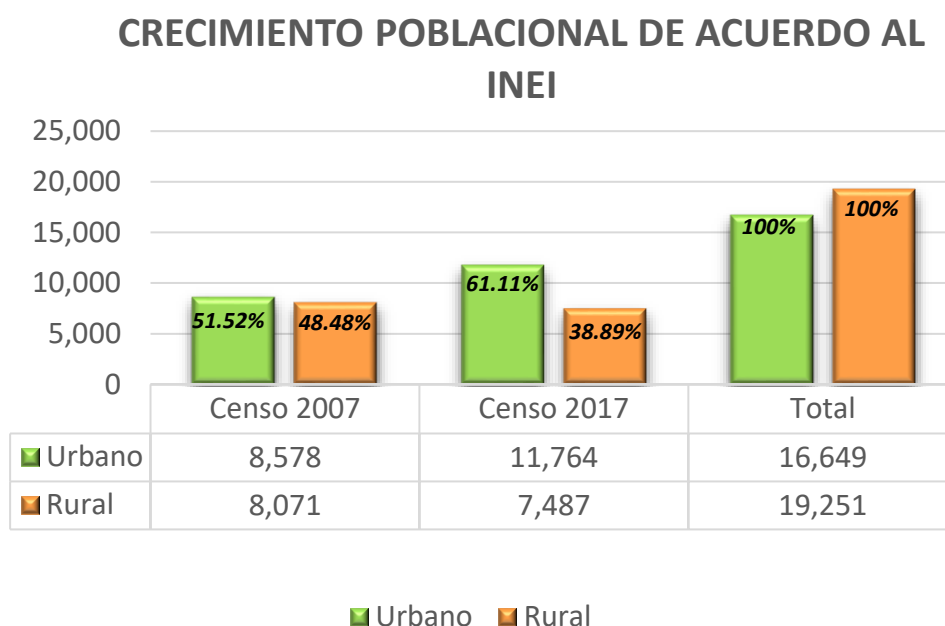
De acuerdo a la cruz roja la provincia de Andahuaylas cuenta con una calidad del aire de PM2.5, el cual presenta una concentración de 2.5 veces superior al valor referencial anual de PM2.5 de la OMS.

Actualmente el distrito de Talavera es una ciudad donde el crecimiento poblacional y el tráfico vehicular es intenso, lo que favorece la elevación de partículas en zonas desprovistas de asfaltos, constituyendo esta una de las fuentes primordiales de dispersión del material particulado. Además, las actividades de construcción, junto con factores meteorológicos como las precipitaciones, la velocidad y la dirección del viento, agravan este problema.

De acuerdo al censo del 2007 el distrito de Talavera conto con 16,649 habitantes y en el censo 2017 se tuvo un total de 19,251 habitantes, teniendo un crecimiento poblacional de 2,602 habitantes.

Figura 1

Crecimiento poblacional de acuerdo al INEI



Nota. La figura muestra el crecimiento poblacional del distrito de Talavera 2007 – 2017 de acuerdo al INEI, extraído de (elaboración propia, 2024).

Se estima que existe un parque automotor, que cuenta con un promedio de 250 vehículos automotores de transporte público y de uso privado, que transitan por las calles de la ciudad de Talavera diariamente (PDC, 2019).

Dichos factores alteran la calidad del aire, lo que representa un riesgo significativo para la salud, ya que el material particulado se acumula en las fosas nasales y los pulmones; provocando enfermedades respiratorias agudas (Fauci & Braunwald, 2008).

2.1.1. Problema General

- ¿Cuál es el grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023?

2.1.2. Problema Específicos

- ¿Cuáles son las fuentes de emisión para la contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023?
- ¿Cuál es el nivel de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) que sobrepasan los valores precisados por el INCA y su relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023?
- ¿Cómo influye el nivel de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) con relación a las enfermedades respiratorias de la vía alta o baja de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Determinar el grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 Y PM10) y su relación con enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar las fuentes de emisión para la contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y su relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.
- Determinar el grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) y comparar los valores precisados por el INCA y su relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.

- Determinar el nivel de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) con relación a las enfermedades respiratorias de la vía alta o baja de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.

2.3. Justificación e Importancia

Conveniencia de la investigación: Investigación precisa el fin de aportar, desde un enfoque académico y significativo, al estudio de los problemas ambientales en el distrito de Talavera, particularmente en lo referente a la calidad del aire y la contaminación por material particulado y su impacto en la salud de los habitantes.

Valor social de la investigación: Resulta crucial identificar las repercusiones adversas de la contaminación atmosférica sobre el bienestar de los habitantes del distrito de Talavera, particularmente en relación con la ausencia de vías pavimentadas, dando que estos favorecen la producción de sustancias microscópicas.

Implicancias prácticas de la investigación: La investigación servirá como evidencia frente a una posible contaminación atmosférica y proporcionará antecedentes valiosos para futuras investigaciones sobre la calidad del aire en el distrito de Talavera, en la provincia de Andahuaylas.

Valor teórico de la investigación: La situación de salud de la población, considerando el riesgo de infecciones en las vías respiratorias altas y bajas, las cuales simboliza un elemento de peligro considerable para trastornos tales como la patología pulmonar restrictiva persistente y el carcinoma broncopulmonar.

Implicancia ambiental: Permite identificar los niveles de concentración de PM2.5 y PM10 en distintas áreas, lo que ayuda a evaluar la calidad del aire y su impacto en la salud humana y el medio ambiente. Ayudando a entender la relación entre la exposición a estas partículas y problemas respiratorios, cardiovasculares y otras enfermedades en la población.

El presente trabajo de investigación proporcionará evidencia para la implementación

de estrategias de mitigación, como zonas de bajas emisiones o restricciones a fuentes contaminantes, el cual impulsa la adopción de fuentes de energía más limpias y tecnologías de transportes menos contaminantes; por ello, generará información clave para campañas de sensibilización sobre los efectos de la contaminación del aire y las acciones que la población puede tomar para reducir su exposición.

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis General*

- El grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 Y PM10) excede los valores precisados por el INCA e influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito del Talavera – Andahuaylas 2023.

2.4.2. *Hipótesis Específicas*

- Las fuentes de emisión para la contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) tienen influencia en relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.
- El análisis del grado de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) supera los valores precisados por el INCA y su relación con las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.
- El nivel de contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 y PM10) influye en las enfermedades respiratorias de la vía alta o baja de los pobladores en vías urbanas del distrito de Talavera – Andahuaylas 2023.

2.5. Variables

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variabes / Indicadores	Conceptualización	Dimensiones (Sub Variables)	Indicadores
<p>Variable independiente</p> <p>Contaminación por partículas en suspensión (PM2.5 Y PM10)</p>	<p>Pequeños elementos menor de 10µm, que se asientan debido a su propio peso, pero que también pueden permanecer suspendidas en el aire durante cierto tiempo.</p>	<p>Fuentes de emisión</p> <p>Concentración de material particulado de acuerdo al índice de calidad del aire (INCA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • N° de vehículos mayores. • N° de vehículos menores. <p>PM10 µg/m³</p> <p>PM2.5 µg/m³</p>
<p>Variable dependiente</p> <p>Relación con las enfermedades respiratorias</p>	<p>Agrupar los resultados de fases anteriores al estudio de peligros con el propósito de calcular la posibilidad de que surjan repercusiones perjudiciales sobre los elementos resguardados bajo circunstancias específicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Infecciones de vías altas. • Infecciones de vías bajas. 	<p>% Resfriado común</p> <p>% Amigdalitis</p> <p>% Laringitis</p> <p>% Faringitis</p> <p>% Traqueatitis</p> <p>% Bronquitis aguda</p> <p>% Bronquiolitis</p> <p>% Neumonía</p>

Nota. Extraído de (elaboración propia, 2024)

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

- Según Buffone y Romano (2023), en su investigación titulada “Consultas por enfermedades respiratorias agudas en la población pediátrica y su relación con el material particulado atmosférico en Bahía Blanca”, su propósito fue describir las características de las consultas por enfermedades respiratorias agudas en niños menores de 15 años, analizar los niveles de partículas PM en el aire y examinar la relación entre ambas variables en un área de Bahía Blanca, durante el período comprendido entre abril de 2019 y marzo de 2020. Para ello, se realizó un estudio ecológico basado en series temporales y grupos múltiples, con un análisis descriptivo de las consultas según área, diagnóstico y nivel de PM. Además, se empleó un modelo de correlación y regresión lineal generalizada utilizando el software SPSS para evaluar la relación entre variables, obteniendo un total de 4787 consultas de las cuales el 38,6% correspondieron a rinitis y el 21,1% a broncoespasmo. Los niveles de PM₁₀ excedieron el límite en el 31% observando un aumento del 10% en los niveles de PM_{2,5} se asoció con un incremento del 1,3% en las consultas, alcanzando un 2,1% en las áreas más cercanas al sector industrial ($p < 0,05$). En dicha zona, también se encontró que un aumento del 10% en el PM₁₀ se relacionó una relación positiva entre las consultas por enfermedades respiratorias agudas y los niveles de PM en el aire, especialmente con el PM_{2,5} y en las áreas cercanas a zonas industriales.
- Según Mendoza et al. (2022), en su trabajo de investigación “Evaluación temporal del material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ en el Distrito Metropolitano de Quito – Ecuador”; el propósito de este estudio fue analizar la concentración de material

participado PM2.5 y PM10 considerando su variación a lo largo del tiempo, tanto a nivel horario, mensual, estacional como anual. Además, se examinó su relación con distintas variables meteorológicas en el distrito Metropolitano de Quito, Ecuador, durante el período comprendido entre 2013 y 2020. Para ello, se llevó a cabo la recopilación de datos desde una base de datos junto con información meteorológica proveniente de dos estaciones de monitoreo, Belisario y Carapungo, posteriormente se realizaron análisis exploratorios y correlaciones simples a partir de un total de 65,718 registros de PM2.5 en Belisario, 66,191 registros de PM2.5 y 61,152 registros de PM10 en Carapungo. Los resultados revelaron que la estación de Carapungo presenta una mayor concentración de material particulado en comparación con Belisario. Para el PM2.5/PM10 mantienen una relación significativa con factores como la temperatura, la humedad relativa, la dirección del viento y la precipitación; sin embargo, esta correlación varía entre ambas estaciones. En conclusión, aunque las condiciones climáticas influyen en las concentraciones de PM2.5 y PM10, los resultados sugieren que la principal causa de la variabilidad en la zona evaluada radica en su particular topografía, caracterizada por la presencia de bosques, volcanes y montañas.

- Según Lizalde y Merino (2021), en su investigación “Determinación y caracterización del material particulado sedimentable generado por actividades antrópicas en el perímetro urbano del cantón Chambo”; el objetivo de este estudio fue determinar la concentración de material particulado sedimentable generado por actividades humanas en el área urbana del cantón Chambo, para ello se llevó a cabo la identificación y georreferenciación de las principales actividades antrópicas. Además, se recolectaron muestras de material particulado sedimentable mediante el método gravimétrico pasivo estableciendo 22 estaciones de medición distribuidas

aleatoriamente en el área de estudio, manteniendo una separación de 200 metros entre ellas. Dicho monitoreo tuvo una duración de un mes, específicamente entre el 22 de septiembre y el 22 de octubre. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en los laboratorios de servicios ambientales de la Unach, donde se cuantificó el material particulado total y se caracterizó su fracción soluble, insoluble, la morfología y algunas propiedades químicas del material recolectado. Sin embargo, los resultados indicaron la ausencia de estos iones, cumpliendo así con la normativa vigente. En cuanto a los niveles de material particulado, los resultados mostraron que todas las muestras se encontraban dentro de los límites establecidos por el acuerdo ministerial 097-A, el cual fija un valor máximo de $1\text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. No obstante, las muestras 2 y 3 presentaron valores de $0.57\text{ mg/cm}^2/\text{mes}$, superando el límite recomendada por la OMS, que es de $0.5\text{ mg/cm}^2/\text{mes}$. Finalmente se elaboró un mapa de dispersión y concentración del material particulado sedimentable.

- Según Mora (2023), en su trabajo de investigación “Análisis de la calidad del aire (PM10) influenciada por la obra civil en la parroquia Tarqui”, tuvo el objetivo de evaluar la calidad del aire en la parroquia Tarqui, específicamente en relación con las concentraciones de material particulado PM10, considerando la influencia de una obra civil en la zona. Para ello, se analizaron los informes ambientales de cumplimiento de la empresa constructora consorcio sector B, los cuales registran monitoreos mensuales desde mayo de 2021 hasta abril de 2022. Posteriormente se llevó a cabo un seguimiento ambiental en los mismos 12 puntos de monitoreo, obteniendo una concentración máxima promedio de 13.25 ug/m^3 y una mínima de 2.99 ug/m^3 . Estos valores fueron comparados con los límites máximos establecidos en el anexo 4 del acuerdo ministerial 097-A, que fija un umbral de 100 ug/m^3 . Como resultado, se determinó que todas las estaciones de monitoreo cumplen con la

normativa con la normativa ambiental vigente. A pesar de ello, se recomienda la implementación de medidas de mitigación en futuros proyectos similares. Entre estas estrategias se incluyen el rociado de agua con camión cisterna, el uso de combustible ecológicos, la utilización de equipos de protección personal (EPP) para PM10, la señalización en zonas con mayor generación de material particulado y la realización de monitoreo con mayor frecuencia.

3.1.2. A nivel nacional

- Según Sánchez y Aldaba (2022) en su trabajo de investigación “Influencia de características antrópicas de tres zonas de la provincia de coronel portillo en la concentración de material particulado PM10 y PM2.5”, el objetivo fue identificar las actividades humanas que inciden en los niveles de material particulado PM10 y PM2.5 en tres zonas distintas de la provincia de Coronel Portillo. Para ello, se seleccionaron áreas con características diversas: La plaza de Pucallpa, el kilómetro 10 de la carretera Federica Basadre (CFB km10) y la carretera Santa Rosa. Los resultados evidenciaron una correlación altamente significativa entre las concentraciones de PM10 y PM2.5, siendo el tránsito vehicular el principal factor influyente en la plaza de Pucallpa. Por otro lado, en el CFB km 10 se identificó una correlación significativa para PM10 y una correlación altamente significativa para PM2.5, ambas asociadas a actividades antrópicas propias de la zona. En el caso de la carretera Santa Rosa se observó una correlación moderada entre ambos contaminantes, relacionada con el tráfico vehicular del área. Además, se evaluó el impacto de la vegetación sobre las concentraciones de PM10 y PM2.5, especialmente durante las horas pico, cuando el flujo vehicular es más intenso. En cuanto a los valores medidos, las concentraciones de PM10 en las tres áreas fueron de 126.99 ug/m³, 220.08 ug/m³ y 136.79 ug/m³, respectivamente. Es importante destacar que

estos valores superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el aire, lo que sugiere la necesidad de medidas de mitigación en las zonas evaluadas.

- Según Sandoval (2020), en su trabajo de investigación “Influencia de la contaminación del aire por material particulado de las fábricas de yeso en la salud de los pobladores del distrito de Mórrope”, el objetivo de esta investigación fue analizar cómo la contaminación del aire, generada por las emisiones de material particulado de una fábrica de yeso, en la salud de los habitantes del distrito de Morrope. Para ello, se llevó a cabo un estudio aplicado y descriptivo, utilizando una muestra de 150 residentes fue la salud de los residentes, mientras que la contaminación del aire por material particulado se consideró como la variable independiente. Con el fin de recopilar información, se aplicó una encuesta y se realizaron mediciones de material particulado en el aire. Los resultados indicaron que el 86.7% de los habitantes cercanos a la fábrica no dispone de una buena calidad del aire, mientras que el 61.3% ha experimentado síntomas como irritación de garganta y tos. Asimismo, se encontró que, durante los periódicos en los que la fábrica no opera, las concentraciones de material particulado fueron de 74.66 ug/m³ para PM 10 y 15.30 ug/m³ para PM2.5. Sin embargo, cuando la fábrica se encuentra en funcionamiento, los niveles de material particulado aumentan en un 50% en ambas fracciones, alcanzando valores de 111.99 ug/m³ para PM10 y 22.95 ug/m³ para PM2.5. Estos hallazgos evidencian una relación directa entre la actividad industrial y la calidad del aire en la zona, lo que sugiere la necesidad de implementar medidas de mitigación para reducir los efectos negativos en la salud de la población.
- Según Vásquez (2020) en su investigación titulada “Determinación de la concentración de partículas en suspensión PM10 en maderera y molinera del distrito de la Banda de Shiclayo”, el objetivo de esta investigación fue determinar la

concentración de partículas suspendidas PM10 en las industrias madereras y molineras del distrito de La Banda de Shiclayo. Para ello, se tomó como muestra dos industrias: una molinera dedicada al pilado de arroz y una maderera. Para la recopilación de datos, se empleó un equipo de medición de PM10 y se realizó trabajo de campo con el fin de obtener información relevante. Como resultado, se observó que la industria molinera generó una emisión total de 271.13 mg/m³ durante un periodo de monitoreo de 12 horas, mientras que la industria maderera emitió 133.80 mg/m³ en el mismo intervalo de tiempo. En conclusión, se determinó que ambas industrias generan una alta concentración de partícula suspendidas en el aire, lo que representa un riesgo significativo para la salud de los trabajadores expuestos a estas condiciones.

- Según Sánchez (2019), en su trabajo de investigación “Concentración del polvo atmosférico sedimentable y su efecto en la salud de los habitantes de la ciudad de amarilis”, tuvo como objetivo monitorear el polvo atmosférico sedimentable y evaluar su impacto en la salud de la población de la ciudad de Amarilis. Para ello, se emplearon encuestas para recopilar información, la cual fue analizada mediante una tabla cruzada con el fin de establecer relaciones significativas. El monitoreo se llevó a cabo a través de la instalación de 20 estaciones en puntos estratégicos de amarilis, seleccionados debido a la alta presencia de polvo registrada a lo largo del tiempo. Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis de que la concentración de polvo sedimentable influye negativamente en la salud de los habitantes de Amarilis – Huanuco. En este sentido, los valores promedio registrados fueron de 0.750 mg/cm²/mes de julio 0.643 mg/cm²/mes en agosto 0.577 mg/cm²/ mes en septiembre. Asimismo, a partir de las encuestas aplicadas a la población, se determinó que el 35% de los encuestados presenta alguna enfermedad asociada a la

exposición al polvo atmosférico sedimentable. Este hallazgo fue validado mediante la prueba de chi cuadrado de Pearson, con un nivel de significancia del 5% y una probabilidad de error de 0.00%. Finalmente, se evidencio que las concentraciones de polvo en las tres zonas monitoreadas superan los límites máximos permisibles establecidos por la organización mundial de la salud, lo que resalta la necesidad de implementar medidas para mitigar sus efectos en la salud pública.

- Según Castro (2019) en su investigación “Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del centro poblado de Paragsha”; el objetivo fue evaluar las concentraciones del aire causada por el polvo atmosférico sedimentable, empleando el método de placas receptoras durante los meses de marzo, abril y mayo. Para ello, se buscó medir la concentración de este tipo de polvo en el aire mediante un muestreo pasivo, aplicado en 15 puntos estratégicamente seleccionados. La metodología consistió en la colocación de placas petri con valina como agente adherente en el segundo nivel de viviendas, donde permanecieron expuestas durante un periodo de 30 días en cada uno de los tres meses de estudio. La selección de las estaciones de monitoreo se realizó definir tres zonas de muestreo. Los resultados obtenidos indicaron que el valor promedio de polvo atmosférico sedimentable fue de 0.49 mg/cm² por mes, cifra que se encuentra dentro del límite máximo permisible de 0.50 mg/cm² por mes establecido por la organización mundial de la salud.

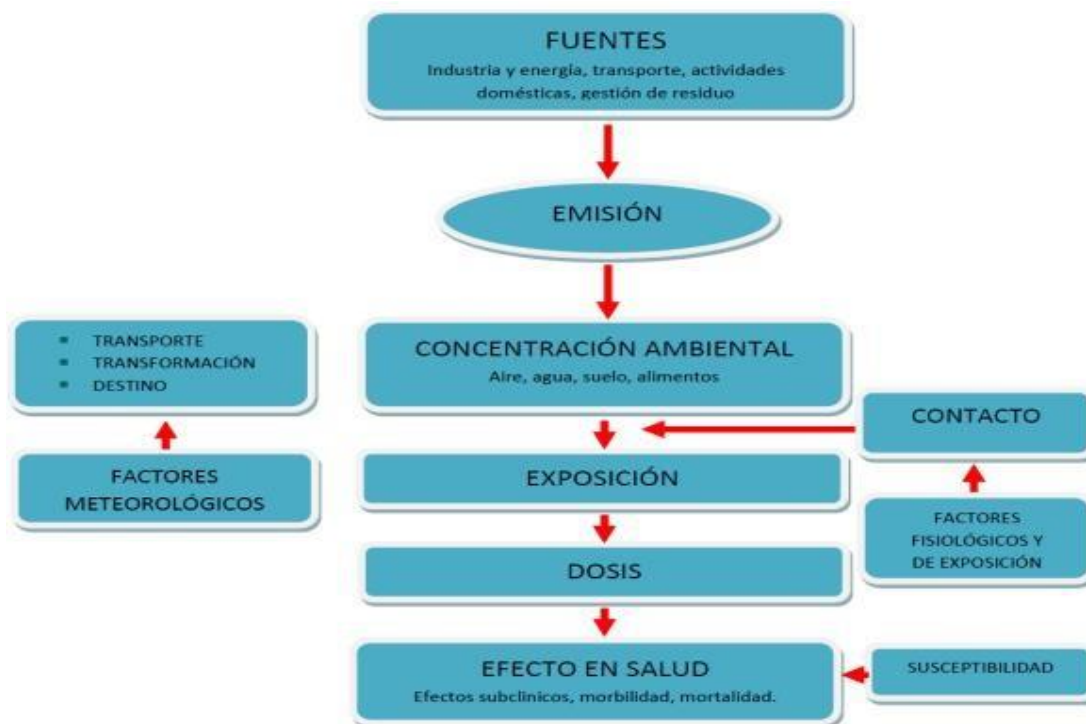
3.1.3. A nivel regional y local

- Según el SINIA (2019) en su informe situacional de la calidad del aire por la contaminación por material particulado por el deslizamiento del cerro Chamanayoc, informa que la dirección ejecutiva de salud ambiental, en respuesta a la contaminación del aire proveniente del deslizamiento del cerro Chamanayoc y la

OEFA se instaló el muestreador de material particulado PM10 y el equipo muestreador de material particulado PM2.5; para el monitoreo de la calidad del aire se ha determinado 06 puntos de monitoreo, las cuéculas fueron elegidas estratégicamente, para que los resultados obtenidos sean representativos a toda la ciudad y zonas afectadas, el monitoreo de la calidad de aire se realizó durante 02 días en cada punto, y un día en el centro poblado de Llacabamba, más de diez días consecutivos, en el punto 02 (ESSALUD), con el objetivo de observar el comportamiento de los niveles de PM10 y PM2.5; dichos resultados superaron los estándares de calidad ambiental para aire (ECA aire D.S. N° 003-2017-MINAM) para el caso de PM10, el valor estándar por 24 horas diario es de 100 ug/m³, cuyo resultado superó en 62.20 ug/m³ y para el caso del PM2.5 es de 50 ug/m³, superando en 24.28 ug/m³; dichos resultados fueron indicadores de contaminación del aire motivo por el cual se tomó medidas preventivas para el cuidado de la salud. Para el índice de calidad de aire INCA para PM10 y PM2.5, la mayor cantidad de resultados obtenidos se encontraron dentro del intervalo 102 – 134 ug/m³, para lo cual su calificación fue MODERADA, en ese sentido según la misma norma establece cuidados y recomendaciones para el cuidado de la salud.

3.2. Bases Teóricas

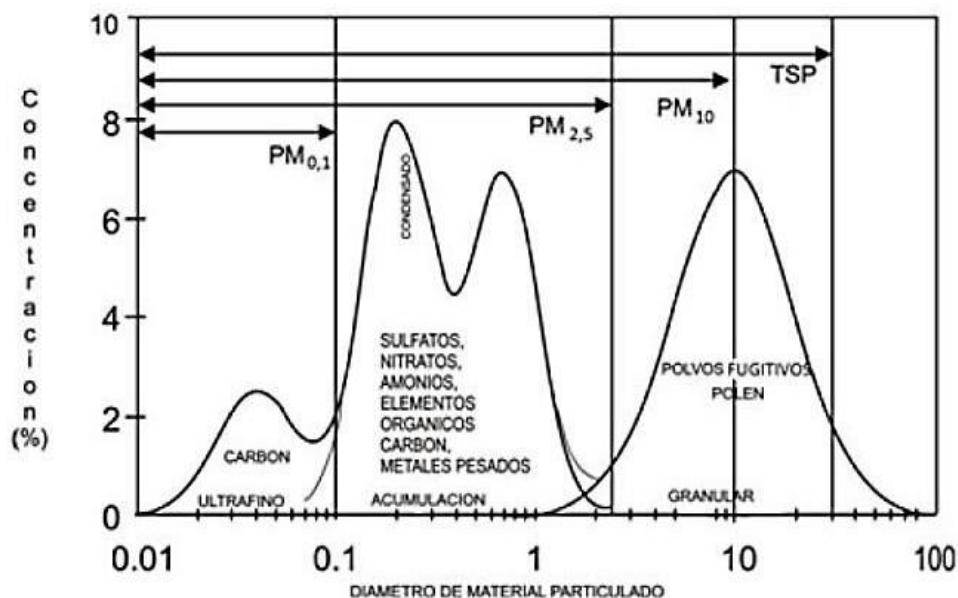
El marco teórico que sustenta esta investigación se basa en el modelo de la cadena de la salud ambiental, desarrollado por Briggs y colaboradores en 1996 y posteriormente adaptado por la Organización Mundial de la Salud (Pope & Dockery, 2006). Este modelo integra diversos componentes, como el contaminante, la exposición y los efectos en la salud, lo que permite comprender la relación entre el material particulado PM2.5 y PM10 y su impacto en la aparición de enfermedades respiratorias, especialmente en niños y adultos mayores.

Figura 2*Modelo de la cadena de la salud ambiental**Nota:* Extraído de (Pope & Dockey, 2006)

El material particulado se define como una combinación de partículas sólidas y líquidas que son liberadas directamente al ambiente. Entre sus principales fuentes se encuentran el hollín proveniente de motores diésel, el polvo generado por las vías, las actividades agrícolas y los procesos industriales (Fang et al., 2003). Además, estas partículas en suspensión contienen una compleja mezcla de sustancias químicas y elementos biológicos. Entre ellos se pueden mencionar los metales, las sales, los materiales carbonosos, así como los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) y las endotoxinas. Asimismo, dichas sustancias pueden interactuar entre sí, dando lugar a la formación de nuevos compuestos (Billet et al., 2007).

Figura 3

Distribución típica de las partículas en la atmosfera donde se muestran las partículas finas y las gruesas



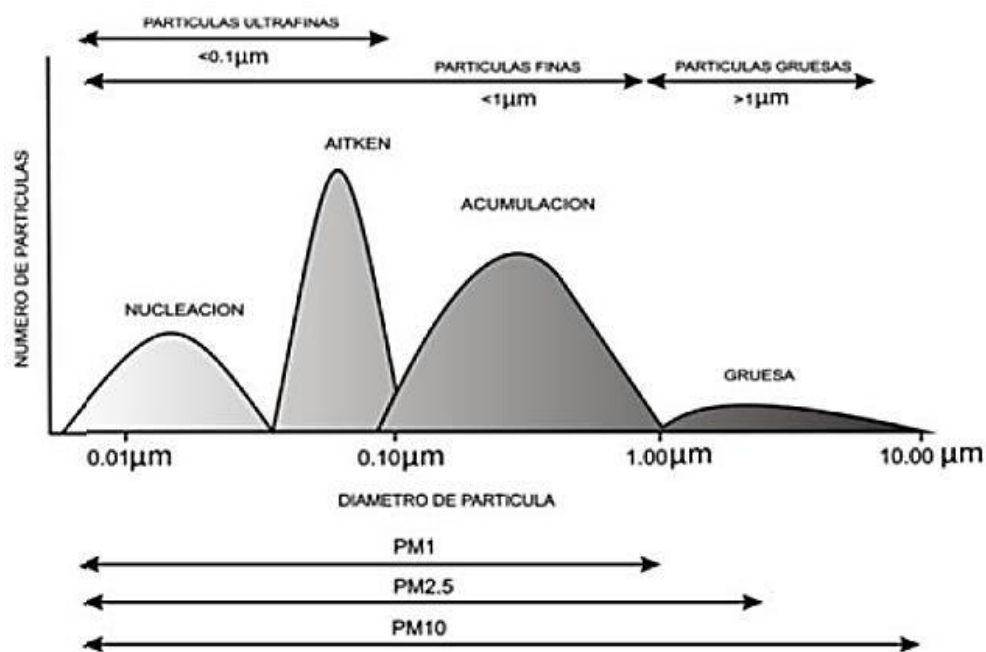
Nota: Extraído de (Billet, et al., 2007)

Dado que las partículas varían en tamaño, forma y composición, su clasificación se basa en el diámetro aerodinámico. Este concepto hace referencia al diámetro de una esfera homogénea con densidad unitaria que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula analizada, lo cual depende tanto de su forma como de su densidad; a partir de esta clasificación, las partículas pueden dividirse en finas y gruesas (García, 2002), como se ilustra en la figura 3.

Además, algunos investigadores han señalado que el diámetro de las partículas suspendidas en el aire puede oscilar entre unos pocos nanómetros (nm) y varias decenas de micras (µm). En este contexto, es común distinguir diferentes rangos de tamaño, conocidos como “modas”, los cuales están estrechamente relacionados con el mecanismo de formación de las partículas. Entre estos se encuentran la nucleación Aitken, acumulación y la moda gruesa (Viana, 2003), como se representa en la figura 4.

Figura 4

Distribución del número de partículas en función al diámetro

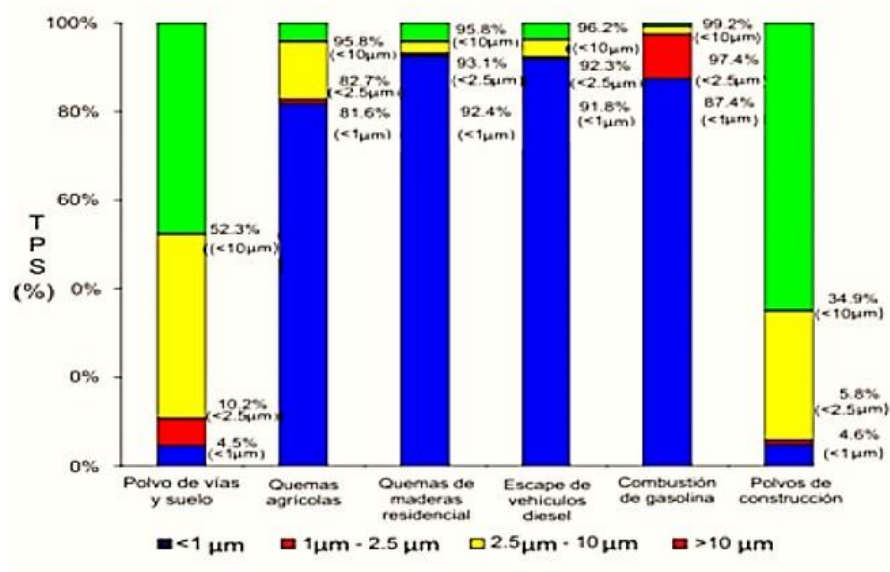


Nota: Extraído de (García, 2002)

El tamaño y la composición de estas partículas pueden verse alterados por diversos procesos, entre los que se incluyen la condensación de vapor, la evaporación y la coagulación provocada por colisiones generadas por el movimiento browniano o eléctricas también influyen en su transformación (Fang et al. 2006). Por otro lado, el material particulado posee una amplia variedad de propiedades morfológicas, química, físicas y termodinámicas (EPA, 2004). Asimismo, se libera en la atmosfera a través de múltiples fuentes, tanto de origen natural como antropogénico, tal como se muestra en la figura 5. En lo que respecta a las fuentes naturales, destacan las emisiones volcánicas y las partículas transportadas por el viento, entre ellas el aerosol marino. En contraste, dentro de las fuentes de origen humano, se encuentran las emisiones de gases de escape y las partículas generadas por los buques de navegación marítima (Artiñano et al., 2003).

Figura 5

Tamaño de la distribución de partículas de acuerdo a la fuente de emisión

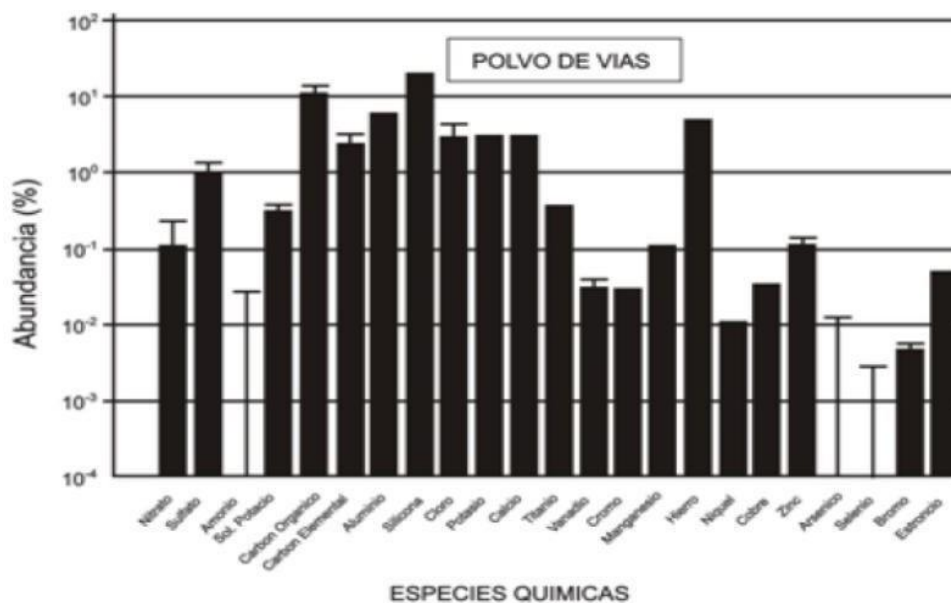


Nota: Extraído de (Artiñano, et al., 2003)

Del mismo modo, múltiples investigaciones han indicado que las emanaciones de contaminantes provenientes del parque vehicular constituyen uno de los factores primordiales en el menoscabo de la calidad atmosférica, afectando la configuración química del firmamento tanto a escala local como regional. La eliminación de los corpúsculos en suspensión presentes en la atmósfera se lleva a cabo mediante variados mecanismos, como la deposición química y las características termodinámicas inherentes a las partículas. Dicho material particulado está vinculado con compuestos que exhiben actividades genotóxicas, mutagénicas o carcinogénicas de reconocida notoriedad. (García & Carreras, 2008).

Figura 6

Distribución química del material particulado de acuerdo con el polvo de vías y suelo



Nota: Extraído de (Gao, et al., 2002)

La entidad de Custodia Medioambiental de Hong Kong (HKEPD) señala a las emanaciones provenientes de automotores diésel como el origen preponderante de las elevadas concentraciones de material particulado (PM) en zonas urbanas. (Ho, et al., 2003). Entre los elementos principales generados por la quema de combustibles fósiles, la transformación de metales y la incineración de residuos se encuentran el Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, V, Sb (Gao, et al., 2002), como se muestra en la figura 6. Los diversos componentes del material particulado en el aire pueden estar vinculados a material mineral, aerosol marino, compuestos de azufre, nitrógeno y carbono (Viana, 2003). La identificación de la composición química del material particulado es crucial, no solo para la química de la atmósfera, sino también para evaluar la calidad del aire en entornos urbanos. Varias propiedades de estas partículas incluyen considerablemente en su comportamiento en el aire y en sus impactos ambientales y en la salud, como se detalla en el cuadro 1 (Gao, et al., 2002).

Tabla 2*Procesos que afectan la suspensión del material particulado*

Propiedad	Características
Superficie	<p>La mayor parte de los suelos son reservorios limitados, el polvo suspendible disminuye después de un corto tiempo en ausencia directa de la abrasión. Esta disminución es representada como un exponencial negativo, o una función inversa de tiempo. La disminución de las partículas finas resulta en la exposición de las partículas no erodables que forman un escudo contra la suspensión por la acción del viento. Cuando las superficies son continuamente afectadas por vientos muy intensos, por movimiento vehicular y por otras actividades humanas se crea un reservorio ilimitado que emite partículas de polvo.</p>
Tamaño	<p>La repartición dimensional de los corpúsculos incide en los procesos de suspensión. Una lámina uniforme de partículas con diámetros inferiores a 20 μm presenta una resistencia considerable a ser levantada por las corrientes eólicas.</p>
Humedad	<p>El líquido que se adhiere a los corpúsculos del suelo incrementa su masa y las fuerzas de cohesión superficial, lo que disminuye su capacidad de suspensión y traslado en la atmósfera. Cuando la humedad resulta excesiva, el polvo tiende a adherirse a las ruedas de los vehículos, siendo desplazado fuera de las áreas de emisión. Dicho polvo, una vez asentado sobre el pavimento, puede reincorporarse al aire al activarse un nuevo punto de emisión.</p>

Densidad La rapidez de un corpúsculo, en reacción a fuerzas gravitacionales o inerciales, aumenta en proporción directa a la raíz cuadrada de su densidad.

Nota: (Ho, et al., 2003)

Los arquetipos de polución atmosférica resultan imprescindibles en el ámbito científico debido a su aptitud para desentrañar procesos medulares y su utilidad pragmática en la administración ecológica. Representan el único recurso capaz de mensurar la interrelación entre emanaciones y concentración-deposición, además de analizar las repercusiones de panoramas venideros y de las tácticas de atenuación. Tales arquetipos han sido empleados para calcular el influjo de exhalaciones volcánicas y en distintos esquemas productivos. (Berglund, C-G, & L., 2001).

3.2.1. Concentración Ambiental de los Contaminantes

La densidad de un contaminante en el entorno alude a su existencia dentro de un medio particular de desplazamiento (por ejemplo, PM10 en la atmósfera), representada de forma cuantitativa (como $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta concentración ambiental puede ser influenciada por el traslado del contaminante, su transmutación y su destino último en el ecosistema circundante. (Berglund, C-G, & L., 2001).

3.2.2. Transporte, Transformación y Destino

El paradero y la diseminación de los contaminantes están supeditados a una mirada de elementos, incluidas sus características físicas y químicas, así como factores ambientales tales como las condiciones meteorológicas y la coexistencia de otros agentes contaminantes. En lo que respecta al PM10, dichos procesos pueden verse modulados por su interacción con gases como SO_2 , NO_3 , CO , O_3 , entre otros (Pope & Dockery, 2006).

Los contaminantes se trasladan a distintas escalas espaciales y a través de diversos

medios durante períodos variables de tiempo. Pueden desplazarse por la atmósfera a través de las corrientes aéreas y asentarse en otros entornos mediante deposición húmeda (a través de precipitaciones) o seca (como partículas). Estos contaminantes pueden sedimentarse en la superficie del suelo y, posteriormente, reincorporarse a la atmósfera debido a la resuspensión de partículas terrestres o a su absorción por la vegetación. (Pope & Dockey, 2006).

Los agentes contaminantes también pueden someterse a mecanismos de transmutación o descomposición. La transmutación conlleva una alteración en su configuración molecular, mientras que la descomposición implica la disgregación de dichos contaminantes mediante la pérdida de grupos químicos específicos o su fragmentación en unidades más simples. Entre los fenómenos implicados en la transmutación y descomposición destacan la oxidación, la hidrólisis y la fotólisis. Variables ambientales, tales como la temperatura, la humedad, la concentración de oxígeno y la coexistencia de otros contaminantes, pueden ejercer una influencia significativa en estos procesos (Berglund, C-G, & L., 2001).

3.2.3. Exposición y Contacto de los Seres Humanos a Contaminantes Atmosféricos

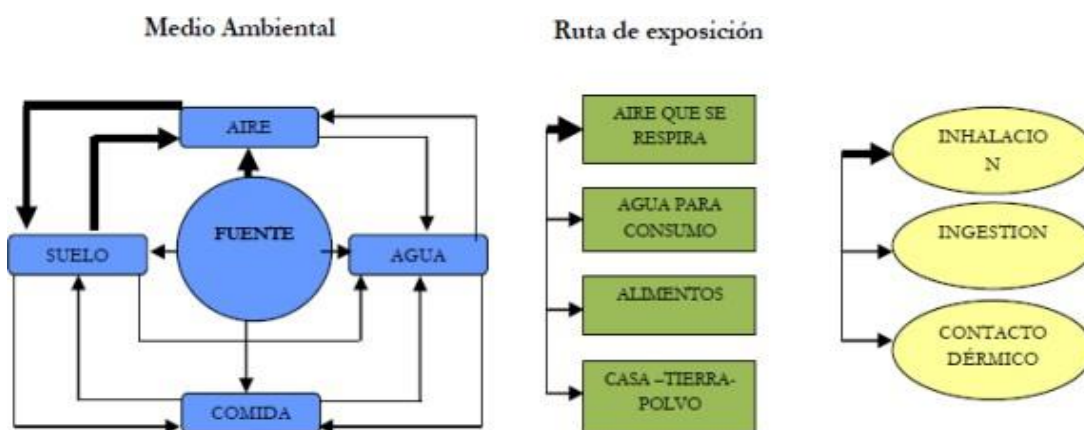
La OMS define la exposición como la interacción de un individuo con un elemento químico, físico o biológico mediante el éter atmosférico, la ingesta alimentaria, el líquido hídrico, el suelo terráqueo, el residuo particulado o diversos artefactos. En tal sentido, para que se determine que un sujeto ha sufrido una exposición a un agente contaminante, debe existir interacción directa entre la entidad humana y el elemento activo, ya sea a través del proceso inhalatorio, la dermis cutánea o el tracto gastrointestinal, lo cual puede provocar repercusiones fisiológicas. (Pope & Dockey, 2006).

3.2.4. Rutas y Vías de Exposición

Al analizar la interacción humana con contaminantes ambientales, resulta imperativo considerar las trayectorias y mecanismos mediante los cuales se materializa dicha exposición. La trayectoria de exposición alude al itinerario físico que recorre un agente contaminante desde su origen hasta impregnar al organismo receptor, valiéndose de vehículos como el éter atmosférico, el fluido acuático o la tierra firme. Por su parte, la vía de exposición denota el procedimiento específico mediante el cual el contaminante se infiltra en el sistema biológico, alcanzando un órgano particular, ya sea por absorción inhalatoria, incorporación digestiva o interacción cutánea. En el contexto del Material Particulado (PM), los agentes contaminantes son liberados en la atmósfera y pueden depositarse sobre el sustrato terrestre, por lo que el aire representa su principal itinerario de exposición, mientras que la inhalación constituye la vía predominante de penetración. (Aldunat, 2005).

Figura 7

Rutas y vías de exposición de los seres humanos a contaminantes en el ambiente



Nota: Extraído de (Sanhueza, 2006).

La aspiración aérea constituye un mecanismo ágil y directo de introducción de compuestos nocivos, debido a que estos son asimilados con facilidad a través del aparato respiratorio. Diversos elementos determinantes inciden en el proceso inhalatorio de toxinas, tales como la densidad del contaminante, la capacidad de disolución de la sustancia en el

fluido hemático y los tejidos biológicos, la cadencia respiratoria, la duración del contacto, el estado fisiológico del sistema pulmonar y la dimensión particulada de los elementos suspendidos. (Sanhueza, 2006).

3.2.5. Tipos de Contaminantes

La Agencia de Custodia Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ha catalogado seis agentes contaminantes denominados “criterio”, debido a su potencial pernicioso para la salud humana. Para cada uno de estos compuestos, se han formulado directrices normativas que delimitan las concentraciones máximas admisibles en la atmósfera durante un intervalo temporal determinado. Dichos umbrales son concebidos con un margen precautorio para resguardar tanto la integridad biológica de los individuos como el equilibrio ecosistémico. Los contaminantes criterio comprenden: dióxido sulfuroso (SO₂), dióxido nitrogenado (NO₂), material particulado (PM), plomo elemental (Pb), monóxido carbónico (CO) y ozono troposférico (O₃). (Zayas & Cabrera, 2007).

3.2.6. Descripción del Material Particulado

El material particulado (PM) constituye una amalgama de corpúsculos sólidos y líquidos flotantes en la atmósfera, que exhibe heterogeneidad en cantidad, dimensión, morfología, superficie, configuración molecular, capacidad de disolución y proveniencia. Dichos corpúsculos se clasifican en segmentos voluminosos, menudos y microscópicos. Los fragmentos voluminosos (>2,5 – 10 µm/m³) derivan de emanaciones naturales, tales como cristales salinos, micropartículas de polen, colonias micóticas, esporulaciones, entre otros, además de sedimentos y residuos terrígenos levitados por vías terrestres, labranza agrícola, extracción minera, ciclones y erupciones volcánicas. Estas microsustancias son aspirables y poseen la capacidad de adentrarse en la cavidad torácica de los pulmones, transportando consigo corpúsculos más ínfimos que pueden alcanzar múltiples órganos y el sistema fisiológico. (Pope III & Dockery, 2006).

Las microsustancias diminutas ($\leq 2,5 - 1 \mu\text{m}/\text{m}^3$) son el subproducto de procedimientos combustivos, como los propulsores de gasolina y diésel, la incineración de leña y hulla para la producción energética, así como procesos fabriles. Su composición abarca derivados transmutados, tales como sulfatos y nitratos, generados por la metamorfosis del azufre y los óxidos nitrogenados, además de aerosoles orgánicos provenientes de elementos orgánicos volátiles. Estas partículas, por su diámetro ínfimo, son inhaladas con mayor facilidad, alcanzando las vías aéreas periféricas y los alvéolos pulmonares, flotando en el medio atmosférico durante periodos prolongados y a grandes distancias, con la facultad de penetrar con sencillez en espacios interiores (Pope & Dockery, 2006).

Por otro lado, las microsustancias ultradiminutas ($<0,1 \mu\text{m}/\text{m}^3$) emanan de reacciones fotoquímicas y de la combustión vehicular. Estas corpúsculas revisten relevancia al funcionar como fuentes primarias de exposición a las micropartículas finas y por su escasa solubilidad. Son sumamente proclives a desplazarse desde los pulmones hasta la circulación sanguínea y otras regiones corporales, a diferencia de corpúsculos de mayor envergadura (IVM, DGSA-SSA/CENSA, CAM, PAHO, & EHS-UCLA, 2000).

Finalmente, el material particulado de diez micras de diámetro (PM10) abarca tanto las micropartículas finas como un segmento de corpúsculos gruesos, compuestos principalmente por elementos orgánicos (como benceno, 1-3 butadieno, hidrocarburos aromáticos policíclicos, dioxinas, etc.) y elementos inorgánicos (como carbono, sulfatos y nitratos), entre otros. (IVM, DGSA- SSA/CENSA, CAM, PAHO, & EHS-UCLA, 2000).

3.2.7. Dosis

Tras el contacto de un individuo con un agente contaminante, ya sea por inhalación, ingestión o interacción dérmica, dicho contaminante alcanza el órgano específico donde provoca efectos deletéreos en la salud. La exposición se produce exclusivamente cuando una persona inspira aire impuro; no obstante, no la totalidad del contaminante inhalado es

asimilada por el sistema respiratorio. Una porción del aire poluto es expulsada mediante la exhalación, la tos, los estornudos o la expectoración

La fracción del contaminante que logra adentrarse en el organismo se denomina dosis, la cual representa una proporción de la exposición total. La dosis absorbida (también denominada dosis interna) hace referencia a la cuantía de un agente que ingresa en un tejido u órgano durante un intervalo temporal específico. A mayor grado de exposición y volumen dosificado, los efectos nocivos se acentúan, impactando a un contingente más amplio de personas.

En el caso del material particulado (MP), se postula que la concentración de exposición en la zona respirable y la dosis absorbida son equiparables (Sanhueza, 2006).

3.2.8. Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud Respiratoria

Los impactos deletéreos de la contaminación generada por partículas aerotransportadas PM10 en la fisiología humana se manifiestan mediante sintomatología clínica específica. La reacción inmunitaria, dependiendo de las señales presentadas y las regiones corporales más perjudicadas, puede segregarse en trastornos de las vías aéreas superiores e inferiores.

En los Conductos Respiratorios Profundos (CRP), se detectan padecimientos tales como el espasmo bronquial (asma), la inflamación de los bronquios (bronquitis) y la infección del parénquima pulmonar (neumonía), mientras que en los Trayectos Respiratorios Superiores (TRS) prevalecen infecciones súbitas del tracto respiratorio (IRA) y una hipersensibilidad crónica a la inflamación nasal (rinitis).

Las disfunciones del TRS suelen estar originadas por factores precipitantes de respuestas inflamatorias, las cuales, por lo general, remiten en breves lapsos temporales. Entre estas dolencias figuran la rinitis (reacción exacerbada de las membranas mucosas nasales ante agentes irritantes o antígenos que generan secreción mucosa y oclusión del flujo

aéreo). Este fenómeno también compromete la faringe y la laringe.

La faringitis y la laringitis constituyen manifestaciones inmunológicas, caracterizadas por tumefacción tisular (edema) y la activación fagocítica de macrófagos en las regiones faríngeas y laríngeas; dichas respuestas emergen como consecuencia de procesos infecciosos en las vías respiratorias superiores, al igual que la amigdalitis. La laringitis, no obstante, puede clasificarse como eventualidad crítica debido al elevado riesgo de oclusión de los conductos aéreos por la inflamación edematosa (Fauci & Braunwald, 2008).

Las afecciones del CRP suelen vincularse con procesos inflamatorios efímeros o de aparición abrupta que, pese a su naturaleza aguda, con tratamiento oportuno no suelen desencadenar insuficiencia respiratoria severa ni menoscabo funcional significativo. Entre los padecimientos agudos de los conductos respiratorios profundos se incluyen la neumonía, la bronquitis, la bronconeumonía, la traqueítis, el edema alveolar y el síndrome de insuficiencia respiratoria aguda (SIRA). Estas condiciones provocan inflamación del tejido bronquial o del parénquima pulmonar, restringiendo temporalmente los volúmenes y capacidades respiratorias; no obstante, tras la resolución del cuadro patológico, estas funciones suelen recuperarse en la mayoría de los individuos (Fauci & Braunwald, 2008).

Por otro lado, las enfermedades crónicas del CRP pueden exacerbarse debido a múltiples factores, tales como la exposición recurrente a polucionantes, irritantes y agentes antigénicos. Esta exposición induce la liberación de mastocitos y macrófagos, así como de compuestos tóxicos y mediadores inmunitarios tales como histamina, óxido nítrico y citoquinas. Dichos mediadores cumplen roles especializados, que abarcan destrucción celular, señalización intercelular y la consolidación de memoria inmunológica (Sanhueza, 2006). Este proceso patológico compromete el tejido respiratorio, que, en un intento de adaptarse a un entorno hostil, pierde el equilibrio funcional y su capacidad primaria de

facilitar el intercambio gaseoso. (Berglund, C-G, & L., 2001).

3.2.9. Efectos de la Contaminación Atmosférica en la Mortalidad General

La polución atmosférica guarda una relación estrecha con la mortalidad, resultado de la exposición a elevadas densidades de contaminantes durante intervalos breves (exposición aguda) o a concentraciones menores, pero persistentes y acumulativas a lo largo de prolongados períodos temporales (exposición crónica).

Los decesos asociados a la exposición aguda suelen derivarse de complicaciones en individuos que ya se encuentran en un umbral crítico de tolerancia fisiológica o, en su defecto, de eventos inflamatorios y trombóticos abruptos, desencadenados por la irritación tisular que provocan dichos contaminantes (Berglund, C-G, & L., 2001).

En cuanto a la exposición crónica, las muertes se deben al afecto acumulativo de los contaminantes, que obstaculizan el proceso respiratorio de manera lenta y progresiva, además de producir una irritación constante en mucosas y epitelios. Esto, a su vez, pueden derivar en alteraciones en el crecimiento celular, lo que favorece el desarrollo de neoplasias o tumores malignos en el pulmón. Diversas investigaciones han estudiado la relación entre la defunción y las variaciones de PM10 (Aristizabal, 1999).

3.2.10. Población Susceptible

La colectividad más susceptible a la exposición de contaminantes atmosféricos abarca a infantes, personas de edad avanzada y aquellos que padecen afecciones cardiovasculares y respiratorias (Sanhueza, 2006). En lo que respecta a los niños, su fragilidad se origina en la inmadurez fisiológica de sus sistemas inmunitario, respiratorio y nervioso central, los cuales aún se encuentran en proceso de desarrollo funcional. Además, presentan una mayor proporción de exposición, ya que ingieren volúmenes superiores de alimentos, líquidos y aire en relación con su masa corporal, y frecuentemente participan en

actividades al aire libre o en contacto directo con el suelo (Zayas & Cabrera, 2007).

La exposición a partículas PM10 en la población infantil se ha correlacionado con consecuencias perjudiciales en el crecimiento y desarrollo de la función pulmonar, una mayor prevalencia de enfermedades respiratorias, la manifestación de sintomatología clínica, el incremento en ausencias escolares, la necesidad de hospitalización por complicaciones respiratorias, e incluso un aumento en las tasas de mortalidad entre neonatos y menores de corta edad (Pope & Dockery, 2006).

Estos impactos negativos son particularmente notorios en menores de 5 años, aunque la vulnerabilidad a los efectos deletéreos de la exposición y el desarrollo progresivo de órganos y sistemas persisten hasta aproximadamente los 18 años. De manera adicional, diversos estudios empíricos han evidenciado estos efectos adversos en niños en edad escolar, reafirmando la susceptibilidad prolongada de esta etapa formativa. (15 años o menos) (Neuberger, Schimek, & Horak, 2004).

En los adultos mayores, los efectos nocivos de la contaminación atmosférica se encuentran vinculados a alteraciones anatómicas y fisiológicas intrínsecas del proceso de senescencia, tales como el aumento del número y tamaño de las glándulas mucosas, la calcificación progresiva de los cartílagos, la pérdida de elasticidad en el tejido pulmonar, la disminución de la superficie alveolar funcional y el incremento del volumen residual.

El envejecimiento compromete las defensas naturales del aparato pulmonar, lo que incrementa su susceptibilidad a procesos infecciosos. En virtud de que estos grupos etarios son extraordinariamente vulnerables a los efectos deletéreos de la polución ambiental, se ha decidido centrar las investigaciones en este segmento poblacional, evaluando sus registros clínicos de consultas a servicios de urgencias y los índices de mortalidad asociados a patologías respiratorias, tales como infecciones agudas del tracto respiratorio, neumonía,

bronquitis aguda, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y asma (Ocampo, Aguilar, & Gómez, 2007).

3.2.11. Normas Legales Internacionales de la Concentración del Polvo Atmosférico Sedimentable

Múltiples naciones disponen de preceptos en vigor para orquestar el análisis del Residuo Celeste Decantable (PAS). Asimismo, la OMS ha promulgado un Arquetipo de Pureza Territorial relativo al RCD. El esquema subsiguiente exhibe los umbrales tolerables definidos conforme a la posición y el entorno geoespacial.

Tabla 3

Estándares de calidad del aire para el polvo sedimentable

PAIS	TIEMPO PROMEDIO	ECA mg/cm²/30 días	TECNICA
ARGENTINA	30 días	1	Gravimetría
SUIZA	30 días	0.6	Gravimetría
COSTA RICA	30 días	1	Gravimetría
ECUADOR	30 días	1	Gravimetría
COLOMBIA	30 días	1	Gravimetría
CHILE	30 días	0.5	Gravimetría
MEXICO	30 días	1	Gravimetría

Nota: Los estándares de calidad del aire para el estudio de polvo sedimentable, cada país tiene una norma reglamentada cuyos límites se muestran valores precisados de acuerdo a su ubicación y zona geográfica, extraído de (Organización Mundial de la Salud)

3.2.11.1. Decreto Ejecutivo N°3516 Texto Unificado De Legislacion Secundaria De Medio Ambiente- Republica De Ecuador, en el anexo cuarto del tomo sexto del compendio integrado de reglamentación auxiliar del despacho ecológico, pauta de pureza atmosférica o magnitud de intrusión —tomo sexto—, en el epígrafe 4.1.2.1, para los contaminantes paradigmáticos del firmamento, referidos en el segmento 4.1.1.1, se determinan las densidades límite admisibles. la entidad rectora ambiental nacional será la responsable de disponer la asiduidad con que se examinarán tales parámetros, fijados en la presente normativa de integridad atmosférica de implementación prudente, certificada dentro del sistema unificado de gestión ecológica. se emplearán estos umbrales de concentración superior para concebir las disposiciones o directrices específicas que correspondan al ámbito sectorial. respecto a las partículas depositables, la cota máxima de una muestra recolectada en un período ininterrumpido de treinta jornadas será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ días}$)

3.2.11.2. Protocolo para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo del Aire del Sistema de Información Ambiental (Ideam) – Republica de Colombia, el propósito del presente manuscrito es brindar, de manera puntual a las instancias ambientales encargadas de la fiscalización y supervisión de la pulcritud atmosférica, y en términos amplios, a cualquier individuo o organización interesada, un manual elemental para el diseño de redes de auscultación y vigilancia de la calidad del aire en zonas urbanizadas y/o ámbitos fabriles del territorio nacional. en el apartado duodécimo, se pormenorizan los métodos para la captura y cuantificación de las partículas del residuo atmosférico decantable, cuyo valor límite se fija en un miligramo por centímetro cuadrado por día ($1 \text{ mg/cm}^2/\text{día}$), parámetro que será utilizado para la valoración de los hallazgos relativos a la densidad del polvo sedimentado.

3.2.11.3. Decreto 4 Exento – Establece Normas De Calidad Del Aire Para Material Particulado Sedimentable En La Cuenca Del Rio Huasco Iii Región – República De Chile, el art. 4° establecen los valores permisibles como norma secundaria de calidad ambiental. en el inciso a), se indica que el material particulado sedimentable debe tener una concentración media aritmética mensual de 150 mg/m²/día, equivalente a 0.5 mg/cm²/mes.

3.2.12. Normas Legales Nacionales

3.2.12.1. Constitución Política del Perú, epígrafe segundo - apartado vigésimo segundo: proclama que constituye obligación cardinal de la entidad soberana garantizar la prerrogativa inalienable de cada individuo a gozar de un entorno armónico y propicio para su crecimiento holístico y plenificado. epígrafe sexagésimo séptimo: determina que la autoridad estatal delimita las directrices primordiales de la ecología nacional y promueve la explotación perdurable de los bienes naturales.

3.2.12.2. Ley General del Ambiente – Ley N° 28611, epígrafe centésimo décimo séptimo: determina que la fiscalización de las emanaciones se efectúa a través de los umbrales supremos tolerables (UST) y otros mecanismos de regulación ecológica dispuestos por las entidades jurisdiccionales competentes. asimismo, la transgresión de los ust es penalizada conforme a las disposiciones de cada organismo sectorial con potestad. epígrafe centésimo décimo octavo: establece que las instituciones estatales, en el desempeño de sus responsabilidades y facultades, adoptan estrategias para la anticipación, vigilancia y gestión ambiental y epidemiológica, con la finalidad de asegurar la preservación, optimización y restauración de la pureza atmosférica. estas intervenciones deben ser prioritarias en las áreas donde se excedan los umbrales de alerta por la presencia de agentes contaminantes, implementando programas de contingencia para evitar o atenuar peligros y perjuicios tanto a la salubridad como al ecosistema.

3.2.12.3. Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales - Ley N° 2682, artículo 28°: se establece que los elementos, incluyen el medio, deben ser aprovechados de manera sostenible. el aprovechamiento sostenible implica una gestión racional de estos recursos, considerando su capacidad de renovación, evitando su sobreexplotación y, cuando sea necesario, asegurando su reposición tanto cualitativa como cuantitativamente.

3.2.12.4. Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales - DI N° 613, el preámbulo fundamental, apartado primero, proclama que todo individuo posee la facultad inalienable de gozar de un entorno salubre, ecológicamente armonizado y idóneo para el florecimiento vital, así como para la custodia del paisaje y la naturaleza circundante. asimismo, declara que todos los habitantes tienen la obligación insoslayable de preservar dicho medio. es deber irrevocable del órgano estatal asegurar que la calidad existencial de la población se sostenga en un estándar acorde con la dignidad intrínseca del ser humano, mediante la prevención y fiscalización de la polución ambiental y cualquier fenómeno de deterioro o saqueo de los recursos naturales.

3.2.12.5. Protocolo de Monitoreo de la Calidad del aire y Gestión de los Datos – Digesa, el procedimiento ha sido concebido para proporcionar a los encargados del seguimiento atmosférico los fundamentos esenciales requeridos para la implementación y gestión de una red de vigilancia de la calidad del aire exterior en núcleos urbanos, a través de sus diversas fases operativas, así como para la administración de los registros recopilados. constituye un instrumento orientado a asegurar su accesibilidad y utilización por parte de los gestores de las redes de monitoreo atmosférico.

3.2.12.6. Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental del Aire – Ds N° 003 – 2017 – Minam, el artículo segundo dispone que los estándares de calidad ambiental (ECA) para la atmósfera constituyen un parámetro vinculante en la formulación y ejecución

de los instrumentos de gestión ecológica, los cuales deben ser implementados por los responsables de actividades productivas, extractivas y de servicios.

la primera cláusula complementaria especifica que la aplicación de los ECA atmosféricos en los instrumentos de manejo ambiental aprobados, particularmente aquellos de naturaleza precautoria, se efectúa durante la actualización o modificación de dichos instrumentos, en concordancia con la normativa vigente del sistema nacional de evaluación del impacto ambiental (SEIA).

Tabla 4

Estándares de calidad para el aire

Parámetros	Periodo	Valor (ug/m3)	Criterios De Evaluación	Método de Análisis {1}
Benceno	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (método automático)
Dióxido de Nitrógeno	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia
	Anual	100	Media aritmética anual	
pM con Diámetro menor a 2.5 micras	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	

pM con				Separación
Diámetro Menor a 10 micras	Anual	50	Media aritmética anual	inercial/filtración (gravimetría)
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ^{2}	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) espectrometría de absorción atómica zeeman (métodos automáticos)
Monóxido de Carbono	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
	8 horas	10000	Media Aritmética móvil	(método automático)
Ozono	8 horas	100	Máxima Media Diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (método automático)
Plomo (Pb) en PM₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	(espectrometría de adsorción atómica)

Sulfuro de				Fluorescencia
Hidrogeno H_2S	24 horas	150	Media Aritmética	ultravioleta (método automático)

Nota: NE: No Exceder, {1} o procedimiento equiparable autorizado, {2} el estándar de pureza ambiental para el mercurio gaseoso total entrará en vigor al día inmediato posterior a la divulgación del protocolo nacional de vigilancia de la calidad atmosférica, en conformidad con lo dispuesto en la séptima cláusula complementaria final del presente DS, extraído de (DS. N° 003-2017- MINAM)

3.2.12.7. Marco Normativo Aplicable a Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA), los estándares de calidad ambiental del aire son una herramienta de gestión ambiental destinada a prevenir y planificar el control de la contaminación del aire, con el objetivo de mejorar la competitividad del país y fomentar el desarrollo sostenible. en el marco normativo del Perú, no existe una norma vigente que establezca los límites máximos permisibles (LMP) para los contaminantes de polvo atmosférico sedimentables (PAS). sin embargo, tanto la digesa como el senamhi se basan en los límites permisibles precisados por la organización mundial de la salud como referencia.

Tabla 5

Monitoreo de polvo sedimentable

Institución	Tiempo Promedio	Estándar de Calidad del Aire	
		mg/cm²/30 días	Técnica - Método
Dirección general de salud ambiental (DIGESA)	30 días	0,5	Gravimétrico estudio de polvo sedimentable (jarras)

Servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI)	30 días	0,5	gravimétrico estudio de polvo sedimentable (jarras), polvo atmosférico (placas de vidrio)
--	---------	-----	---

Nota: El Perú no dispone de normativa o legislación específica referente a los umbrales máximos admisibles para el polvo sedimentable; no obstante, entidades como DIGESA y SENAMHI adoptan los lineamientos de la OMS para realizar estudios de monitoreo del polvo sedimentable, el cual es cuantificado mediante placas receptoras, extraído de (Organización Mundial de la Salud)

3.2.12.8. Índice de Calidad del Aire (INCA)

A. Valores del índice de calidad del aire, el índice de calidad del aire (INCA) posee un rango óptimo situado entre 0 y 100, coincidiendo con el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental del aire. este índice se subdivide en cuatro categorías, las cuales reflejan el estado atmosférico:

La categoría verde abarca valores de 0 a 50, lo que denota una calidad del aire favorable.

La categoría amarilla comprende valores entre 51 y 100, indicando una calidad del aire moderada.

La categoría anaranjada incluye valores desde 101 hasta el valor umbral del estado de cuidado (VUEC) de cada agente contaminante, lo cual señala que la calidad del aire es deficiente.

Finalmente, la categoría roja supera el valor umbral del estado de cuidado del contaminante, a partir del cual se activa la aplicación de los niveles de estados de alerta nacionales por parte de la autoridad sanitaria correspondiente (MINAM, 2016).

Tabla 6*Valores del Índice de Calidad del Aire*

Calificación	Valores del Inca	Colores
Buena	0 – 50	Verde
Moderada	51 – 100	Amarillo
Mala	101 – VUEC*	Anaranjado
VUEC*	>VUEC*	Rojo

Nota: Extraído de (MINAM, 2016)

B. Cuidados y Recomendaciones

De acuerdo a la calificación del INCA la población sensible y población en general deberán tener en cuenta los cuidados y recomendaciones que se muestran en la siguiente tabla (MINAM, 2016).

Tabla 7*Cuidados y Recomendaciones del Índice del Aire*

Calificación	Cuidados	Recomendaciones
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA del Aire. Puede realizar actividades al aire libre
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares)	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible.

	podrían experimentar algunos problemas de salud.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada. Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	La concentración del contaminante puede causar efectos en la salud de cualquier persona y efectos serios en la población sensible, tales como niños, ancianos, gestantes, personas con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y cardiovasculares. Reportar a la Autoridad de Salud para que declare los Niveles de Estados de Alerta de acuerdo al Decreto Supremo N° 009-2003-SA y su modificatoria Decreto Supremo N° 012-2005-SA.

Nota: Extraído de (MINAM, 2016).

C. Cálculo del índice de calidad del aire (INCA)

El cálculo de los valores del índice de calidad del aire (INCA) se realiza tomando como base los estándares de calidad ambiental (ECA) del aire y, como límite final, el umbral correspondiente para la aplicación sobre la calidad del aire recopilada en las zonas consideradas prioritarias. la determinación matemáticas del inca para cada contaminante (representado por “I” en las ecuaciones) se basa la relación entre el valor registrado de la concentración del contaminante (indicando entre corchetes []) y su valor correspondiente en el estándar de calidad ambiental para casa caso (MINAM, 2016).

Tabla 8*Cálculo del Índice del Aire para el PM10*

Material particulado (PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0 – 50	0 – 75	$I(\text{PM10}) = [\text{PM10} * 100/150]$
51 – 100	76 – 150	
101 – 167	151 – 250	
>167	>250	

Nota: Extraído de (MINAM, 2016)**Tabla 9***Cálculo del Índice de Calidad del Aire para el PM2.5*

Material particulado (PM2.5) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0 – 50	0 – 12.5	$I(\text{PM2.5}) = [\text{PM2.5} * 100/25]$
51 – 100	12.6 – 25	
101 – 500	25.1 – 125	
>500	>125	

Fuente: (MINAM, 2016)

3.3. Definición de Términos

Contaminación ambiental: Se concibe como la existencia en el entorno de cualquier agente (físico, químico o biológico), o una conjunción de estos, en lugares, modalidades y proporciones que devienen o podrían devenir nocivas para la salubridad, la integridad o el

bienestar del conglomerado (Billet, et al., 2007).

Medio ambiente: Es el conjunto de componentes abióticos, como la irradiación solar, el suelo, el líquido vital y la atmósfera, en combinación con los elementos bióticos, es decir, los seres vivos, que constituyen la capa más superficial de la geósfera, denominada biosfera, la cual sustenta y alberga a los organismos existentes (Billet, et al., 2007).

Contaminante: Un contaminante es una materia o composición que deteriora el equilibrio ecológico. Existen dos clasificaciones primordiales: los contaminantes no biodegradables, que no se desintegran o lo hacen de manera pausada, como el cristal, el polímero, las latas y los compuestos organoclorados; y los contaminantes biodegradables, que se fragmentan rápidamente, como las aguas residuales, ciertos detergentes y los residuos orgánicos (Fang, et al., 2006).

Aire: Es una mezcla de gases compuesta por un 71% de oxígeno (O₂) y un 21% de nitrógeno (N₂) (Fang, et al., 2006).

Aspecto ambiental: Son aquellos elementos de las operaciones, bienes o servicios que poseen la facultad de interactuar con el medio circundante (Fang G., Wu, Chang, Huang, & Lin, 2006).

Impacto ambiental: Cualquier alteración en el entorno, ya sea perjudicial o benéfica, que se origina como resultado parcial o completo de los factores ambientales (EPA, 2004).

Contaminación: Es la dispersión de una materia química o mezcla de sustancias en sitios inapropiados (atmósfera, hidrosfera o geósfera), donde pueden producir efectos dañinos en el entorno o en la salubridad. Esta polución puede provenir de actividades como la manufactura industrial, el transporte, la agricultura o la escorrentía (EPA, 2004).

Contaminación industrial: Se refiere a la existencia de elementos tóxicos en la atmósfera, aguas o suelos, usualmente como consecuencia de deficiencias en los procesos productivos. Estas materias pueden constituir un riesgo para la salud humana y los sistemas naturales (Artiñano, Salvador, Alonso, Querol, & Alastuey, 2003).

PM10: Son partículas torácicas de menos de 10 micrómetros que pueden alcanzar las vías respiratorias profundas e interactuar con las regiones de intercambio gaseoso en los pulmones. Adicionalmente, existen partículas ultramicroscópicas, de menos de 100 nanómetros, con la capacidad de ingresar en el flujo sanguíneo (Billet, et al., 2007).

PM2,5: Son partículas inhalares minúsculas, con un diámetro generalmente de 2,5 micras o menor (PM2.5), que pueden penetrar profundamente en las vías pulmonares al ser inspiradas (Fang, et al., 2003).

Epidemiología ambiental: Estudia los impactos perjudiciales en la salud derivados de la exposición a factores ambientales, los cuales pueden ser biológicos, químicos o físicos, y que pueden manifestarse de forma natural o como resultado de las acciones humanas (Ocampo, Aguilar, & Gómez, 2007).

Estación de monitoreo: Se alude al conjunto de dispositivos de medición de agentes contaminantes primarios y/o de referencia, así como de variables meteorológicas, tanto manuales como automatizadas, situadas en puntos estratégicos dentro de un esquema de vigilancia (Schwart, 2000).

Fuente de emisión: Se define como toda actividad, proceso u operación llevada a cabo por los seres humanos, o con su intervención, que pueda producir la liberación de elementos contaminantes en la atmósfera (Schwartz & Spix).

Modelo aditivo generalizado: Integra efectos no lineales, considerando potenciales factores de distorsión o covariables, como la estacionalidad, las tendencias a largo plazo, el clima y las epidemias de influenza. Este procedimiento proporciona una alternativa que amplía el uso de técnicas suavizadoras, al incluir funciones no paramétricas (función de enlace), las cuales se ajustan de manera más eficaz a las configuraciones no lineales presentes en los datos (Schwartz & Spix).

Estacionariedad: Una secuencia es estacionaria cuando mantiene una media y una varianza constantes a lo largo del tiempo (Gomez, 2001).

Zonas no pavimentadas: Una ruta sin revestimiento es un espacio con una superficie de circulación compuesta de tierra y/o grava (CIV, 2001).

Zonas pavimentadas: Una vía pavimentada es una calzada cuya superficie de rodadura está conformada por una mezcla de aglomerante asfáltico y grava (CIV, 2001).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación: La investigación básica se caracteriza por un propósito de generar conocimiento teórico sin una aplicación inmediata. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), afirma que la investigación básica busca desarrollar teorías y ampliar el conocimiento científico sin que su aplicación práctica sea una prioridad inmediata. (Sampieri, 2018) sostiene que este tipo de investigación se enfoca en la adquisición de nuevos conocimientos, a menudo con un énfasis en principios fundamentales, más que en resolver problemas concretos.

Nivel de investigación: Investigación descriptiva ya que se busca describir y medir la concentración de partículas en suspensión PM2.5 y PM10 en las vías urbanas seleccionadas, y correlacionar esta esta concentración con la influencia del bien de los residentes que viven cerca de estas vías. También se podrían utilizar técnicas de análisis estadístico para establecer la relación entre estas variables (Hernandez & Baptista 2014)

Método de la Investigación: Según Bensliman (2015), el método hipotético deductivo se fundamenta en enunciados que, aunque sean sometidos a rigurosas pruebas, siguen considerándose hipótesis tentativas, incluso cuando dejan de ser evidentes. En este sentido, el autor sostiene que una ciencia es verdaderamente revolucionaria cuando logra refutar o falsear una teoría previamente establecida. Además, afirma que, aun que las teorías puedan ser aceptadas, también deben ser objeto de un análisis crítico y objetivo. Por lo tanto, desde la perspectiva de la falsabilidad, la refutación de hipótesis o conjeturas formuladas a partir de teorías y observaciones contribuyen significativamente al avance del conocimiento.

Diseño de investigación: Este análisis se fue no experimental, dado que se centra en indagar la densidad de partículas de polvo suspendido en la atmósfera que se depositan en áreas determinadas. Para ello, se efectuaron desplazamientos por dichas localizaciones y se extrajeron muestras para su posterior examen. Asimismo, la indagación posee un matiz

exploratorio y correlacional, dado que procura establecer la magnitud de las partículas sedimentables presentes en el entorno en cuestión y explorar la interacción o ausencia de interconexión entre las distintas variables involucradas.

Enfoque de la investigación: El enfoque cuantitativo se basa en la recopilación de datos con el propósito de comprobar hipótesis a través de mediciones numéricas y análisis estadísticos. Esto permite identificar patrones de comportamiento y evaluar teorías de manera objetiva (Hernandez, Fernande & Baptista, 2006, p.5). Asimismo, este tipo de investigación requiere seguir una serie de etapas organizadas de manera coordinada y sucesiva. En primer lugar, el proceso comienza con el planteamiento del problema, el cual debe ser riguroso y específico. Finalmente, culmina con la presentación de los resultados obtenidos.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal: La duración del presente investigativo abarcará un lapso de tres meses, iniciando en el mes de mayo y concluyendo en octubre del año 2023, considerando este periodo como el intervalo adecuado para la culminación del análisis.

Espacial: El actual estudio se llevará a cabo en la jurisdicción de Talavera, considerando tres puntos de monitoreo diferenciados dentro del núcleo urbano, los cuales son: Jr. Ayacucho, Av. 3 de octubre (vías asfaltadas) y Jr. Mazuracra (vías no asfaltadas).

Ubicación territorial del distrito de Talavera:

Dirección : Av. Confraternidad 150 – Frente a la Plaza de Armas (Andahuaylas – Apurímac), Cercado de Talavera

Departamento : Apurímac

Provincia : Andahuaylas

<u>Distrito</u>	: Talavera
<u>Superficie del distrito de Talavera</u>	: 10 900 hectáreas
	: 109,00 km ²
<u>Altitud del distrito de Talavera</u>	: 2 842 metros de altitud
<u>Coordenadas geográficas</u>	: Latitud: -13.6536
	: Longitud: -73.4289
	: Latitud: 13° 39' 13" Sur
	: Longitud: 73° 25' 44" Oeste

Ilustración 1

Ubicación del distrito de Talavera



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

4.3. Población y muestra

Población: El distrito de Talavera cuenta con 10 unidades vecinales, para la investigación se consideró la población a la Unidad Vecinal de Mazuracra el cual tiene una

población de 440 habitantes de acuerdo al Plan de Desarrollo Concertado 2019 – 2028 (PDC).

Muestra: La muestra de la investigación se determinó de manera no probabilística por cuotas ya que se basa en seleccionar la muestra después de dividir la población en estratos, tales que cumplan con características como la edad, zonas de residencia y sexo según requerimientos técnicos y metodológicos del estudio Hernandez C. & Carpio N. (2019) Por ende, se tuvo un total de 30 habitantes los cuales se disgregan cada 10 de ellos en las tres zonas de monitoreo a quienes se aplicó el instrumento.

Tabla 10

Sectorización de los puntos de muestreo por cuotas

ZONA	PUNTOS DE MONITOREO	TAMAÑO DE LA MUESTRA (CUOTAS)	PORCENTAJE
<i>Jr. Mazuraccra (Vía no pavimentada)</i>	<i>1</i>	<i>10 encuestados</i>	<i>33.33 %</i>
	<i>2</i>		
	<i>3</i>		
<i>Jr. Ayacucho (Vía pavimentada)</i>	<i>1</i>	<i>10 encuestados</i>	<i>33.33%</i>
	<i>2</i>		
	<i>3</i>		
<i>Av. 3 de octubre (Vía pavimentada)</i>	<i>1</i>	<i>10 encuestados</i>	<i>33.33%</i>
	<i>2</i>		
	<i>3</i>		
<i>Total</i>		<i>30 encuestados</i>	<i>100%</i>

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

Muestreo: En el presente trabajo de investigación se utilizó la técnica de muestro No Probabilístico de tipo por conveniencia puesto que el investigador es quien designa el lugar específico para llevar a cabo la investigación en el distrito de Talavera, tomando en cuenta los tres sectores (Jr. Ayacucho, Av. 3 de octubre y Jr. Mazuraccra), ya que cuentan con mayor flujo de vehículos y personas.

4.4. Instrumentos

4.4.1. Técnica

Los puntos de monitoreo, la selección y la ubicación del instrumento para cuantificar el material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) se establecieron en sitios estratégicos. el dispositivo multidetector gaseoso de medición dispone de su certificado de calibración N°LGS-880-2022. Dicho equipo registra mediciones de material particulado (PM) en las fracciones PM_{2.5} y PM₁₀ y se encarga de vigilar, en tiempo instantáneo, la calidad atmosférica a través del sensorial cabezal, el cual emplea la metodología de difracción luminosa.

Esta técnica se fundamenta en la interacción de cada micropartícula del analito (por ejemplo, material particulado) con un rayo luminoso proyectado en la corriente aérea que penetra en el dispositivo automatizado. Particularmente, la reflexión de dicho haz lumínico permite identificar la dimensión de cada partícula en relación a su ángulo de desviación, así como la concentración de partículas presentes en la muestra recolectada. Por esta razón, estos mecanismos son catalogados también como contadores ópticos de partículas.

4.4.2. Instrumento

Como herramienta primordial se emplearon plantillas estructuradas que guiaron la recopilación de información a través encuestas, los cuales fueron aplicados a la población adyacente a los tres sectores de análisis. En este proceso, cada residente respondió, de manera voluntaria, a cada apartado del cuestionario administrado.

4.5 Procedimientos

“El estudio de los hechos es de extraordinario interés para la valoración de los resultados adquiridos, ya que nos permite cerciorarnos de las cualidades separadas en las pruebas”. (Merodio, J y Vásquez, W., 2018)

- Media aritmética o promedio: “Es la proporción de inclinaciones focales más

utilizada y se puede caracterizar como la media de malabarismo numérico de una circulación". (Valderrama Mendoza, 2007, p. 233).

“La media aritmética es un número que lo aborda todo. Reunir información tiene contenciones significativas. Una acción puede ser determinada y es notable, a la luz del hecho de que cada arreglo de información tiene una sola medida. La normal es una medida fiable, ya que sigue en el aire con una seguridad más prominente que las diferentes cualidades de un montón de información”.

A continuación, se enumeran algunos de los sistemas comúnmente utilizados en el procesamiento y análisis cuantitativo de datos estadísticos:

- R: Es un lenguaje algorítmico y un ecosistema estadístico ampliamente adoptado en la investigación científica. R dispone de un extenso repertorio de módulos y bibliotecas especializadas en estadística, exploración de datos, contrastes hipotéticos, modelización matemática y representación gráfica.
- SPSS: Constituye un software estadístico empleado en multidisciplinas para el tratamiento analítico de información cuantitativa. Ofrece una interfaz visual intuitiva y una amplia diversidad de herramientas estadísticas, tales como contrastes de hipótesis, análisis correlacional y regresiones, así como evaluaciones multivariadas.
- STATA: Es una plataforma estadística orientada a investigaciones sociales, económicas y sanitarias. Proporciona un conjunto robusto de instrumentos analíticos, incluyendo estadística descriptiva, contrastes de hipótesis, modelización avanzada y análisis geoespacial.
- Python: Un lenguaje computacional de uso múltiple y alta popularidad en el análisis de datos y la estadística aplicada. Python incorpora bibliotecas fundamentales, tales como NumPy, pandas, SciPy y scikit-learn, que ofrecen capacidades estadísticas avanzadas y mecanismos analíticos para el tratamiento de datos complejos.
- Excel: Es una herramienta informática ampliamente difundida para el procesamiento

primario de datos cuantitativos y cálculos estadísticos básicos. Aunque no alcanza el nivel especializado de los programas predecesores, Excel proporciona funcionalidades estadísticas elementales y opciones gráficas idóneas para el análisis preliminar y la visualización inicial de información.

4.6. Análisis de Datos

Para la indagación de cúmulos informativos, se implementó un Desglose de Oscilaciones Numéricas (ANOVA). Las compilaciones empíricas obtenidas fueron manipuladas y escrutadas a través del entramado algorítmico estadístico SPSS Statistics. La fundamentación aritmética del despliegue de dispersión en el ANOVA radica en el examen de desenlaces experimentales, donde se procede a confrontar las concreciones conclusivas de los procedimientos aplicados en función de un abanico de determinantes mutables. Se aplicó un umbral de trascendencia fijado en $\alpha = 0.05$, con el objetivo de discernir y cotejar las diferencias manifiestas en correlación con el Índice de Calidad del Aire.(INCA).

4.7. Consideraciones Éticas

Para la presente averiguación, el suscrito indagador asume el compromiso ineludible de acatar la titularidad creativa y la custodia de los cúmulos informativos expuestos en esta indagación escrutadora. Se procederá a referenciar apropiadamente a todos los autores, cuyas aportaciones intelectuales sean utilizadas y apropiadamente reconocidas como fuente legítima de consulta. Del mismo modo, se ratifica la autenticidad de los compendios empíricos recopilados durante las exploraciones de campo efectuadas en el territorio delimitado del distrito de Talavera.

V. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

Para la verificación de los resultados, en primer término, se efectuó una valoración cuantitativa de la concentración del material particulado recabados en tres sectores de monitoreo. Una vez obtenidos los conglomerados numéricos, estos fueron ordenados y sistematizados para su procesamiento. Dicho procedimiento se materializó mediante instrumentos auxiliares como Excel y SPSS, que facilitaron la verificación de la fiabilidad y la consistencia del artefacto evaluativo. Posteriormente, se emprendió el examen de los indicadores, lo cual permitió abordar las dimensiones subyacentes hasta desglosar las variables específicas.

En una etapa subsiguiente, se estructuró el análisis inferencial estadístico, implementando pruebas de conjeturas para escrutar los propósitos formulados, culminando con la decodificación de matrices de frecuencia y la representación gráfica de los hallazgos.

5.1.2. Estadística Descriptiva

Valores obtenidos mediante el monitoreo en los tres sectores

ANOVA

Partículas en Suspensión PM₁₀ ug/m³

Tabla 11

Prueba de comparación de medias

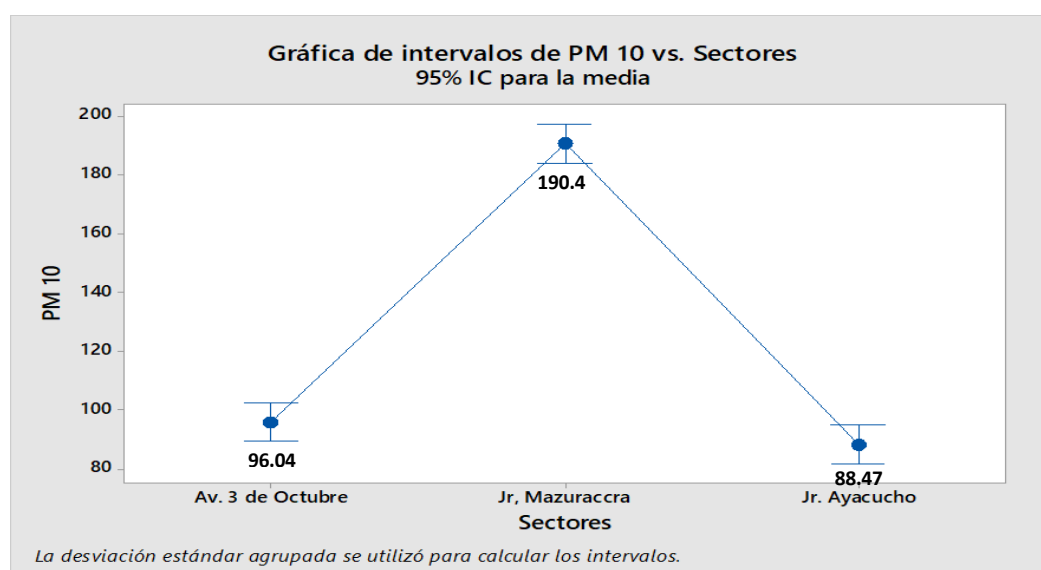
Sectores	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
Av. 3 de octubre	54	96.04	21.21	(89.61; 102.46)
Jr. Mazuraccra	54	190.45	27.19	(184.02; 196.87)
Jr. Ayacucho	54	88.47	22.92	(82.05; 94.90)

Nota: N: Numero de Mediciones, IC: Intervalo de Confianza, extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 11, se indica que no existe diferencia estadística en la concentración del PM_{10} en dos puntos de muestreo que es la Av. 3 de octubre y el Jr. Ayacucho, sin embargo; estas difieren significativamente con el tercer punto de monitoreo que vendría a ser el Jr. Mazuracra en la cual se presentó mayor concentración de PM_{10} con un valor de 190.45 ug/m^3 .

Figura 8

Gráfica de intervalos de PM_{10} VS Sectores



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

De acuerdo a la figura 8, se observa mayor concentración de PM_{10} en un solo punto de muestreo que viene a ser el Jr. Mazuracra teniendo un valor de 190.45, en comparación de los otros dos puntos Av. 3 de octubre y el Jr. Ayacucho con valores de 96.04 y 88.47 respectivamente, ambos sectores se encuentran en menor concentración.

Tabla 12

Análisis de varianza para PM_{10} (ug/m^3) en 3 puntos de monitoreo

Fuentes	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Sectores	2	348666	174333	304.98	0.000

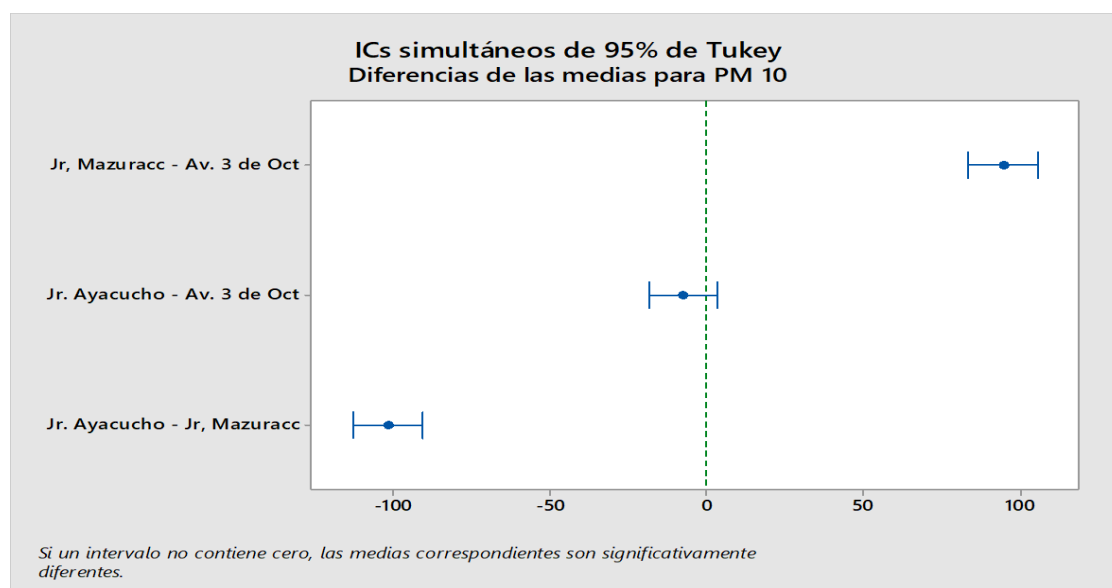
Error	159	90889	572
Total	161	439554	

Nota: GL: Grados de libertad, SC: Suma de cuadrados, MC: Marca de clase, extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 12, se muestra el valor P de 0.000 el cual es menor a un nivel de significancia del 0.05, entonces se puede concluir que el PM₁₀ en los 3 puntos de monitoreo son estadísticamente diferentes.

Figura 9

ICs simultáneos de 95% de Tukey



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 9 se muestran las comparaciones en los tres puntos de monitoreo, el cual indica que los puntos que están alejados del cero significan que el nivel de concentración de PM₁₀ son diferentes, sin embargo; se puede observar que dos puntos de monitoreos (Av. 3 de octubre y el Jr. Ayacucho) son similares con un nivel de confianza del 95%.

Partículas en Suspensión PM_{2.5} ug/m³

Tabla 13

Prueba de comparación de medias

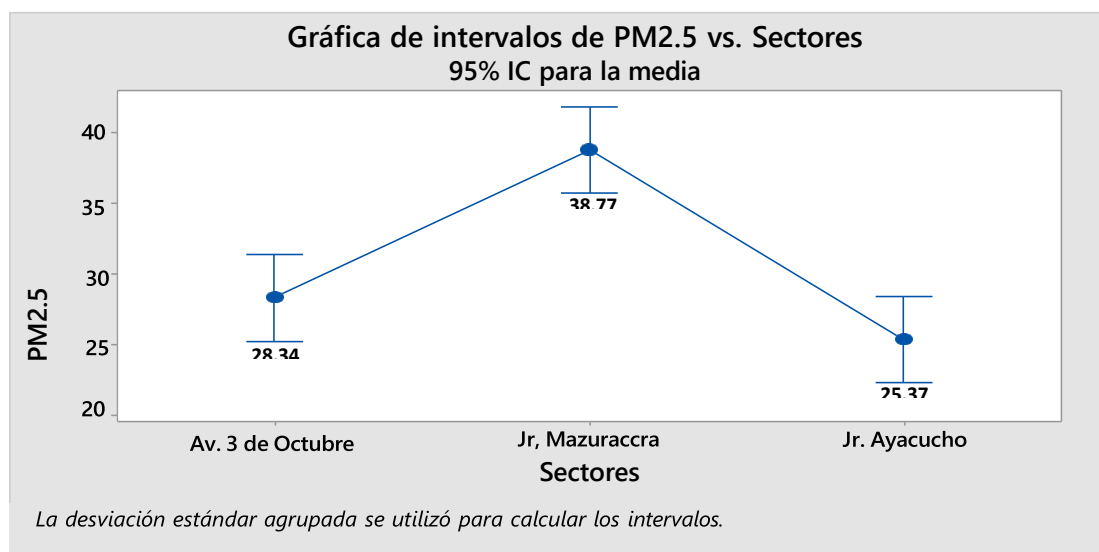
Sectores	N	Media	Desv. Est.	IC de 95%
Av. 3 de octubre	54	28.34	9.15	(25.29; 31.38)
Jr. Mazuraccra	54	38.77	14.90	(35.72; 41.82)
Jr. Ayacucho	54	25.37	8.96	(22.32; 28.42)

Nota: N: Numero de Mediciones, IC: Intervalo de Confianza, extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 13, se indica que no existe diferencia estadística en la concentración del PM_{2.5} en dos puntos de muestreo que es la Av. 3 de octubre y el Jr. Ayacucho, sin embargo; estas difieren significativamente con el tercer punto de monitoreo que vendría a ser el Jr. Mazuraccra en la cual se presentó mayor concentración de PM_{2.5} con un valor de 38.77 ug/m³.

Figura 10

Gráfica de intervalos de PM_{2.5} VS Sectores



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

De acuerdo a la figura 10, se observa mayor concentración de $PM_{2.5}$ en un solo punto de muestreo que viene a ser el Jr. Mazuracca teniendo un valor de 38.77, en comparación de los otros dos puntos Av. 3 de octubre y el Jr. Ayacucho con valores de 28.34 y 25.37 respectivamente, ambos se encuentran en menor concentración.

Tabla 14

Análisis de varianza para $PM_{2.5}$ (ug/m^3) en 3 puntos de monitoreo

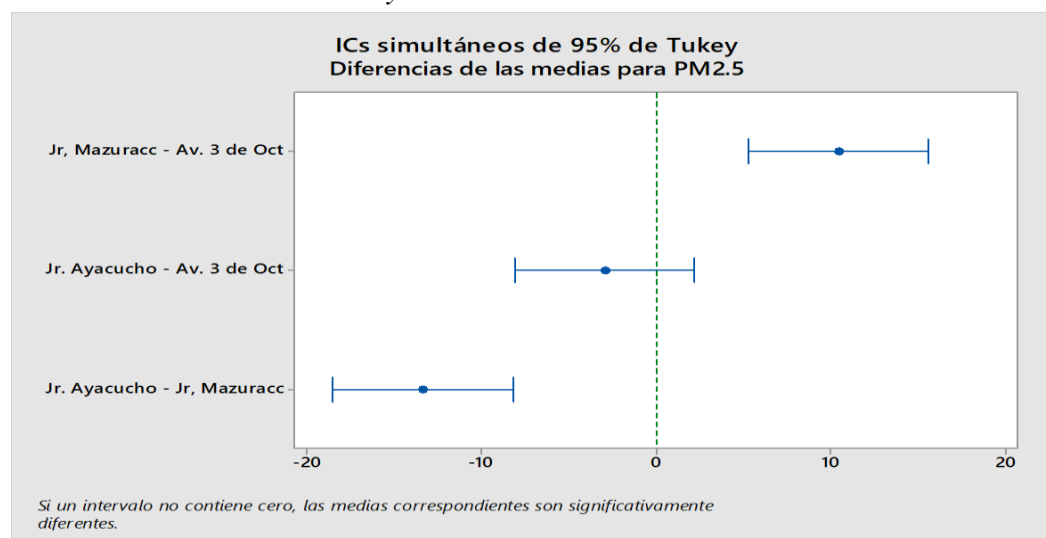
Fuentes	GL	SC	MC	Valor F	Valor P
Sectores	2	5351	2675.4	20.80	0.000
Error	159	20448	128.6		
Total	161	25799			

Nota: N: Numero de Mediciones, IC: Intervalo de Confianza, extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 14, se muestra el valor P de 0.000 el cual es menor a 0.05, entonces se puede concluir que el $PM_{2.5}$ en los 3 puntos de monitoreo son estadísticamente diferentes.

Figura 11

ICs simultáneos de 95% de Tukey



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 11, se presentan las comparaciones entre los tres puntos de medición, evidenciando que aquellos que se apartan del valor cero indican que los niveles de concentración de PM_{2.5} son disímiles. No obstante, se puede observar que dos de los puntos de monitoreo (Av. 3 de octubre y Jr. Ayacucho) muestran resultados similares, lo que sugiere una concordancia dentro de un intervalo de confianza del 95%.

Índice de calidad de aire para pm₁₀

El Índice de Calidad del Aire (INCA) establece un rango ideal de 0 a 100, en concordancia con los Parámetros de Referencia de Calidad Ambiental del Aire. Este indicador se desglosa en cuatro divisiones que representan distintos niveles de calidad atmosférica. La franja verde abarca puntajes de 0 a 50, lo cual denota una calidad del aire favorable. La categoría amarilla, correspondiente a valores entre 51 y 100, indica una calidad del aire tolerable. La sección anaranjada, que incluye valores de 101 a 167, caracteriza una calidad del aire deficiente. Finalmente, la categoría roja identifica niveles de calidad atmosférica superiores a 167, lo que sobrepasa el límite del Estado de Precaución (VUEC) para el contaminante; a partir de este umbral, se activan los Protocolos de Alerta Nacionales liderados por la autoridad sanitaria competente. (MINAM, 2016)

Tabla 15

Valores Obtenidos del monitoreo en campo de las partículas en suspensión PM₁₀

Zona	Máximo ug/m ³	Mínimo ug/m ³	\bar{x} PM ₁₀ ug/m ³	Ecuación Inca	Calificación
Av. 3 de octubre	121.98	38.38	96.035	$(96.035 \cdot 100 / 150) = 64.023$	BUENA
Jr. Mazuraccra	246.28	145.08	190.448	$(190.448 \cdot 100 / 150) = 126.965$	MODERADA
Jr. Ayacucho	120.98	38.38	88.471	$(88.471 \cdot 100 / 150) = 58.981$	BUENA

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 15, se observa las magnitudes de las partículas en suspensión PM10 en los tres sectores de estudio, de los cuales los sectores de Av. 3 de octubre y Jr. Ayacucho de acuerdo a la ecuación INCA se tuvo los valores de 64.023 ug/m^3 y 58.981 ug/m^3 respectivamente los cuales son considerados de **buena** calidad ya que se encuentran en el intervalo de concentración ($0 - 75 \text{ ug/m}^3$) en comparación del sector de Jr. Mazuraccra de acuerdo a la ecuación se tuvo 126.965 ug/m^3 el cual es considerado una calidad **moderada** ya que se encuentran en el intervalo de concentración ($76 - 150 \text{ ug/m}^3$) de acuerdo al índice de calidad del aire “INCA”.

Índice de calidad de aire para pm2.5

El Índice de Calidad del Aire (INCA) establece un intervalo óptimo comprendido entre 0 y 100, en concordancia con los Estándares de Calidad Ambiental del Aire. Este índice se segmenta en cuatro categorías, cada una representativa del estado de la calidad atmosférica: La categoría verde engloba valores de 0 a 50, indicando una atmósfera de calidad favorable. La categoría amarilla, con un intervalo de 51 a 100, refleja una calidad del aire moderada. La categoría anaranjada abarca cifras que oscilan entre 101 y 500, lo que señala una calidad del aire deficiente.

Finalmente, la categoría roja corresponde a valores superiores a 500, donde la calidad del aire trasciende el umbral del Estado de Cuidado (VUEC) del contaminante. A partir de este punto crítico, se implementan los Niveles de Estados de Alerta Nacionales, bajo la jurisdicción de la autoridad sanitaria. (MINAM, 2016)

Tabla 16*Valores del material particulado PM_{2.5}*

Zona	Máximo	Mínimo	\bar{x} PM₁₀	Ecuación Inca	Calificación
	ug/m³	ug/m³	ug/m³		
Av. 3 de octubre	42.74	12.87	28.335	(28.33*100/25=113.342)	MALA
Jr. Mazuraccra	64.45	18.35	38.77	(38.77*100/25=155.090)	MUY MALA
Jr. Ayacucho	40.63	10.52	25.372	(25.372*100/25=101.490)	MALA

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el registro dieciséis, se evidencian las magnitudes correspondientes a las partículas suspendidas PM_{2.5} en las tres zonas examinadas. En las áreas de Avenida 3 de Octubre y Jirón Ayacucho, conforme a la fórmula INCA, se consignan valores de 113.342 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 101.490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, los cuales se catalogan como deficiente calidad atmosférica, al situarse dentro del rango de concentración comprendido entre 25.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En contraposición, el sector de Jirón Mazuraccra registra una cifra de 155.090 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, también conforme a la fórmula INCA, siendo clasificado como extremadamente deficiente, al exceder el umbral de 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, acorde con los parámetros estipulados en el Índice de Calidad del Aire “INCA”.

Valores sobre el tránsito vehicular en los tres sectores de monitoreo

Tabla 17*Valor promedio mensual sobre el tránsito vehicular en los sectores de monitoreo*

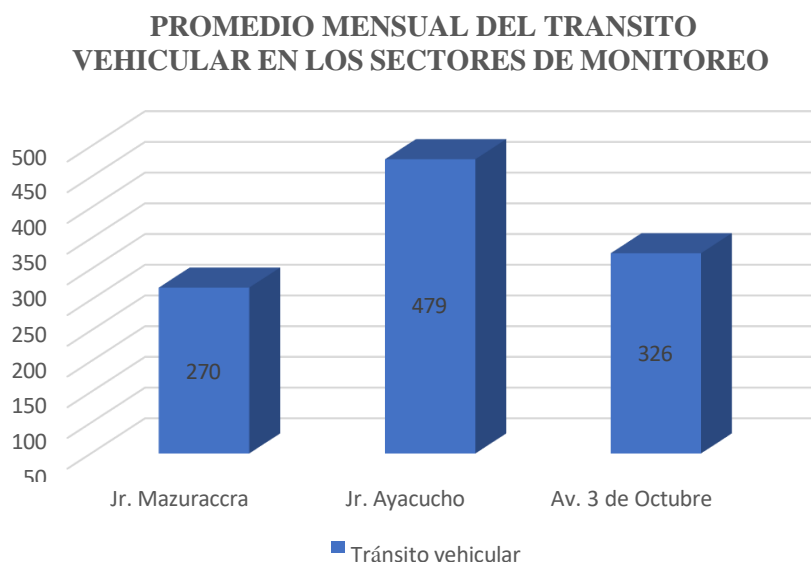
SECTORES	TRANSITO VEHICULAR
Jr. Mazuraccra	270
Jr. Ayacucho	479

Av. 3 de Octubre	326
------------------	-----

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

Figura 12

Promedio Mensual del Tránsito Vehicular en los Sectores de Monitoreo



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 12, se evidencia que el flujo vehicular más elevado se presenta en el sector del Jr. Ayacucho, registrando un valor de 479 vehículos, mientras que el flujo más reducido corresponde al sector del Jr. Mazuracra, con un registro de 270 vehículos.

Valores obtenidos mediante encuestas con relación a la segunda variable

Tabla 18

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Conoce usted sobre algún caso de enfermedades por inhalación de material particulado en las vías urbanas?

		Frecuencia	Porcentaje
Válido	Nunca	14	46,7
	Poco	7	23,3
	A veces	9	30,0

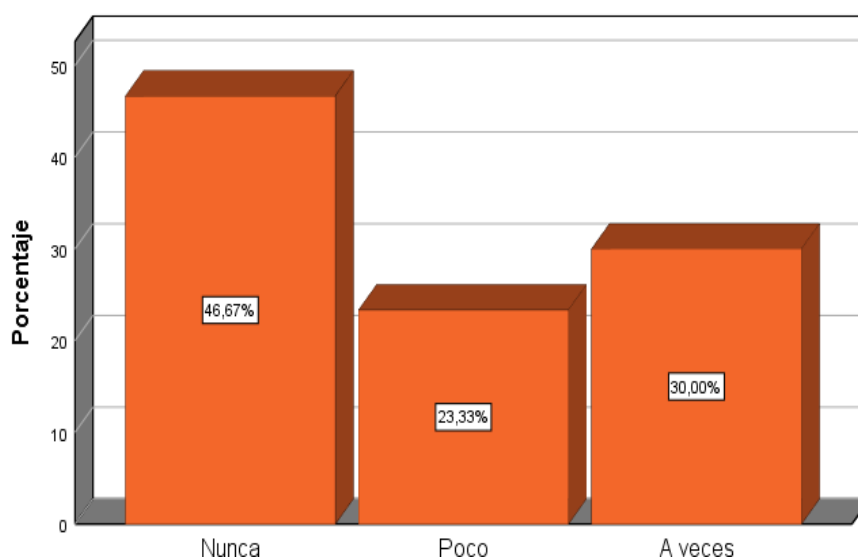
Total	30	100,0
--------------	-----------	--------------

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro decimoctavo, se muestran los resultados correspondientes a la primera interrogante del cuestionario: ¿Conoce usted algún caso de enfermedad ocasionada por la inhalación de material particulado en las vías urbanas?, registrando una frecuencia total de 14 respuestas, lo que equivale a un 46.7% de la población encuestada.

Figura 13

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Conoce usted sobre algún caso de enfermedades por inhalación de material particulado en las vías urbanas?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 13, los resultados indican que el 46.67% de la población encuestada tiene conocimiento sobre algún caso de enfermedad relacionada con la inhalación de material particulado en las vías urbanas.

Tabla 19

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Tiene usted alguna alergia producida por material particulado?

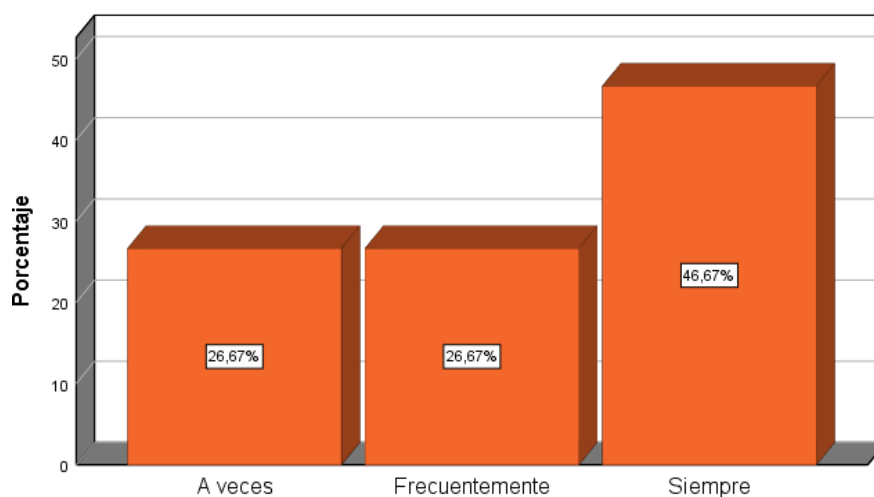
		Frecuencia	Porcentaje
Válido	A veces	8	26,7
	Frecuentemente	8	26,7
	Siempre	14	46,7
Total		30	100,0

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro decimonoveno, se presentan los resultados correspondientes a la segunda interrogante del cuestionario: ¿Padece usted alguna alergia causada por el material particulado (polvo)?, donde se registró una frecuencia predominante de 14 respuestas, lo que equivale a un 46.7% de la población consultada.

Figura 14

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Tiene usted alguna alergia producida por material particulado?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 14, los resultados evidencian que el 46.67% de la población encuestada presenta algún tipo de alergia ocasionada por la exposición al material particulado (polvo).

Tabla 20

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Ha sufrido alguna vez infecciones por vías altas (irritación a los ojos, lagrimeo, estornudos) por el material particulado (polvo)?

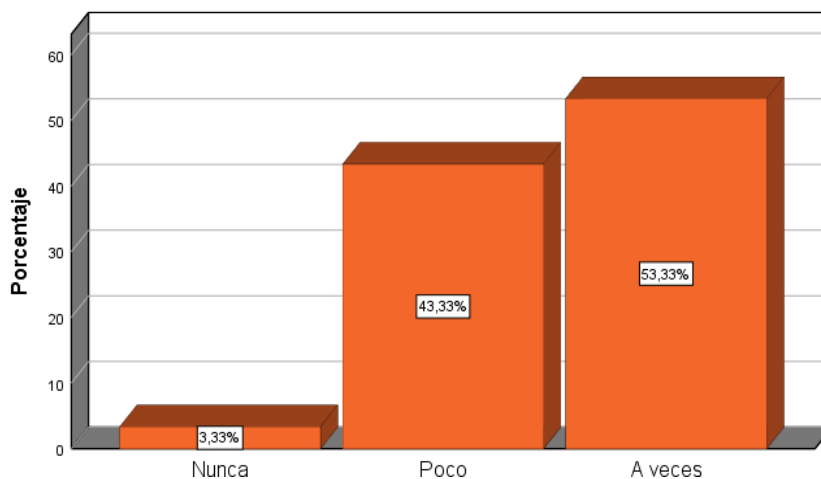
		Frecuencia	Porcentaje
Válido	Nunca	1	3,3
	Poco	13	43,3
	A veces	16	53,3
	Total	30	100,0

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro vigésimo, se registran los resultados correspondientes a la tercera interrogante del cuestionario: ¿Ha experimentado alguna vez irritación ocular, lagrimeo, estornudos, u otros síntomas a causa del material particulado (polvo)?, donde se obtuvo una frecuencia predominante de 16 respuestas, equivalente a un 53.3% de la población encuestada.

Figura 15

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Ha sufrido alguna vez infecciones por vías altas (irritación a los ojos, lagrimeo, estornudos) por el material particulado (polvo)?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 15, los resultados indican que el 53.33% de la población encuestada ha experimentado, en alguna ocasión, irritación ocular, lagrimeo, estornudos, entre otros síntomas, como consecuencia de la exposición a material particulado. (polvo).

Tabla 21

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Usted alguna vez fue al centro médico por causa de enfermedades respiratorias agudas por causa de material particulado (polvo)?

		Frecuencia	Porcentaje
	Poco	3	10,0
	A veces	14	46,7
Válido	Frecuentemente	12	40,0
	Siempre	1	3,3
	Total	30	100,0

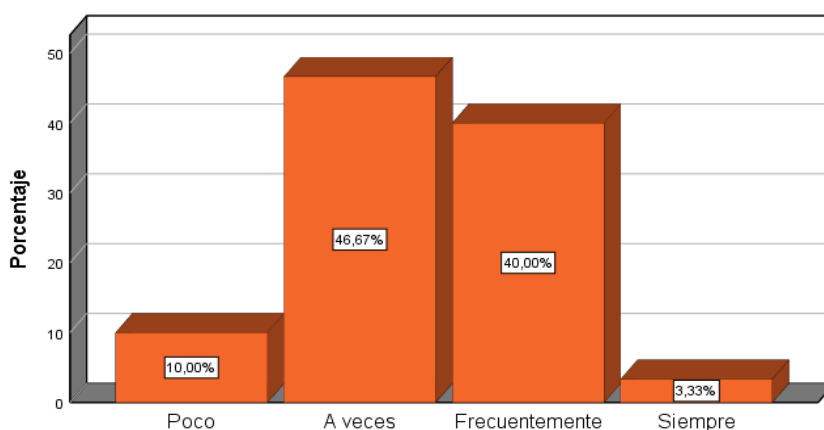
Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro vigésimo primero, se evidencian los resultados relacionados con la

cuarta interrogante del cuestionario: ¿Ha acudido alguna vez a un centro médico debido a enfermedades respiratorias agudas ocasionadas por la exposición a material particulado (polvo)?, donde se registró una frecuencia predominante de 14 respuestas, lo que corresponde a un 46.7% de la población consultada.

Figura 16

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Usted alguna vez fue al centro médico por causa de enfermedades respiratorias agudas por causa de material particulado (polvo)?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 16, los resultados revelan que el 46.67% de la población encuestada ha acudido en alguna ocasión a un centro médico debido a afecciones respiratorias agudas provocadas por la exposición a material particulado (polvo).

Tabla 22

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Siente alguna molestia respiratoria al momento de realizar sus actividades?

		Frecuencia	Porcentaje
	Nunca	1	3,3
	Poco	11	36,7
Válido	A veces	14	46,7

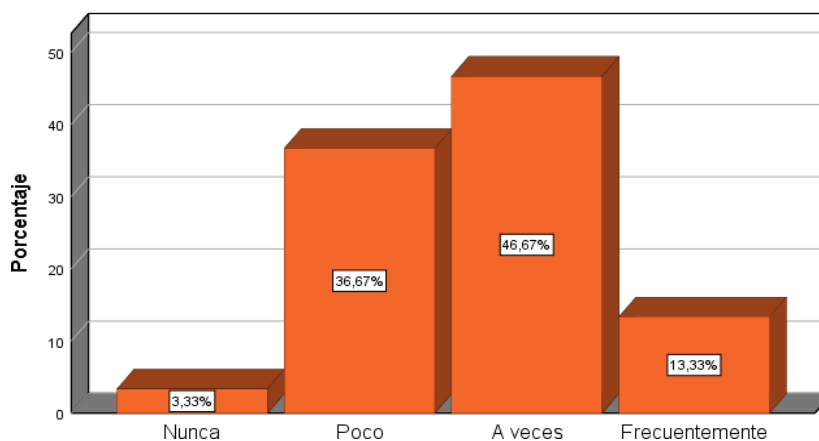
Frecuentemente	4	13,3
Total	30	100,0

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro vigésimo segundo, se aprecian los resultados correspondientes a la quinta interrogante del cuestionario: ¿Experimenta alguna molestia respiratoria al llevar a cabo sus actividades habituales?, donde se registró una frecuencia predominante de 14 respuestas, lo cual representa un 46.7% de la población encuestada.

Figura 17

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Siente alguna molestia respiratoria al momento de realizar sus actividades?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 17, los hallazgos evidencian que el 46.67% de la población entrevistada manifiesta alguna incomodidad respiratoria al momento de desarrollar sus actividades cotidianas.

Tabla 23

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Ha padecido bronquitis durante los últimos meses?

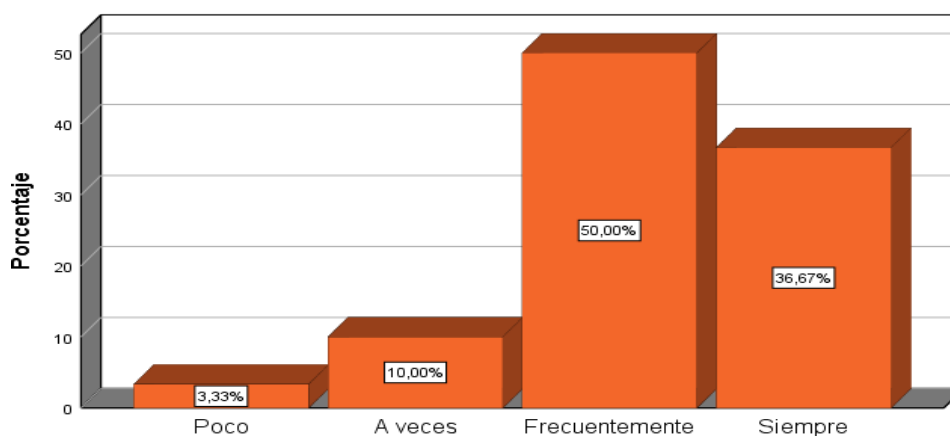
		Frecuencia	Porcentaje
Válido	Poco	1	3,3
	A veces	3	10,0
	Frecuentemente	15	50,0
	Siempre	11	36,7
Total		30	100,0

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro vigésimo tercero, se aprecian los resultados derivados en relación con la sexta interrogante del cuestionario: ¿Ha padecido bronquitis durante los últimos meses?, donde se registró un total de respuestas con una prevalencia predominante equivalente a 15 menciones, lo que corresponde a un porcentaje del 50% de la población consultada.

Figura 18

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Ha sufrido infección por vías bajas (bronquitis aguda, bronquitis, neumonía) en estos últimos meses?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 18, los resultados muestran que el 50% de la población encuestada ha

sufrido bronquitis en estos últimos meses.

Tabla 24

Frecuencia de resultados a la pregunta ¿Cree usted que los centros comerciales estén afectados por el material particulado (polvo)?

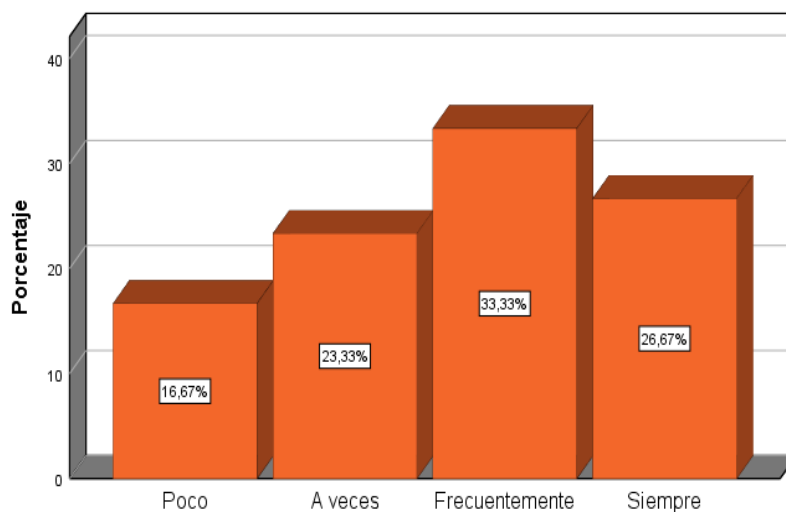
		Frecuencia	Porcentaje
	Poco	5	16,7
	A veces	7	23,3
Válido	Frecuentemente	10	33,3
	Siempre	8	26,7
Total		30	100,0

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la tabla 24, se aprecian los resultados derivados de la séptima interrogante del cuestionario: ¿Considera usted que los centros comerciales están siendo impactados por el material particulado (polvo)?, donde se registra una frecuencia predominante de 10 respuestas, lo que corresponde a un 33.3% del total de la población consultada.

Figura 19

Histograma con respuesta de los participantes a la pregunta ¿Cree usted que los centros comerciales estén afectados por el material particulado (polvo)?



Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En la figura 19, los resultados muestran que el 33.33% de la población encuestada cree que los centros comerciales estén afectados por el material particulado (polvo).

5.2. Discusión de Resultados

(Sánchez & Aldaba, 2022) Se determinó que la mayor densidad de material particulado PM10 se localizó en la vía Federico Basadre, a la altura del kilómetro 10, con un registro de 220.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que la menor concentración se identificó en la carretera Santa Rosa, con 136.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En lo concerniente al PM2.5, la zona con la concentración más elevada fue la misma carretera Federico Basadre, con 35.55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y la más reducida se ubicó en la Plaza Pucallpa, con 31.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Contrastando estos resultados con los hallazgos globales del estudio, el sector que presentó la mayor acumulación de partículas suspendidas PM10 fue el Jr. Mazuraccra, con 246.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el sector con la concentración más baja fue el Jr. Ayacucho, con 120.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En cuanto al PM2.5, el sector con la cifra más elevada de partículas suspendidas fue nuevamente el Jr. Mazuraccra, con 64.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el de menor acumulación fue el Jr. Ayacucho, con 40.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

(Sandoval, 2020) Se efectuó un seguimiento atmosférico durante los intervalos temporales en que la planta de producción de yeso permanecía inactiva, obteniéndose mediciones de $74.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de materia particulada PM10 y $15.30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5. No obstante, en los períodos operativos de la mencionada fábrica, los niveles de particulado ascendieron en un 50% para cada fracción dimensional, lo cual derivó en concentraciones de $111.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10 y $22.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM2.5.

En comparación con los hallazgos recopilados, se evidencia que el sector del Jr. Mazuracra presenta una concentración superior, con $246.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $64.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material suspendido en las fracciones PM10 y PM2.5, respectivamente. Estos valores registrados fueron obtenidos en tramos viales tanto pavimentados como no revestidos.

(Vásquez, 2020) Se determinó que la industria harinera registró una emisión acumulativa de $271.13 \text{ mg}/\text{m}^3$ durante un período continuo de 12 horas de observación, mientras que la industria maderera presentó una emisión total de $133.80 \text{ mg}/\text{m}^3$ en el mismo lapso de monitoreo. En relación con los hallazgos derivados del análisis efectuado, se establece que, respecto al PM10, el sector del Jr. Mazuracra exhibe un concentrado de $126.965 \mu\text{g}/\text{m}^3$, clasificado como moderado. Los otros dos sectores (Jr. Ayacucho y Av. 3 de Octubre) reportan $58.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $96.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, ambos calificados como bueno conforme a los parámetros del Índice Nacional de Calidad del Aire (INCA).

En lo que respecta al PM2.5, el sector del Jr. Mazuracra manifiesta una concentración de $155.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual es considerado muy desfavorable. Por otro lado, los sectores restantes (Jr. Ayacucho y Av. 3 de octubre) registran $101.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $113.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo calificados como desfavorable, según los criterios estipulados por los índices de calidad atmosférica (INCA).

5.3. Prueba de Hipótesis

Para efectuar la verificación de las proposiciones hipotéticas del estudio, se implementó el test de normalidad con el propósito de examinar el patrón conductual de las magnitudes y, en consecuencia, determinar el indicador de correlación a aplicar. Asimismo, el coeficiente de significancia resultó inferior al umbral de 0.05, lo que evidenció que las variables se encuadran dentro del régimen no paramétrico, conduciendo a la utilización del coeficiente Rho de Spearman.

Tabla 25

Rango de correlación del coeficiente de Rho de Spearman

Rango	Relación
-0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe Correlación
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta

Nota: Extraído de (Merino, 2021)

Tabla 26*Prueba de Normalidad*

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	P - valor
Variable 1	Material particulado con diámetro menor a PM 10	0.355	29	0.000
	Material particulado con diámetro menor a PM 2.5	0.395	29	0.000
Variable 2	Enfermedades respiratorias	0.948	29	0.000

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

En el cuadro vigésimo cuarto se exponen los hallazgos del examen de normalidad correspondiente a la magnitud primera: el valor probabilístico asciende a 0.000, cifra que resulta ínfima en relación con 0.05, lo cual sugiere que se repudia la suposición nula y se admite la alternativa postulada. En lo concerniente a la magnitud segunda, el valor probabilístico igualmente se cifra en 0.000, inferior al umbráculo de 0.05, por lo que, de manera análoga, se desestima la hipótesis insustancial y se ratifica la alternativa contraria. En ambos supuestos, los conjuntos de información carecen de una distribución regular, por lo que se implementó un cómputo no paramétrico.

Contrastación de hipótesis general

Ho: El grado de contaminación por partículas en suspensión PM2.5 no excede los valores precisados por las INCA y no influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera-2023.

H1: El grado de contaminación por partículas en suspensión PM2.5 excede los valores precisados por las INCA e influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera-2023.

Tabla 27

Correlación de material particulado en suspensión PM_{2.5}

		Concentración	Enfermedades
		del PM2.5	respiratorias
Rho de	Concentración de	1,000	,551**
	material Particulado		
	en suspensión PM2.5	P – valor	. ,002
		N	30 30
Spearman	Enfermedades	,551**	1,000
	respiratorias	P - valor	. ,002
		N	30 30

** . La Correlación es notable de grado 0,01 (bilateral).

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

La tabla 27 revela una relación de intensidad media, dado que el valor p es de 0.002, inferior al umbral de 0.05; en consecuencia, se considera que el resultado alcanza un nivel de certeza del 95%. Se observa una correlación positiva significativa, respaldada por el coeficiente de correlación de Spearman ($\rho = 0.551^{**}$). Así, se rechaza la hipótesis nula y se valida la hipótesis alternativa. En este contexto, el grado de polución por partículas suspendidas PM2.5 supera los umbrales estipulados por el INCA, en relación con los tres sectores evaluados. En particular, los sectores de Av. 3 de octubre y Jr. Ayacucho, según la fórmula del INCA, presentan niveles de 113.342 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 101.490 ug/m^3 respectivamente

los cuales son considerados de **mala** calidad ya encontrándose en el intervalo de concentración ($25.1 \text{ ug/m}^3 - 125 \text{ ug/m}^3$), en comparación con el sector de Jr. Mazuracra reporta un valor de 155.090 ug/m^3 de acuerdo a la ecuación del INCA considerando un aire de **muy mala** calidad y que se encuentra en el intervalo de concentración ($>125 \text{ ug/m}^3$) de acuerdo al índice de calidad del aire; el cual influye a las enfermedades respiratorias de los pobladores en vías urbanas del distrito de Talavera . 2023, ya que de acuerdo al instrumento aplicado se obtuvo el valor promedio de 44.3% como respuesta de los pobladores afectados que radicar cerca a los puntos de monitoreo.

Ho: El grado de contaminación por partículas en suspensión PM10 no excede los valores precisados por las INCA y no influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera-2023.

H2: El grado de contaminación por partículas en suspensión PM10 excede los valores precisados por las INCA e influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en las vías urbanas del distrito de Talavera-2023.

Tabla 28

Correlación de material participado en suspensión PM₁₀

		Concentración	Enfermedades
		de PM10	respiratorias
Rho de Spearman	Concentración de material Particulado en suspensión PM10	Coefficiente de correlación	1,000
		P – valor	,383*
		N	.
			,037
			30
			30
		Coefficiente de correlación	,383*
	Enfermedades		1,000

respiratorias	P - valor	,037	.
	N	30	30

*. La correlación es notable de grado 0,05 (bilateral).

Nota: Extraído de (elaboración propia, 2024)

La tabla 28 indica una correlación moderada debido a que el valor de p es 0.037, lo cual es inferior a 0.05; por lo tanto, el resultado es significativo con un nivel de confianza del 95%. Se observa una correlación positiva de intensidad media, conforme al coeficiente de correlación de Spearman ($\rho = 0.383^{**}$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. De este modo, se concluye que el grado de contaminación por partículas suspendidas PM10 supera los valores límites INCA de acuerdo a los tres sectores de estudio, de los cuales los sectores de Av. 3 de octubre y Jr. Ayacucho de acuerdo a la ecuación INCA se tuvo los valores de 64.023 ug/m^3 y 58.981 ug/m^3 respectivamente los cuales son considerados de **buena** calidad ya que se encuentran en el intervalo de concentración ($0 - 75 \text{ ug/m}^3$) en comparación del sector de Jr. Mazuraccra de acuerdo a la ecuación se tuvo 126.965 ug/m^3 el cual es considerado una calidad **moderada** ya que se encuentran en el intervalo de concentración ($76 - 150 \text{ ug/m}^3$) de acuerdo al factor de excelencia; el cual influyen a las enfermedades respiratorias de los pobladores en vías urbanas del distrito de Talavera-2023; ya que de acuerdo al instrumento aplicado se obtuvo el valor promedio de 44.3% como respuesta de los pobladores afectados.

VI. Conclusión

- En la evaluación del grado de polución por partículas suspendidas PM_{2.5}, se alcanzaron cifras medias de 29.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la zona de la Av. 3 de octubre y 25.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el área de Jr. Ayacucho (vías asfaltadas). En contraposición, en la zona sin pavimentar de Jr. Mazuraccra, el promedio fue de 38.77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al comparar estos valores con el PM₁₀, los resultados medios fueron de 96.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para la Av. 3 de octubre y 88.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Jr. Ayacucho (vías asfaltadas), mientras que para Jr. Mazuraccra (vía no pavimentada) se registró un promedio de 190.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual se asocia directamente con el incremento de enfermedades respiratorias entre los habitantes cercanos a estos sectores.
- Según el análisis efectuado, se identificaron las fuentes emisoras de partículas suspendidas tanto para PM₁₀ como para PM_{2.5}. En este contexto, se destacó que la zona de Jr. Mazuraccra presenta la mayor concentración de partículas (PM₁₀ = 246.28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y PM_{2.5} = 264.45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esto se explica por la elevada densidad vehicular registrada durante el estudio, con un promedio de 270 vehículos en circulación a lo largo de un período de 8 horas de monitoreo diario, extendido durante 30 días. Esta elevada concentración se correlaciona de manera significativa con la incidencia de afecciones respiratorias en los residentes cercanos a este punto de monitoreo.
- En cuanto a la evaluación del grado de contaminación por partículas suspendidas y su comparación con el Índice de Calidad del Aire (INCA), se obtuvieron cifras de 113.342 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2.5} en la Av. 3 de octubre y 101.490 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para Jr. Ayacucho (vías pavimentadas), lo cual es calificado por el INCA como aire de mala calidad. Por otro lado, en Jr. Mazuraccra, que no cuenta con pavimentación, se registró un valor de 155.090 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que se clasifica como aire de muy mala calidad. En

relación al PM10, los resultados fueron de 64.023 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la Av. 3 de octubre y 58.981 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Jr. Ayacucho (vías pavimentadas), lo cual es calificado por el INCA como aire de buena calidad. Sin embargo, en Jr. Mazuraccra, el resultado fue de 126.965 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que se clasifica como aire de calidad moderada, con una evidente correlación con las afecciones respiratorias en los habitantes cercanos a estos puntos de medición.

- En el nivel de contaminación por partículas en suspensión de acuerdo a los resultados de estudio el sector con mayor concentración de partículas en suspensión PM10 fue el Jr. Mazuraccra con 246.28 ug/m^3 y el sector con menor concentración de partículas en suspensión fue el Jr. Ayacucho con 120.98 ug/m^3 ; para el PM2.5 el sector con mayor concentración de partículas en suspensión fue el Jr. Mazuraccra con 64.45 ug/m^3 y el sector con menor concentración de partículas en suspensión fue el Jr. Ayacucho con 40.63 ug/m^3 ; en cuanto a su relación con las enfermedades respiratorias de vías altas de acuerdo a los resultados de las personas encuestadas se tiene un 53.3% de haber sufrido a veces irritación a los ojos, lagrimeo, estornudos, etc y con respecto a las vías bajas se tiene un 50% de frecuencia de haber sufrido bronquitis.

VII. Recomendaciones

- La metodología automática puede tener ventajas ya que nos ayuda a recolectar datos de manera rápida esta recolección de datos nos garantiza tener mejores resultados, el equipo es eficiente y tiene un margen de error mínimo, la desventaja es el alto costo de equipo y la dificultad de poder adquirirlo.
- En consonancia con los desenlaces alcanzados en el actual empeño investigativo, se aconseja a las entidades gubernamentales orquestar iniciativas de capitalización estatal para la cimentación de rutas de transporte dentro del territorio de Talavera, ya que esta medida ofrece un sustancial beneficio en la atenuación de la aglomeración de microfragmentos en el aire.
- Se sugiere a la Dirección Regional de Salud (DIRESA) efectuar un monitoreo exhaustivo de los padecimientos respiratorios, los cuales son desencadenantes de la polución atmosférica, con el fin de proporcionar una resolución eficaz para el mejoramiento de la pureza del aire que respiran los habitantes.
- Se recomienda llevar a cabo estudios profundos sobre las partículas suspendidas vinculadas al tránsito vehicular dentro de la jurisdicción de Talavera.
- Se plantea la posibilidad de desarrollar una investigación empleando variables de análisis para la creación de un esquema práctico, el cual debería integrar una estrategia de intervención dirigida a aminorar este tipo de contaminación.

VIII. Referencias

- Aldunat, P. (2005). *Los efectos de la contaminación atmosférica por PM10 sobre la salud ciudadana en la Paz - Bolivia y Cusco*. Perú.
- Aristizabal, G. (1999). *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda*. Universidad del Bosque, Bogotá.
- Artiñano, B., Salvador, P., Alonso, D., Querol, X., & Alastuey, Y. (2003). *Anthropogenic and natural influence on the PM10 and PM2.5 aerosol in Madrid (Spain)*. España.
- Artiñano, B., Salvador, P., Alosa, D., Querol, X., & Alastuey, A. (2003). *Anthropogenic and natural influence on the PM10 and PM2.5 aerosol in Madrid (Spain). Analysis of high concentration episodes*. *Environmental*.
- Ayala, D., & Ojeda, C. (2007). Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Cali asociada al monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y ozono a través de la estimación y comparación de curvas típicas diarias no paramétricas. *Tesis de Estadística*. Universidad del Valle.
- Berglund, M., C-G, E., & L., J. (2001). *Human exposure assessment. An introduction*.
- Billet, S., Garc-omn, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F., . . . Pirouz, S. (2007). *Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation*.
- Billet, S., Garc-on, G., Dagher, Z., Verdin, A., Ledoux, F., Cazier, F. C., . . . Pirouz, S. (2007). *Ambient Particulate Matter (PM2.5): Physicochemical characterization and metabolic activation*.
- Buffone, I., & Romano, H. (2023). Consultas por enfermedades respiratorias agudas en la población pediátrica y su relación con el material particulado atmosférico en Bahía Blanca: un estudio ecológico. *Arch Argent Pediatr*.
- Castro Utcani, M. P. (2019). "Evaluación de la contaminación del aire ocasionado por el polvo atmosférico sedimentable mediante el método de placas receptoras en el área urbana del Centro Poblado de Paragsha-Región Pasco". (*TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL*). UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, Cerro de Pasco, Perú.

De la Cruz Gránadez, D. (2021). Material particulado (PM10 y PM2.5) para el análisis de riesgos en la salud de comerciantes del mercado III Huayco Tarapoto 2020. (*Título Profesional de Ingeniería Ambiental*). UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO, Lima, Perú.

El Popular. (25 de Febrero de 2016). Lima metropolitana respira polvo atmosférico que afecta la salud. *El Popular*.

Encinas Malagón, M. D. (2011). *Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos* (1ra Edición ed.).

EPA. (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter. Office of Air Quality* (Vol. Volume I of II). Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division.

EPA. (2004). *Air Quality Criteria for Particulate Matter. Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division* (Vol. I of II).

EPA. (14 de Julio de 2022). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*.

Fang, G., Chang, C., Chu, C., Wu, Y., Yang, I., & Chen, M. (2003). *Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM2.5 and PM2.5-10 aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung*. The Science of the Total Environment.

Fang, G., Wu, Y., Chang, S., Huang, S., & Lin, C. (2006). *Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site. Toxicology and Industrial Health*.

Fang, G., Wu, Y., S.Y., C., Rau, J., Huang, S., & Lin, C. (2006). *Characteristic study of ionic species in nano, ultrafine, fine and coarse particle size mode at a traffic sampling site*.

Fauci, A., & Braunwald, E. (2008). *Harrison Principios de Medicina Interna*. Mc Graw Hill.

Gao, Y., Nelson, E., Field, M., Ding, Q., Li, H., Sherrell, R., . . . Eisenreich, S. (2002). *Characterization of atmospheric trace elements on PM2.5 particulate matter over the New York - New Jersey harbor estuary. Atmospheric Environment*. New York.

García, F. (2002). *Determinación de la concentración de fondo y distribución Espacial de*

- PST en Santa Marta. Grupo de control de la contaminación ambiental.* Universidad de Magdalena, Colombia.
- García, M., & Carreras, H. (2008). *Análisis de la genotoxicidad de material particulado recolectado en dos ciudades de la Provincia de Córdoba, Argentina, mediante el ensayo de micronucleus.* Argentina.
- Gomez, R. (2001). Modelación de la calidad del aire en el Valle del Cauca, Colombia. *Tesis de maestría en ciencias especialidad en Ingeniería Ambiental.* Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, Colombia.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. D. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. Sexta Edición). McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ho, K., Lee, S., Chan, C., Yu, J., Chow, J., & Yao, X. (2003). *Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong.* *Atmospheric Environment.*
- Hernández, C. & Carpio, N (2019). Introducción a los tipos de muestreo, Ministerio e Salud, El Salvador.
- IVM, DGSA-SSA/CENSA, CAM, PAHO, & EHS-UCLA. (2000). Economic evaluation of improvement of air quality in the Metropolitan Area of Mexico City, Mexico, D.F. *Harvard School of Public Health, Boston.* Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco, Mexico.
- Lizalde Alvarado, P. E., & Merino Jima, J. J. (2021). Determinación y caracterización del material particulado sedimentable generado por actividades antropicas en el perímetro urbano del canton chambo. *(Titulo profesional de ingeniería ambiental.* UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, RioBamba, Ecuador.
- Lozano, F. (2012). Determinación del grado de partículas atmosféricas sedimentables, mediante el método de muestreo pasivo, zona urbana - ciudad de Moyobamba. *(Ingeniería Ambiental).* Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú.
- Mendoza, F. P., Allaica, J. C., Torre, H. R., & Castro, A. K. (2022). Evaluación temporal del material particulado PM_{2.5} y PM₁₀ en el Distrito Metropolitano de Quito—Ecuador. *ConcienciaDigital*, 5(4.1), 21-44.
- Merino García, M. E. (20 de Agosto de 2021). The use of the virtual forum and its

relationship with academic self-concept in Postgraduate students. *Investigación de la Universidad Norbert Wiener*.

MINAM. (2016). Resolución Ministerial N°181-2016-MINAM. Lima.

Montero, C. (2011). *Pronostico de la caldiad del aire en el area metropolitana de la ciudad de Mexico a traves del analisis de las series de tiempo de los componentes de la imeca*. Mexico.

Montoya, M., Morales, A., & Olaya, J. (2005). *Estimación no-paramétrica de curvas típicas diarias para los contaminantes CO, NO2 y SO2 en Santiago de Cali*. (Edición 3 ed., Vol. Volumen II).

Mora Moris, A. S. (2023). Analisis de la calidad de aire (PM10) influenciada por al obra civil en la parroquia Tarqui. (*Titulo Profesional de Ingenieria Ambiental*). UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, Guayaquil, Ecuador. Obtenido de

Neuberger, M., Schimek, M., & Horak, J. (2004). *Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP)*.

Ocampo, J., Aguilar, C., & Gómez, J. (2007). Envejecimiento del sistema respiratorio. *Revista Neumológica*. OMS. (2018). Calidad del aire.

Pope III, C., & Dockery, D. (2006). *Health effects of fine particulate air pollution: linesthe connect*. (Vol. 56).

Pope, A., & Dockey, D. (2006). *Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect*. Air & Waste Manage Assoc. doi:56:709-42

Sanchez Barrios, I. R. (2019). "Concentración del polvo atmosférico sedimentable y su efecto en la salud de los habitantes de la ciudad de amarilis –huánuco". (*titulo profesional de ingeniera ambiental*). universidad de huánuco, Huánuco, Perú.

Sánchez Meza, A. L., & Aldaba Yumbato, D. A. (2022). Influencia de características antrópicas de tres zonas de la provincia de Coronel Portillo en la concentración de material particulado PM10 y PM2. 5. (*titulo profesional de ingeniero ambiental*). universidad nacional de ucayallI, Ucayali, Peru.

Sanchez Meza, A. L., & Aldaba Yumbato, D. A. (2022). Influencia de características

antropicas de tres zonas de la provincia de coronel portillo en la concentracion de material particulado PM10 y PM2.5 Ucayali Peru. (*Titulo Profesional de Ingeniero Ambiental*). UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI, Pucallpa, Perú.

Sandoval Bances, R. E. (2020). Influencia de la contaminación del aire por material particulado de las fábricas de yeso en la salud de los pobladores del distrito de Mórrope. (*título profesional de ingeniería ambiental*). Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.

Sanhueza, P. (2006). *Análisis Efectos en Salud por Material Particulado Respirable (PM10) y Ozono (O3) en la VI Región*. Chile.

Schwartz, J. (2000). *The distributed lag between air pollution and daily deaths*.

Schwartz, J., & Spix, C. (s.f.). Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. *Journal of Epidemiology and Community Health*.

Silvestre, M. I., & Huamán, N. C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria* (Vol. Primera Edición). Perú: Editorial San Marcos E.I.R.L.

Sinia (2019) Informe situacional de la calidad del aire, Apurímac, Perú.

Vásquez Huamán, L. A. (2020). “Determinación de la concentración de partículas en suspensión PM10 en maderera y molinera del distrito de la Banda de Shilcayo”. (*Tesina para obtener el grado de bachiller en ingeniería ambiental*). Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú.

Vega Fregoso, G. (2019). Procesos de degradación y efectos en la salud de un grupo de niños y niñas escolarizados en colonias del municipio de tlaquepaque, jalisco. *tesis que para optar al grado de doctora en ciencias sociales*. Ciesas, Guadalajara, Mexico.

Viana, M. (2003). *Niveles, composición y origen del material particulado atmosférico en los sectores Norte y Este de la Península Ibérica y Canarias*. Universidad de Barcelona.

Yadav, A., Altun, E., & Yousof, H. (2021). Distribución exponencial de Burr-Hatke: un modelo de tasa de falla decreciente, inferencia estadística y aplicaciones. *Anales de ciencia de datos*, 8, 241-260.

Zayas, R., & Cabrera, U. (2007). *Los tóxicos ambientales y su impacto en la salud*.

Web Grafía – Link Grafía

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5647/B8_2022_UNU_AMBIENTA_L_T_2022_DEIVY_ALDABA_V1.pdf?sequence=1

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/76637/Sandoval_BRE-SD.pdf?sequence=1

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8538/1/Lizalde%20Alvarado%20P.%20%E2%80%93%20Merino%20Jima%20J.%20%282022%29%20Determinaci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20material%20particulado%20sedimentable%20generado%20por%20actividades%20antr%C3>

<https://doi.org/https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i4.1.2393>

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SOLIS%20ANDRES%20STEVEN.pdf>

<https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8538/1/Lizalde%20Alvarado%20P.%20%E2%80%93%20Merino%20Jima%20J.%20%282022%29%20Determinaci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20material%20particulado%20sedimentable%20generado%20por%20actividades%20antr%C3>

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SOLIS%20ANDRES%20STEVEN.pdf>

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5647/B8_2022_UNU_AMBIENTA_L_T_2022_DEIVY_ALDABA_V1.pdf?sequence=1

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/76637/Sandoval_BRE-SD.pdf?sequence=1

<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8538/1/Lizalde%20Alvarado%20P.%20%E2%80%93%20Merino%20Jima%20J.%20%282022%29%20Determinaci%C3%B3n%20y%20caracterizaci%C3%B3n%20del%20material%20particulado%20sedimentable%20generado%20por%20actividades%20antr%C3>

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/MORA%20SOLIS%20ANDRES%20STEVEN.pdf>

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/5647/B8_2022_UNU_AMBIENTAL_T_2022_DEIVY_ALDABA_V1.pdf?sequence=1

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/76637/Sandoval_BRE-SD.pdf?sequence=1

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes