

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Monitoreo y modelamiento de la calidad de aire en la capital de la provincia de Huanta - Ayacucho, 2023

Mirko Semir Huaroto Arango
Noemi Tania Mendoza Asencio

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Anieval Peña Rojas
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 10 de Julio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Monitoreo y modelamiento de la calidad de aire en la capital de la provincia de Huanta – Ayacucho, 2023

Autores:

1. Mirko Semir Huaroto Arango – EAP. Ingeniería Ambiental
2. Noemi Tania Mendoza Asencio – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19% de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

Filtro de exclusión de bibliografía SI ☒ NO ☐

Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15 SI ☒ NO ☐

Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI ☒ NO ☐

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento al Dr. Anieval Peña Rojas por su valiosa orientación, apoyo y dedicación durante todo este proceso de investigación. Su experiencia y sabiduría fueron fundamentales para dar forma a este trabajo y para ayudarme a superar los desafíos que encontré en el camino.

También deseo agradecer sinceramente a mis padres, Carlos y Sergia, por su amor incondicional, su constante respaldo y los sacrificios realizados para hacer posible mi educación. Su aliento y apoyo emocional fueron mi mayor motivación durante esta difícil travesía, y este logro no habría sido alcanzado sin su amor y apoyo inquebrantables. Agradezco profundamente a todas las personas que contribuyeron de alguna manera u otra al desarrollo de este trabajo; su colaboración ha sido invaluable. Este logro también les pertenece.

Esta tesis no solo marca un hito en mi educación, sino que también es un homenaje a todos aquellos que han formado parte de este recorrido conmigo. Les estoy eternamente agradecido.

Agradezco a dios por mantearme fuerte y firme ante las adversidades de la vida.

A mi hermano que está en el cielo por haberme dado sus mejores consejos para salir adelante, mi gran motivación y adoración que llevo a mi vida mi hijo abdiel.

DEDICATORIA

A mis padres, que con esfuerzo me apoyaron a concretar mis estudios y velaron por mi bienestar siendo mi apoyo incondicional durante años, nunca dudaron de mis capacidades para lograr mis metas depositando sus confianzas en mí, para superar los retos que se presentan día a día, y lograr forjarme como un profesional exitoso.

A todos los que han sido parte de este viaje, amigos, profesores y seres queridos, también les agradezco por su apoyo y motivación.

Mirko Semir Huaroto Arango

A mis padres, quienes a lo largo de mi trayectoria de vida me han velado por bienestar y educación siendo mi apoyo en cada momento. Depositando su entera confianza en cada reto de la vida, gracias a mi hijo abdiel mi mayor motivo para seguir llegando donde estoy.

Noemi Tania Mendoza Asencio

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1. Planteamiento del problema	15
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema general.....	18
1.2.2. Problema específico.....	18
1.3. Objetivos	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.4. Objetivo específico.....	18
1.5. Justificación e importancia	18
1.5.1. Económico	18
1.5.2. Social (educación o salud).....	19
1.5.3. Ambiental.....	19
1.5.4. Teórico	20
1.6. Hipótesis y - descripción de variables	20
1.6.1. Hipótesis - general.....	20
1.6.2. Hipótesis específicas	20
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Antecedentes del problema.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	25
2.1.3. Marco Legal	28
2.2. Bases teóricas	31
2.2.1. Fundamentos teóricos.....	31
A. Fuentes de contaminación locales.....	35

B. Fuentes Naturales	35
C. Los contaminantes del aire	38
D. Monitoreo de calidad del aire	40
E. Estándares y regulaciones peruanas.....	40
F. Índice de calidad de aire	41
G. Modelos de dispersión:.....	43
H. Educación y sensibilización:	44
I. Estrategias de mitigación:.....	44
2.3. Definición de términos básicos.....	44
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	45
3.1. Método, y alcance de la investigación	45
3.1.1. Método de la investigación:.....	45
3.1.2. Tipo de la investigación:.....	45
3.1.3. Alcance o Nivel de la Investigación	45
3.2. Diseño de la investigación	46
3.3. Población y muestra	46
3.3.1. Población.....	46
3.3.2. Muestra	47
3.4. Materiales y métodos:	50
3.4.1. Materiales:.....	50
3.4.2. Método:	51
3.4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	55
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	57
4.1.1. Concentración de Monóxido de carbono	57
4.1.2. Concentración de Material particulado 2.5	62
4.1.3. Concentración de material particulado 10 (PM10)	66
4.1.4. Análisis de los Resultados	71
4.2. Prueba de hipótesis.....	75
4.2.1. Hipótesis específica 1	75
4.2.2. Hipótesis específica 2.....	77
4.2.3. Hipótesis específica 3	78
4.2.4. Hipótesis general	79
4.3. Modelamiento de la dispersión de contaminantes	80

4.4. Discusión de resultados	86
4.4.1. Concentración de PM10: Evaluación y Comparación	86
4.4.2. Concentración de PM2.5: Resultados y Análisis	86
4.4.3. Concentración de Monóxido de Carbono (CO)	87
4.4.4. Análisis de los resultados	87
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de puntos de monitoreo en el distrito de Huanta.....	17
Figura 2. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire	30
Figura 3. Contaminación del aire por vehículos	32
Figura 4. Contaminación del aire en zonas urbanas	33
Figura 5. Contaminación primaria y secundaria.....	34
Figura 6. Fuentes de contaminación de la atmosfera	37
Figura 7. La contaminación y su dinámica en la atmosfera.....	38
Figura 8. Diseño de investigación	46
Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Huanta – Ayacucho	49
Figura 10. Instalación y manipulación del tren de muestreo	53
Figura 11. Resultado para las concentraciones para Monóxido de Carbono (CO).....	71
Figura 12. Resultado de las concentraciones para material particulado (PM2. 5)	73
Figura 13. Resultado de las concentraciones para el Material particulado (PM10)	74
Figura 14. Mapa de calor de la concentración de CO.....	80
Figura 15. Mapa de calor por niveles de la concentración de CO	81
Figura 16. Mapa de calor de la concentración de PM 2.5 micras	82
Figura 17. Mapa de calor por niveles de la concentración de PM 2.5 micras	83
Figura 18. Mapa de calor de la concentración de PM 10 micras	84
Figura 19. Mapa de calor de la concentración por niveles de PM 10 micras	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	22
Tabla 2. Fuentes naturales de contaminación	36
Tabla 3. Estándares establecidos por el gobierno peruano para regular la calidad del aire	41
Tabla 4. Cuadro de valoración del índice de calidad ambiental (INCA).....	43
Tabla 5. Puntos de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Huanta	47
Tabla 6. Metodología del ensayo.....	54
Tabla 7. Resultado de la calidad de aire – Monóxido de carbono (CO).....	60
Tabla 8. Resultado de la calidad de aire – Material particulado 2.5 (PM2.5)	64
Tabla 9. Resultado de la calidad de aire – Material particulado 10 (PM10)	68
Tabla 10. Monóxido de carbono por puntos de muestreo	76
Tabla 11. Estadístico de prueba t student.....	76
Tabla 12. Material Particulado 2.5 micras por puntos de muestreo	77
Tabla 13. Estadístico de prueba t student	77
Tabla 14. Material Particulado PM 10 por puntos de muestreo	78
Tabla 15. estadístico de prueba t student	79
Tabla 16. Resumen de concentraciones de los 8 puntos de monitoreo	89

RESUMEN

La contaminación antropogénica ha ido aumentando consecutivamente estos últimos años ya que las ciudades están en crecimiento tanto poblacional, automotriz, industrial, entre otros por lo cual, esto conlleva a la generación de contaminantes que deterioran el medio ambiente ya sea atmosférico, en el agua y el suelo, se han desarrollado varios métodos de obtención de datos de las concentraciones de estos contaminantes por medio de hardwares, softwares, muestreos, estaciones de monitoreo ambiental, sensores remotos, imágenes satelitales e índices de calidad ambiental, lo cual estos datos determinan en qué estado está el lugar donde ha sido monitoreado, comparando estos datos con los estándares de calidad ambiental (ECA) que lo determina la MINAM, que fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. Los contaminantes atmosféricos están presentes en todos lugares y no podemos percibirlo porque lógicamente son de tamaños microscópicos, el objeto de estudio es ver los lugares donde están las emisiones de estos contaminantes dentro de la ciudad de Huanta, para poder advertir e informar a la población a lo que están expuestos al realizar sus actividades cotidianas dentro de la ciudad de Huanta. Los contaminantes presentes en la atmósfera pueden ser Dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), Plomo (Pb), etc. Que pueden generar diferentes tipos de enfermedades respiratorias agudas, crónicas, cardiovasculares, efectos en el sistema nervioso, fertilidad y embarazo, problemas de desarrollo infantil hasta el cáncer al pulmón, es por eso que el presente estudio está enfocado al monitoreo, modelamiento, manejo de datos y resultados que nos darán a conocer en qué estado está la calidad atmosférica en la ciudad de Huanta y saber si superan los (ECA) y los (LMP).

Palabras claves: ECA, LMP, contaminación antropogénica, MINAM

ABSTRACT

Anthropogenic pollution has been increasing consistently in recent years due to the growth of cities in terms of population, automotive activity, industry, among other factors. This leads to the generation of pollutants that deteriorate the environment, including the atmosphere, water, and soil. Various methods have been developed to obtain data on the concentrations of these pollutants, utilizing hardware, software, sampling, environmental monitoring stations, remote sensors, satellite imagery, and environmental quality indices. These data determine the state of the monitored area, comparing them with Environmental Quality Standards (ECA) set by the Ministry of the Environment (MINAM), which establish the maximum allowed values for pollutants in the environment. Atmospheric pollutants are ubiquitous and often go unnoticed as they are microscopic. The focus of this study is to identify locations with emissions of these pollutants within the city of Huanta, aiming to alert and inform the population about the exposures they face during their daily activities. Common atmospheric pollutants include sulfur dioxide (SO₂), carbon monoxide (CO), lead (Pb), etc., which can lead to various respiratory diseases, cardiovascular issues, nervous system effects, fertility and pregnancy problems, developmental issues in children, and even lung cancer. Therefore, this present study is centered on monitoring, modeling, data management, and results analysis to reveal the state of atmospheric quality in the city of Huanta, determining whether the levels exceed Environmental Quality Standards (ECA) and Maximum Permissible Levels (LMP).

Keywords: ECA, LMP, anthropogenic pollution, MINAM.

INTRODUCCIÓN

La problemática general relacionada con la calidad del aire en Huanta durante el año 2023 se centra en la presencia de contaminantes atmosféricos, sus efectos en la salud pública, la carencia de datos confiables, los desafíos ambientales y climáticos, las desigualdades socioeconómicas y la urgente necesidad de planificaciones urbanísticas más sostenibles. Solucionar estos problemas exige esfuerzos coordinados a nivel local y regional para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los habitantes.

Cabe destacar que en las últimas décadas ha aumentado a nivel mundial el interés en monitorizar y mejorar la calidad del aire en áreas urbanas y ciudades, motivado por el creciente problema de la contaminación y sus efectos nocivos en el medio ambiente y la salud. Esta tendencia ha impulsado la implementación de sistemas de vigilancia atmosférica, la promulgación de normativas ambientales y la formulación de acciones para mitigar la contaminación del aire.

La contaminación atmosférica resulta de una serie de actividades humanas y factores diversos que liberan sustancias nocivas a la atmósfera. Estos contaminantes afectan negativamente la salud de las personas, el medio ambiente y contribuyen al cambio climático. Es importante señalar que la magnitud y naturaleza de estos factores varían según la geografía y las condiciones particulares de cada localidad, lo que convierte la problemática en un asunto complejo. Por ello, reducir la contaminación aérea exige la adopción de regulaciones, tecnologías limpias y cambios en las conductas humanas para disminuir las emisiones contaminantes.

El objetivo central del presente estudio es evaluar y comprender el estado de la calidad del aire en la ciudad de Huanta. Esto incluye recopilar información sobre los niveles de diferentes contaminantes atmosféricos y emplear esos datos para modelar y analizar la situación actual de la calidad del aire. Con base en estos resultados, se pueden desarrollar recomendaciones y estrategias orientadas a mejorar la calidad del ambiente y reducir los efectos adversos en la salud y el ecosistema.

La investigación busca plantear soluciones a la problemática de la calidad del aire en Huanta, abordando aspectos como la contaminación atmosférica, sus repercusiones en la salud pública, la escasez de datos confiables, los retos en la planificación urbana y la vulnerabilidad al cambio

climático. El propósito final es generar una base sólida de información, que sirva para definir políticas y acciones destinadas a mejorar el ambiente y la calidad de vida de la comunidad local.

Metodológicamente, se siguió lo establecido en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, empleando un equipo de medición de gases TREN DE MUESTREO y el uso del Sistema de Información Geográfica ARCGIS. Además,, para conocer la percepción de la población respecto a la problemática, se recopiló su opinión en diferentes etapas del estudio. Estudios como este, enmarcados en la Agenda de Investigación Ambiental, son fundamentales para promover acciones concretas que mejoren la calidad de vida y sirvan como referencia para futuras investigaciones que contribuyan al desarrollo sostenible de la ciudad, además de ayudar a mitigar los efectos del monóxido de carbono en el contexto del cambio climático.

Se llevaron a cabo observaciones y mediciones sistemáticas en condiciones controladas y en entornos naturales con la finalidad de obtener datos precisos, responder a preguntas de investigación o comprobar hipótesis. En este estudio, se utilizó el TREN DE MUESTREO para recopilar información específica sobre la concentración de contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono, PM10 y PM2.5 en distintas ubicaciones y horarios dentro de Huanta.

Finalmente, la finalidad del proyecto es brindar a las autoridades locales información fundamentada que facilite decisiones informadas, además de crear un marco de referencia para la implementación de medidas que regulen las emisiones, mejoren la planificación urbana y fomenten prácticas más sostenibles. Todo esto con el fin de lograr una mejor calidad del aire y una salud más sólida en el entorno de la capital de la provincia de Huanta.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Millones de individuos habitan en zonas donde la presencia de contaminantes atmosféricos tóxicos puede representar graves riesgos para su salud. Desde 1970, la Ley de Aire Limpio ha establecido la normativa principal destinada a proteger tanto a la población como al medio ambiente frente a los efectos nocivos de la contaminación del aire. Con las modificaciones aprobadas en 1990, el Congreso buscó enfrentar los contaminantes peligrosos que provienen de fuentes diversas, tales como plantas químicas, acerías, vehículos y camiones (1).

En marzo de 2014, la Organización Mundial de la Salud (OMS) advirtió que la contaminación del aire, que incluye sustancias como partículas en suspensión (PM), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), provoca aproximadamente 3.7 millones de muertes prematuras anualmente a nivel global. De hecho, la contaminación del aire, específicamente el material particulado, representa la principal causa ambiental de mortalidad y morbilidad, además de ser la novena causa en términos absolutos, superando incluso factores como el colesterol alto o la falta de ejercicio físico. Diversos estudios recientes sobre los efectos tanto agudos como crónicos de estos contaminantes han confirmado que la exposición prolongada aumenta el riesgo de sufrir accidentes cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, y problemas respiratorios tanto agudos como crónicos, incluyendo el asma. Además, parece que no existe un nivel de exposición seguro, ya que incluso a niveles muy bajos ya se podrían presentar efectos nocivos en la salud (2).

La emisión de contaminantes peligrosos en áreas urbanas y sus alrededores suele ser resultado de la elevada concentración industrial, del gran número de vehículos en circulación y de otras actividades comerciales en estas zonas (1). Según datos de la OMS, en 2016 en las Américas aproximadamente 249 mil muertes prematuras se atribuyeron a la contaminación del aire exterior, mientras que cerca de 83 mil se relacionaron con el uso de combustibles sólidos en viviendas. Entre los contaminantes de corto plazo que afectan al clima, el carbono negro destaca

por su capacidad de modificar el calentamiento global, lo cual puede tener repercusiones adversas en la salud. La población en general está expuesta a esta problemática (3).

En Perú, las principales ciudades, especialmente las costeras y aquellas en las regiones selvática y andina, enfrentan frecuentemente problemas relacionados con las emisiones vehiculares. Esto se atribuye no solo a la antigüedad de los automóviles, sino también a la calidad del combustible usado. En el norte, todavía se comercializan combustibles de baja calidad para vehículos, mientras que en el sur ya se emplean combustibles más limpios; sin embargo, en la Amazonía aún prevalecen combustibles contaminantes.

Por otro lado, en niveles más altos de responsabilidad, las ciudades con mayor concentración industrial no están completamente reguladas. Aunque actividades como la explotación de hidrocarburos, minería y pesca están bajo la supervisión del Ministerio de la Producción, muchos otros procesos industriales, como la fabricación artesanal de ladrillos, las calderas industriales y las fundiciones, carecen de un control adecuado y permanecen abandonados. En este contexto, instituciones como el MINAM y PRODUCE han tratado de implementar normativas específicas, aunque estas actividades no siempre caen dentro de las regulaciones principales, dejando un espacio para acciones que reduzcan la contaminación que afecta al medio ambiente.

En Huanta, Ayacucho, la calidad del aire puede incidir en la salud de sus habitantes, dado que la contaminación atmosférica es una de las causas principales de diversas enfermedades, incluyendo cáncer y patologías cardiovasculares y respiratorias. Se estima que, a nivel mundial, la contaminación del aire provoca cerca de siete millones de muertes cada año. Aunque no se han realizado estudios específicos sobre la calidad del aire en Huanta, es fundamental reconocer que la exposición a niveles elevados de contaminantes puede afectar especialmente a grupos vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias preexistentes.

.

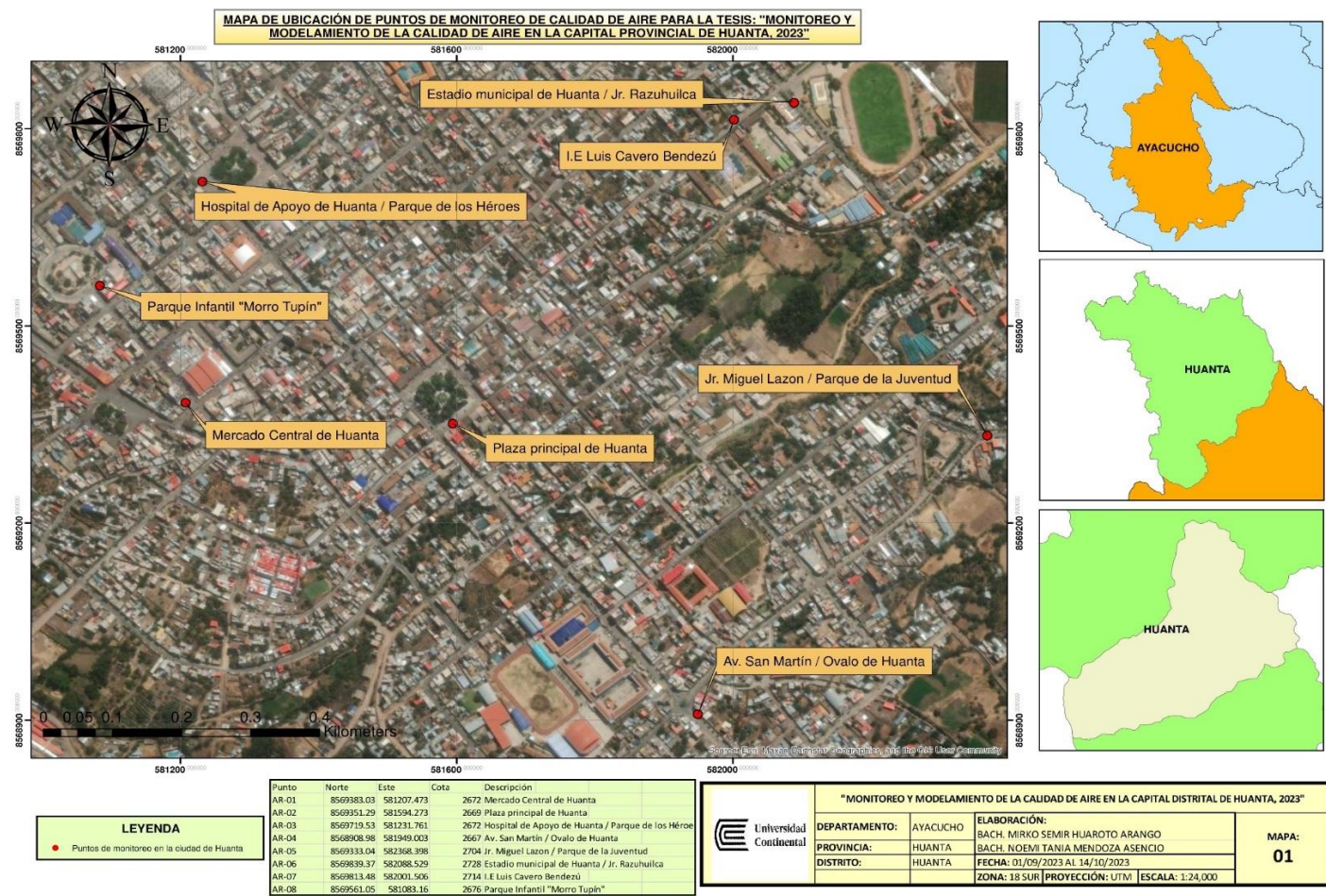


Figura 1. Mapa de puntos de monitoreo en el distrito de Huanuco

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es el efecto de la actividad antropogénica y parque automotor en la calidad de aire en la capital provincial de Huanta?

1.2.2. Problema específico

- ¿Cómo influye el aumento del parque automotor en la emisión de monóxido de carbono en la capital provincial de Huanta?
- ¿Cuál es el impacto de la actividad antropogénica en los niveles de material particulado 2.5 micras en Huanta?
- ¿Cuál es el nivel de exposición de la población urbana de Huanta al material particulado de 10 micras?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el efecto de la actividad antropogénica y parque automotor en la calidad de aire en la capital provincial de Huanta.

1.4. Objetivo específico

- Determinar la influencia del aumento del parque automotor en la emisión de monóxido de carbono en la capital provincial de Huanta.
- Evaluar el impacto de la actividad antropogénica en los niveles de material particulado 2.5 micras en Huanta.
- Determinar el nivel de exposición de la población urbana de Huanta al material particulado de 10 micras.

1.5. Justificación e importancia

1.5.1. Económico

Para la elaboración de la presente tesis se procedió a alquilar el equipo denominado “tren de muestreo” para tomar muestras de diferentes lugares puntuales en la ciudad de Huanta, fueron 8 puntos las cuales están ubicadas en sitios específicos donde hay concentración de gente y vehículos, luego de tomar las muestras se procedió a enviar las muestras a un laboratorio certificado por la INACAL en Lima, se puede decir que los costos de implementación del proyecto son altos en términos de dinero y tiempo.

1.5.2. Social (educación o salud)

(Es necesario saber al grado de contaminación que se expone la persona al realizar diferentes actividades (pasear, caminar por la ciudad, hacer deporte, comer, comprar, trabajar, etc.), para lo cual en este trabajo el punto de interés es determinar el grado de contaminación que se emite, para así advertir a las personas y tomen las medidas necesarias para repelerlas, así como los habitantes de la ciudad para que sea consciente y reduzca los niveles de emisión de contaminantes atmosféricos así como también no sobrepase los estándares de calidad ambiental.)

El monitoreo y modelamiento de la calidad del aire proporcionará datos y resultados científicos sólidos que podrán ser utilizados en programas educativos. Estos datos pueden ser incorporados en el currículo escolar, permitiendo a los estudiantes comprender los efectos de la contaminación del aire en la salud humana y el medio ambiente. Esto fomentará una mayor conciencia y responsabilidad ambiental, promoviendo prácticas más sostenibles y reduciendo la exposición a contaminantes atmosféricos perjudiciales.

Además, esta investigación puede contribuir significativamente a la protección de la salud de la población de Huanta. Al identificar las fuentes de contaminación y analizar los patrones de distribución espacial de los contaminantes, se podrán tomar medidas preventivas y de mitigación específicas para reducir la exposición a la contaminación del aire. Esto es especialmente importante para grupos vulnerables, como niños, ancianos y personas con enfermedades respiratorias, quienes pueden experimentar efectos adversos en su salud debido a la mala calidad del aire.

1.5.3. Ambiental

Los contaminantes del aire como las partículas (PM₁₀ y PM_{2,5}) y el monóxido de carbono (CO) son una amenaza directa para la salud humana y los ecosistemas circundantes. Las partículas finas (PM_{2,5}) y gruesas (PM₁₀) pueden ingresar en los pulmones, generando problemas respiratorios y contribuyendo a enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, el monóxido de carbono, procedente principalmente del parque automotor que son fuentes de combustión, presenta graves riesgos porque interrumpe el flujo de oxígeno en la sangre y afecta

negativamente a la calidad del aire. Monitorear la presencia, distribución e impacto de estos contaminantes específicos es vital para entender los impactos a nivel local y desarrollar estrategias de mitigación efectivas que protejan la salud pública y la integridad de los habitantes de la ciudad de Huanta.

1.5.4. Teórico

La calidad del aire es un tema ampliamente estudiado en la literatura científica y existe un conjunto sólido de teorías y modelos que respaldan la comprensión de la contaminación atmosférica y sus efectos en la salud y el medio ambiente. La presente tesis contribuirá a esta base teórica existente y ampliará el conocimiento en el campo de la calidad del aire en la región específica de Huanta - Ayacucho.

Al realizar un monitoreo exhaustivo de los contaminantes atmosféricos en Huanta, se tendrá la oportunidad de aplicar y evaluar diferentes modelos teóricos que explican la formación y dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Estos modelos incluyen la modelación matemática de la calidad del aire, que utiliza principios físicos y químicos para predecir la concentración y el comportamiento de los contaminantes en diferentes escenarios.

Además, también puede abordar teorías relacionadas con la identificación de fuentes de contaminación, como la modelación de retrotrazadores y análisis de componentes principales. Estos enfoques teóricos permitirán identificar las fuentes principales de contaminación en Huanta y comprender cómo se distribuyen espacialmente los contaminantes en la región.

Asimismo, es importante considerar teorías relacionadas con los efectos de la contaminación del aire en la salud humana y el medio ambiente. Estas teorías incluyen la relación entre la exposición a contaminantes atmosféricos y enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros problemas de salud. Al comprender y aplicar estas teorías, se podrá evaluar los posibles impactos de la contaminación del aire en la población de Huanta y proporcionar recomendaciones para su mitigación.

1.6. Hipótesis y descripción de variables

1.6.1. Hipótesis general

La actividad antropogénica y parque automotor influye en la calidad de aire en la capital provincial de Huanta.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El aumento del parque automotor influye en la emisión de monóxido de carbono en la capital provincial de Huanta.
- La actividad antropogénica incrementa los niveles de material particulado 2.5 micras en Huanta, no supera el límite máximo permisible.
- El nivel de exposición de la población urbana de Huanta al material particulado de 10 micras, no es potencialmente peligrosa.

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
INDEPENDIENTE Actividad Antropogénica y parque automotor.	Conjunto de acciones humanas que impactan el entorno natural, incluyendo la emisión de contaminantes por vehículos en circulación.	Se medirá mediante la cuantificación de las principales fuentes de emisión relacionadas con la actividad humana y el parque automotor en la zona de estudio.	Actividad antropogénica	Actividad comerciales	Razón
			Parque automotor	Número de vehículos por turno diario	Intervalo
DEPENDIENTE Calidad de aire.	Estado del aire determinado por la presencia de contaminantes, como gases y partículas, que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente.	Se evaluará mediante la medición de la concentración de contaminantes específicos en el aire en puntos de monitoreo seleccionados.	Gas contaminante CO (monóxido de carbono)	concentración de CO en el aire	ppm (partes por millón)
			Material particulado 10 micras	Concentración de PM10 en el aire	µg/m ³ (microgramos por metro cúbico)
			Material particulado de 2.5 micras	Concentración de PM2.5 en el aire	µg/m ³ (microgramos por metro cúbico)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En el año 2000, Alcaide López de la Manzanara llevó a cabo una investigación en España titulada “Efectos ambientales del tráfico urbano: La evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid”. En dicha publicación, se menciona que, en relación con la problemática de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de Madrid, se desarrolló una herramienta específica para evaluar las emisiones de contaminantes provenientes del tráfico durante un día laborable típico. Esta evaluación consideró condiciones de estabilidad atmosférica para mayor precisión. Para ello, se utilizaron datos históricos de contaminación colectados entre 1990 y 1995. El principal objetivo fue determinar los valores promedio de los diferentes contaminantes en distintas estaciones del año (invierno, verano y primavera-otoño) en días laborales. Estos valores sirvieron de base para ajustar el modelo de dispersión de contaminantes. La metodología aplicada no solo facilitó el cálculo de las emisiones, sino que también permitió valorar la efectividad de los modelos utilizados para simular la dispersión de los contaminantes. De esta forma, estos modelos fueron utilizados para comparar diferentes escenarios de tráfico y analizar su influencia en la calidad del aire. En conclusión, esta herramienta resulta de gran utilidad para gestionar y controlar la contaminación vehicular en ambientes urbanos (4).

En Ecuador, en 2011, Catota y Moreno realizaron su tesis titulada “Contaminación ambiental producida por el parque automotor en el transporte urbano de la Sultana de Cotopaxi”. En su estudio, propusieron la creación y puesta en marcha de un marco regulatorio llamado “CORPAIRE”, con la finalidad de controlar las emisiones vehiculares y mejorar la calidad del aire en Lacatunga. La investigación abordó los problemas derivados de la contaminación producida por los vehículos, los cuales generan impactos severos en la salud pública. En particular, destacaron que el smog generado por autobuses que incumplen con la Ley de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial afecta principalmente el sistema respiratorio de niños y ancianos. La Constitución de Ecuador reconoce el derecho de todos a vivir en un ambiente saludable y libre de contaminación, por lo que resulta fundamental implementar controles continuos a través de un sistema de revisión vehicular que asegure el cumplimiento de las normativas vigentes (5).

Por otro lado, en 2018, Gonzales llevó a cabo una investigación titulada “Estimación de la emisión anual de PM10 proveniente de las fuentes móviles en vías de alto tráfico de Barranquilla mediante un inventario de emisiones con el modelo IVE”. En ella, se concluye que el material particulado PM10 representa un contaminante de particular interés debido a su impacto negativo en la salud y en el medio ambiente. El sector transporte es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de PM10; por ello, se han desarrollado inventarios que permiten evaluar su cantidad y determinar la participación de diferentes tipos de vehículos. En Barranquilla, este inventario de emisiones vehiculares se basó en datos de aforos, registros del parque automotor y patrones de conducción en vías de alto movimiento, especialmente en la Avenida Circunvalar y la Vía 40. Los resultados indican que anualmente se generan aproximadamente 165 toneladas de PM10 en estas arterias, siendo los camiones, autobuses y motocicletas los principales emisores. Además, el estudio reveló que los vehículos diésel aportan cerca del 90% de las partículas en cuestión. La generación de PM10 aumenta en las horas de mayor congestión debido a cambios en los patrones de conducción. Finalmente, se recomienda la aplicación del modelo IVE en la ciudad y sugiere profundizar en el análisis de los patrones de tráfico en futuras investigaciones para mejorar la estimación de las emisiones vehiculares (6).

En marzo de 2021, Arboleda y Neto realizaron una tesis titulada “Modelos parametrizados de calidad del aire basados en sensores remotos en el distrito metropolitano de Quito durante los años 2016 a 2019”. En su investigación, definieron la metodología para estimar la calidad del aire en Quito mediante análisis geoestadísticos, desarrollando modelos matemáticos que permiten predecir la presencia de contaminantes atmosféricos tales como dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono en la troposfera (O₃), material particulado PM_{2.5} y dióxido de azufre (SO₂). Para ello, usaron imágenes satelitales del Sentinel-2, productos MODIS Aerosol MAIAC, además de datos de monitoreo atmosférico proporcionados por la Red Metropolitana de Monitoreo de la Calidad del Aire de Quito (REMMAQ) cubriendo los años 2016 a 2019.

El estudio se estructuró en cinco etapas principales. La primera consistió en la planificación del trabajo experimental, donde se identificaron y plantearon los problemas, se revisaron antecedentes y se establecieron los objetivos. La segunda fase comprendió una revisión bibliográfica en la que se revisaron conceptos y metodologías relevantes. Luego, se recopilieron datos de la REMMAQ y se descargaron las imágenes de Sentinel-2 y los productos MODIS Aerosol MAIAC, considerando el marco temporal definido. Para el procesamiento de datos espaciales, se realizó preprocesamiento que incluyó correcciones atmosféricas, remuestreo, mosaico y recortes (clip), empleando el software SNAP y QGIS, específicamente la herramienta

SCP. Además, fue necesario realizar cálculos de índices ambientales y extracción de valores pixel en ArcMap.

En la cuarta etapa, se llevó a cabo un análisis estadístico, donde se calcularon variables de estadística descriptiva con el objetivo de eliminar valores atípicos del conjunto de datos, preparando así los datos para la creación de modelos de regresión lineal. Finalmente, se evaluaron los coeficientes de determinación (R^2), seleccionando aquellos que más se aproximaban a 1 para cada año y un valor general que considerara los cuatro años estudiados. Con estos resultados, se obtuvieron las ecuaciones que permitieron generar mapas de distribución de los contaminantes analizados (7).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el año 2019 Huaytanis, realiza la investigación no experimental de corte transversal se centró en determinar la relación entre el modelamiento de dispersión de gases utilizando AERMOD versión 8.9 y los parámetros meteorológicos en el Centro Poblado Santa María de Huachipa en 2019. Se recopiló información meteorológica del SENAMHI para un año (2018) desde la estación de La Molina, considerando tres parámetros: temperatura, dirección y velocidad del viento. Además, se realizó un monitoreo exhaustivo de emisiones atmosféricas cerca de las chimeneas de una industria ladrillera, obteniendo velocidades y concentraciones de gases. El modelamiento de dispersión se llevó a cabo utilizando AERMOD View, considerando características topográficas específicas. Al comparar los modelos resultantes con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el aire, se encontró que el SO_2 supera el valor permisible, el CO está dentro de los límites en ciertos períodos y el NO_2 también excede el valor permisible en un período de 1 hora. En resumen, se estableció una relación significativa entre las variables en el Centro Poblado Santa María de Huachipa durante ese año (8).

En su investigación Acosta & López, se aborda un aspecto crucial de la problemática ambiental: el monóxido de carbono en la ciudad de Huamanga. El objetivo principal es evaluar los niveles de exposición de la población a estas emisiones. Al observar las concentraciones de monóxido de carbono y compararlas con los estándares de calidad ambiental, se ha identificado el riesgo que representa para la salud pública. La falta de monitoreo adecuado en muchas ciudades, incluida Huamanga, dificulta la comprensión completa de la situación actual y los posibles riesgos a largo plazo. Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron herramientas como el equipo medidor de gases CROWCON-GASPRO IR y el Sistema de Información Geográfica ArcGIS. Además, se recopilaron datos mediante encuestas y observaciones directas para evaluar los niveles de monóxido de carbono y obtener la perspectiva de la población afectada. Este tipo de investigaciones no solo proporciona información relevante para la ciudad actual, sino también

servirá como referencia para futuros estudios. Contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población y a mitigar los efectos del monóxido de carbono en el cambio climático (9)

Para el año 2019 a 2020, Valeriano Zapana en su investigación se centró en la relación entre las variables meteorológicas y la dispersión de contaminantes atmosféricos en el distrito de Pacocha, provincia de Ilo, Perú, durante los años 2019 y 2020. Los hallazgos indican que la actividad económica y los patrones de viento influyen significativamente en la concentración de contaminantes. Se observaron correlaciones notables entre contaminantes como PM10, O₃ y SO₂, y factores meteorológicos como la velocidad del viento y la humedad. Además, las trayectorias de retorno de HYSPLIT sugieren que los vientos provienen de Chile, Bolivia y regiones nacionales como Madre de Dios, Ucayali y Arequipa (10).

n la región de Huancayo, durante el año 2017, Cuadros Baldeón llevó a cabo una investigación cuyo propósito fue determinar la relación existente entre las variables meteorológicas—como la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa—y la calidad del aire ocasionada por el material particulado (PM10) generado en el proceso de producción artesanal de ladrillos en la comunidad campesina de Cullpa Baja, en abril de ese año. La metodología empleada fue de tipo exploratorio, descriptivo y de diseño transversal, basada en un análisis observacional. Se analizaron los datos provenientes de cuatro muestras de material particulado recopiladas mediante un muestreador de alto volumen, empleando listas de cotejo como evidencia del proceso de observación. Los resultados indicaron que el valor promedio validado de la concentración de PM10 fue de 199.4425 µg/m³, superando el Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Además, el análisis estadístico de la relación entre la temperatura y la calidad del aire, realizado a través del coeficiente de Spearman (Rho), arrojó un valor de significancia estadística de 0.6 y un coeficiente de correlación de 0.4. La relación entre la velocidad del viento y la calidad del aire, evaluada con la prueba de Pearson, mostró una significancia de 0.473 y un coeficiente de correlación de -0.527. Finalmente, el análisis de la humedad relativa mediante Pearson reveló una significancia de 0.194 y un coeficiente de correlación de 0.806. La conclusión principal fue que, en abril de 2017, la calidad del aire afectada por el PM10 en esta comunidad fue deficiente, y no se encontró una relación directa entre los factores meteorológicos considerados y la calidad del aire producida por dicho material particulado (11).

Por otro lado, en un estudio llevado a cabo en 2019 por Ponce Estela, se analizó la relación entre la concentración de PM10 y las condiciones climáticas en los distritos de San Juan de Miraflores y Santiago de Surco, en Lima. El objetivo principal fue identificar cómo varían las concentraciones de PM10 en función de aspectos relacionados con el clima, como la dirección y velocidad del viento, así como otros factores fisicoquímicos como la presión atmosférica, el punto de rocío, la temperatura, la radiación solar y la humedad relativa. La metodología

consistió en analizar las tendencias mensuales de cada parámetro de calidad del aire y los cambios en las condiciones meteorológicas, además de realizar análisis de rosa de viento y estudiar la relación entre PM10 y cada variable climática. Los datos diarios de PM10 se compararon con los estándares de calidad ambiental establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la normativa peruana (D.S. N°003-2017-MINAM). Los resultados obtenidos aportan información útil para proyectar la calidad del aire en las estaciones de monitoreo analizadas, considerando las condiciones meteorológicas, con el fin de optimizar la gestión urbana(12).

En otra investigación, Euribe y Neyra analizaron la calidad del aire en Arequipa mediante datos de monitoreo de PM2.5, supervisados por la Gerencia Regional de Salud (GERESA) y el área de Salud Ambiental, responsables del control de la calidad del aire en esa ciudad. Además de los niveles de partículas finas, consideraron variables meteorológicas como precipitación, presión atmosférica, evaporación, dirección y velocidad del viento, cuya información fue suministrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). La evaluación abarcó datos horarios, diarios, mensuales y anuales de PM2.5, comparándolos con los estándares de calidad establecidos, y se examinó la correlación entre estas concentraciones y cada variable meteorológica durante los años 2015, 2016, 2019 y 2020. El análisis permitió entender mejor cómo influye el clima en la calidad del aire en la ciudad de Arequipa (13).

En 2022, Dalens y Macedo llevaron a cabo una investigación titulada "Evaluación de la calidad del aire por emisiones de CO, PM2.5 y PM10 generadas por la industria ladrillera en Cusco". El propósito central de esta tesis fue analizar la calidad del aire en relación con las emisiones de estos contaminantes provenientes de las ladrilleras en la ciudad de Cusco. La investigación se caracteriza por ser de tipo descriptivo, ya que proporciona datos precisos sobre las condiciones atmosféricas en dichas instalaciones, sirviendo como base para futuros estudios. Desde un enfoque metodológico aplicado y con un carácter cuantitativo, se realizaron dos monitoreos en los meses de mayo y junio. Los resultados evidencian que, en general, las concentraciones de contaminantes en mayo fueron menores en comparación con junio. Además, se detectó que el material particulado PM10 superó los estándares establecidos por las Normas de Calidad Ambiental (ECAs). En el primer monitoreo, en mayo, las concentraciones de PM2.5 alcanzaron 30.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 16.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente en diferentes puntos, mientras que el PM10 fue de 85.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; en ambos casos, los niveles de monóxido de carbono (CO) fueron de 738 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Para el segundo monitoreo, en junio, hubo un incremento en las concentraciones: PM2.5 fue de 49.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 38.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el PM10 presentó 115.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 57.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el CO se elevó a 5382 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 4939 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Como conclusión, se determinó que la calidad del aire en la planta ladrillera de San Jerónimo es moderada (14).

En 2022, Champi Castro realizó un estudio sobre la "Evaluación del material particulado PM10 y PM2.5 mediante imágenes satelitales LANDSAT para la propuesta de un plan de minimización en Lima". El objetivo principal fue analizar las concentraciones de estas partículas mediante imágenes satelitales LANDSAT, con la finalidad de elaborar un plan de acción para reducir su presencia en la ciudad. La investigación fue de carácter aplicada, cuantitativa y de diseño transversal no experimental. Los resultados mostraron que, al analizar 24 horas de datos provenientes de estaciones de monitoreo de bajo costo, el PM10 tuvo un comportamiento con correlación moderada de 0.60 en un nivel de confianza del 80%, indicando que no fue muy incidente. Por otra parte, las concentraciones de PM2.5 alcanzaron niveles críticos en las horas de 10 a.m. a 12 p.m., con valores que variaron entre 59.289 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 82.224 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, superando el límite máximo permitido por la Normativa de Calidad del Aire (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Valdivia (2016) afirmó que la tendencia plurianual de los niveles de PM10 y PM2.5 muestra una ligera disminución para ambos, aunque se recomienda implementar medidas de control para evitar aumentos futuros. La evaluación de las características de estos materiales mediante imágenes satelitales LANDSAT resultó ser apropiada y relevante para la formulación del plan de minimización en Lima. En particular, los niveles de PM10 en los distritos más afectados alcanzan una categoría moderada, con una tendencia hacia valores medios, siendo principalmente Breña, Lima Cercado, La Victoria, Rímac, San Luis, Lince, San Borja y Santiago de Surco los distritos con mayores concentraciones. En cuanto al PM2.5, los datos satelitales indican concentraciones altamente críticas en los distritos de Lima Cercado y Rímac, con valores entre 82.025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, clasificados como moderados en distritos como Breña, La Victoria, San Luis y San Borja, donde los niveles oscilan entre 70.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 76.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (15).

2.1.3. Marco Legal

En el presente estudio sobre el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Huanta en Ayacucho, es fundamental enmarcar el trabajo dentro del contexto legal y normativo que regula la protección del medio ambiente y la salud pública en el Perú. Este marco legal asegura que las actividades y metodologías empleadas en la investigación se alineen con las leyes, reglamentos y estándares establecidos, garantizando la validez y legitimidad del estudio.

Constitución Política del Perú

La Constitución Política del Perú establece el derecho de todos los ciudadanos a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Específicamente, en el Artículo

2, inciso 22, se reconoce el derecho de las personas a vivir en un ambiente saludable y libre de contaminación. Este principio constitucional sienta las bases para la creación de políticas y normas que protejan el aire que respiramos.

Ley General del Ambiente (Ley N° 28611)

La Ley General del Ambiente es el marco normativo principal que regula la gestión ambiental en el Perú. Esta ley promueve la protección y conservación de la calidad del aire, estableciendo que el Estado y la sociedad deben asegurar que las actividades económicas y sociales se desarrollen de manera sostenible, minimizando el impacto ambiental negativo.

D.S. N° 003-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire

Mediante la presente norma aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire, mediante el cual se establece niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (16)

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ^[1]
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ^[2]	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.
^[1] o método equivalente aprobado.
^[2] El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Figura 2. Estándares nacionales de calidad ambiental del aire

Fuente: (17)

Reglamento de la Ley General del Aire (Decreto Supremo N° 058-2003-PCM)

Este reglamento complementa la Ley General del Ambiente al especificar medidas de gestión y control de la contaminación del aire. Establece responsabilidades para las autoridades locales y regionales en la supervisión y control de las emisiones atmosféricas, así como la necesidad de implementar sistemas de monitoreo de calidad del aire.

Normativa Internacional

El Perú también es signatario de diversos acuerdos y convenios internacionales relacionados con la protección del medio ambiente y la calidad del aire. Por ejemplo, la adhesión a la Organización Mundial de la Salud (OMS) implica el compromiso de seguir las directrices y recomendaciones internacionales sobre la calidad del aire y los estándares de salud pública.

Autoridades Competentes

La supervisión y gestión de la calidad del aire en Huanta están a cargo de diversas entidades, cada una con roles y responsabilidades específicas:

- Ministerio del Ambiente (MINAM): Es la entidad rectora del Sistema Nacional de Gestión Ambiental y responsable de formular y supervisar políticas nacionales en materia de calidad del aire.
- Gobierno Regional de Ayacucho: Encargado de implementar políticas y estrategias de gestión ambiental a nivel regional.
- Municipalidad Provincial de Huanta: Responsable de aplicar y hacer cumplir las normativas ambientales a nivel local, además de promover iniciativas de monitoreo y control de la contaminación del aire.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fundamentos teóricos

A. Contaminación del aire

“La contaminación atmosférica se refiere a cualquier condición que rompa el equilibrio del aire, esa mezcla de gases que constituye la atmósfera terrestre y que es esencial para la existencia de la vida en la Tierra” (18)

“La contaminación del aire es un problema ambiental global que afecta la calidad del aire en diversas regiones del mundo. Se refiere a la presencia en la atmósfera de sustancias nocivas, como gases y partículas, que son emitidas por fuentes naturales y antropogénicas. Estas sustancias pueden tener efectos negativos en la salud humana, la vida silvestre y los ecosistemas, así como contribuir al cambio climático” (18).

Las principales fuentes de contaminación del aire incluyen las emisiones de gases de escape de vehículos, las emisiones industriales, las centrales eléctricas que queman combustibles fósiles, las actividades agrícolas, los incendios forestales y las emisiones de productos químicos. Estas emisiones liberan una variedad de contaminantes, como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM), compuestos orgánicos volátiles (COV) y metales pesados.



Figura 3. Contaminación del aire por vehículos

Fuente: (19)

La exposición a largo plazo a la contaminación del aire puede tener graves consecuencias para la salud humana. Se ha demostrado que la inhalación de contaminantes atmosféricos está asociada con un mayor riesgo de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y cáncer. Además, la contaminación del aire puede agravar los síntomas de enfermedades respiratorias existentes, como el asma, y afectar negativamente el desarrollo pulmonar en niños.

En términos de impacto ambiental, la contaminación del aire puede causar la acidificación de suelos y cuerpos de agua, la eutrofización de ecosistemas acuáticos, la formación de smog, la degradación de la capa de ozono y la contribución al calentamiento global. También puede afectar negativamente la biodiversidad al reducir la calidad del hábitat y la disponibilidad de alimentos para las especies.



Figura 4. Contaminación del aire en zonas urbanas

Fuente: Elaboración propia

Contaminación primaria y secundaria: Un contaminante primario se libera directamente al entorno desde su fuente, en tanto que un contaminante secundario se forma en el ambiente como resultado de reacciones químicas que ocurren en él. Frecuentemente, ambos tipos de contaminantes coexisten, ya que las reacciones químicas iniciadas por los contaminantes primarios suelen conducir a la formación de secundarios, lo que puede incrementar la magnitud del impacto o extender su duración en el tiempo (20).

La contaminación primaria: Se refiere a la liberación directa de sustancias nocivas al aire, el agua o el suelo. Estos contaminantes son emitidos directamente al medio ambiente como resultado de la actividad humana o natural (20). Algunos ejemplos de contaminantes primarios son:

- **Monóxido de carbono (CO):** Este gas altamente tóxico se libera directamente a la atmósfera por los escapes de los vehículos automotores durante la combustión de hidrocarburos fósiles.

- **Desechos radiactivos:** Compuestos atómicamente inestables, como el plutonio, resultan de la fisión del uranio en centrales nucleares y pueden alterar el ADN de los seres vivos.
- **Óxidos de azufre (SO_x):** Producidos por la industria química, estos compuestos sulfatados afectan el pH del agua y desequilibran la cadena alimentaria acuática.
- **Plomo (Pb):** Emitido en forma de aerosol durante la combustión de hidrocarburos, contamina tanto el aire como el agua.
- **Amoníaco (NH₃):** Es un gas inflamable, tóxico y que causa quemaduras su principal fuente de emisión es la actividad agrícola como consecuencia del uso de fertilizantes.
- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x):** la principal fuente de emisión de estos gases son los vehículos motorizados, Causan principalmente el Smog, dando lugar a la lluvia ácida, se combina con las gotas de agua y forman ácido nítrico.

La contaminación secundaria, ocurre cuando los contaminantes primarios reaccionan con otros compuestos en la atmósfera, formando nuevos contaminantes. Es decir, no se emiten directamente, sino que se generan a partir de reacciones químicas en el medio ambiente (20).

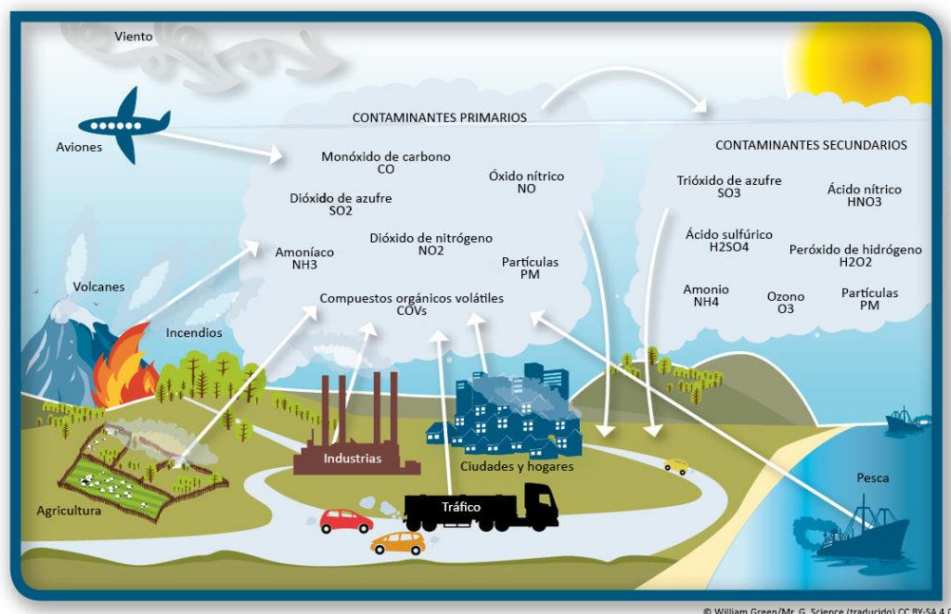


Figura 5. Contaminación primaria y secundaria

Fuente: (21)

A. Fuentes de contaminación locales

Las fuentes de contaminación local son aquellas que emiten directamente sustancias nocivas al aire, al agua o al suelo en una región específica. Estas fuentes pueden ser tanto de origen humano como natural. Las principales actividades generadoras de polución son:

Transporte vehicular: Los vehículos emiten óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos y partículas finas. Estos contaminantes afectan la calidad del aire en áreas urbanas y pueden causar problemas respiratorios y cardiovasculares.

Industrias: Las fábricas y plantas industriales liberan gases y partículas contaminantes durante sus procesos de producción. Estos pueden incluir dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y metales pesados. La exposición prolongada puede tener efectos negativos en la salud.

Calefacción residencial y comercial: El uso de combustibles fósiles para calefacción y cocina emite CO₂, partículas y otros contaminantes. Es importante promover alternativas más limpias, como sistemas de calefacción eléctricos o de energía renovable.

Agricultura intensiva: El uso excesivo de pesticidas y fertilizantes puede contaminar el suelo y el agua. Además, la quema de residuos agrícolas libera partículas y gases dañinos.

Residuos sólidos: Los vertederos y sitios de disposición de basura pueden liberar lixiviados tóxicos al suelo y al agua. La gestión adecuada de residuos es fundamental para prevenir la contaminación.

B. Fuentes Naturales

Las emisiones que provienen de fuentes naturales surgen de fenómenos que suceden de manera espontánea en el entorno, sin la intervención directa del ser humano. Entre ellas se encuentran las emisiones volcánicas y oceánicas, los procesos biológicos, los incendios forestales y las tormentas de polvo y arena. Estas emisiones son componentes inherentes a los ciclos naturales del planeta, desempeñando un papel crucial en la regulación térmica a nivel global, contribuyendo al equilibrio químico de la atmósfera y, en gran medida, influyendo en la evolución de los ecosistemas (18).

Tabla 2. Fuentes naturales de contaminación

Tipo de Contaminante	Fuentes Naturales
Partículas Atmosféricas	Polvo mineral y orgánico transportado por el viento.
Gases Atmosféricos	Emisiones volcánicas (SO ₂ , CO ₂ , etc.).
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)	Emisiones de vegetación y bosques (terpenos, isoprenos).
Ozono Troposférico (O₃)	Formado por la reacción de COV y NO _x bajo la influencia solar.
Compuestos de Azufre y Nitrógeno	Liberados por procesos biogénicos y geogénicos (bacterias, suelos).

Fuente: Elaboración propia.

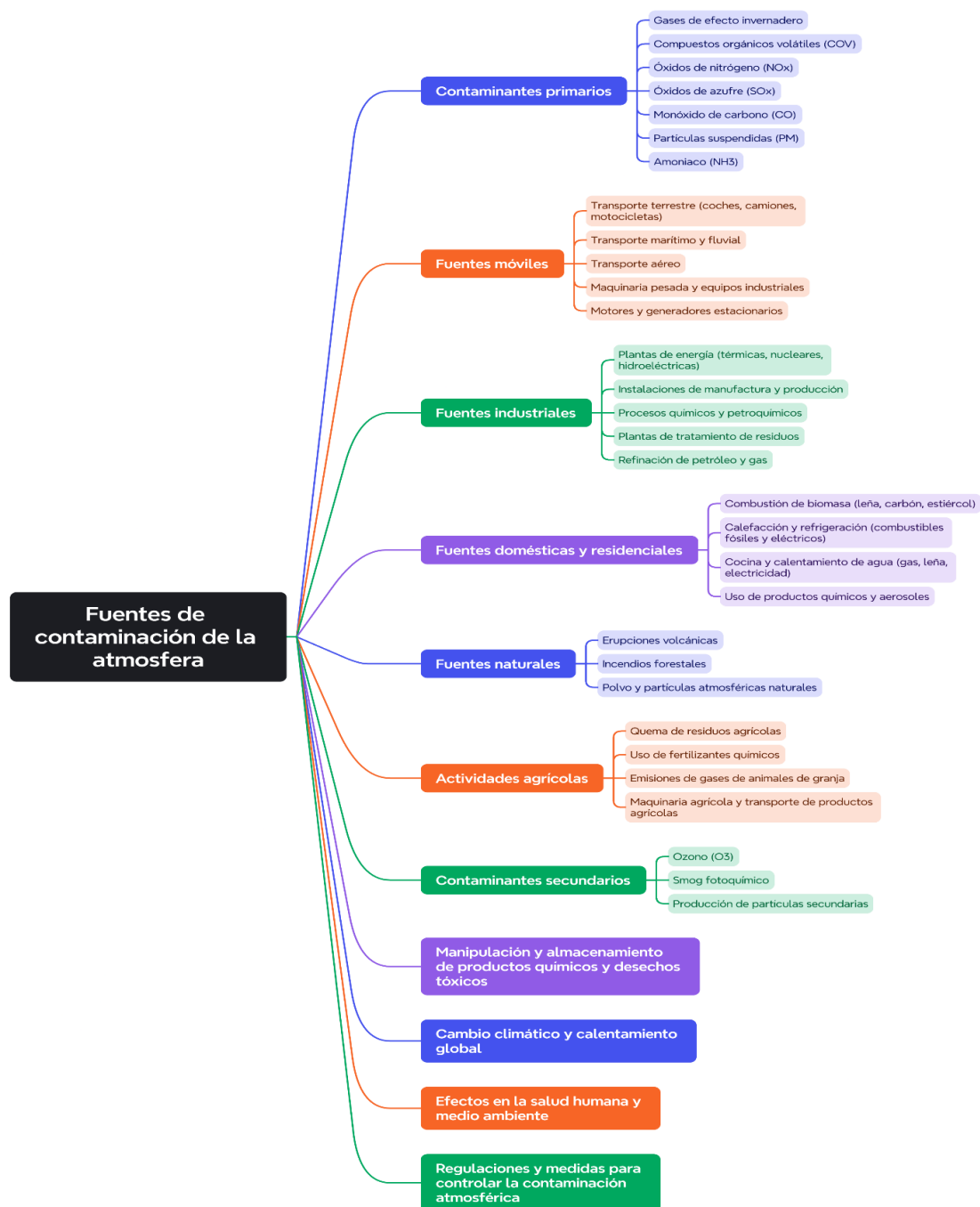


Figura 6. Fuentes de contaminación de la atmósfera

Fuente: Elaboración propia.

C. Los contaminantes del aire

Los contaminantes del aire promueven la respuesta inflamatoria en el sistema respiratorio, lo que conlleva a su vez una cascada de alteraciones en el sistema vascular (18)

Es importante considerar que los principales contaminantes del aire incluyen plomo, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, monóxido de carbono, entre otros:

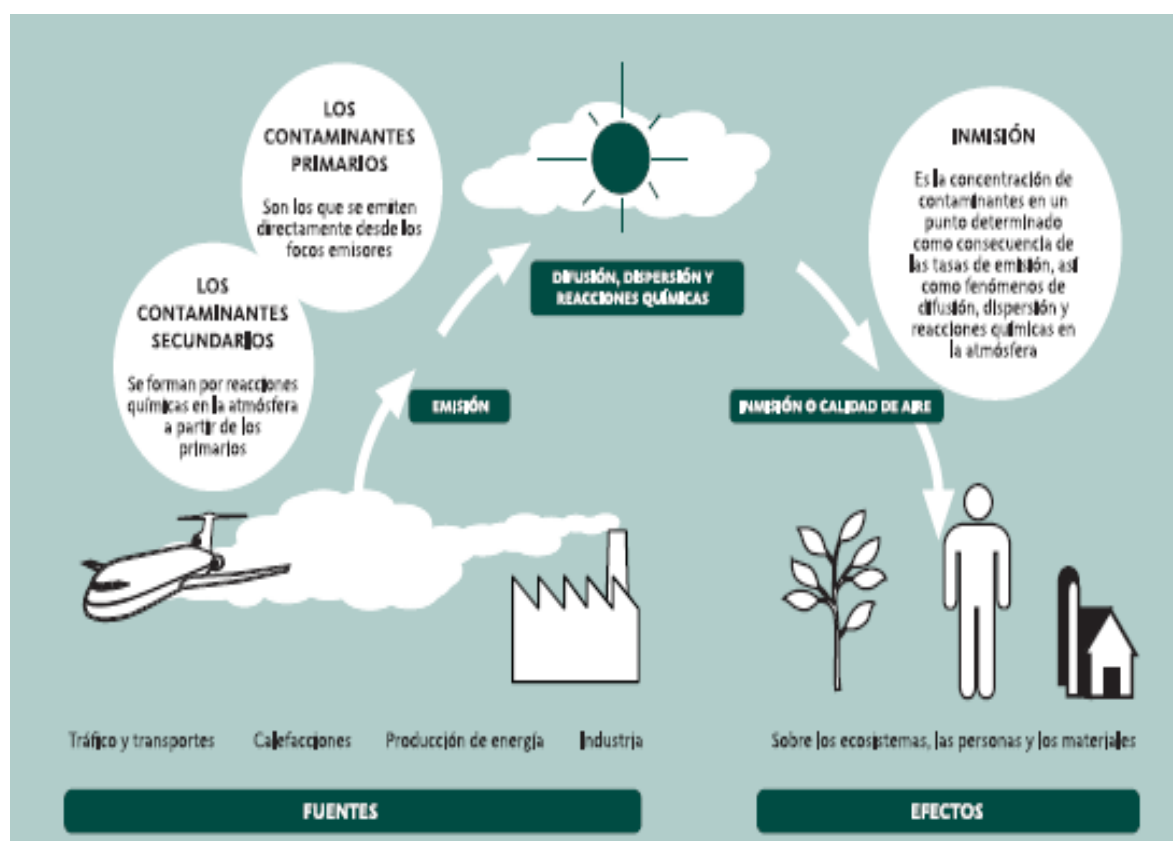


Figura 7. La contaminación y su dinámica en la atmósfera

Fuente: (22)

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es considerado uno de los mayores contaminantes de la atmósfera terrestre. Sus principales fuentes productoras responsables de aproximadamente 80% de las emisiones, son los vehículos automotores que utilizan como combustible gasolina o Diesel y los procesos industriales que utilizan compuestos del carbono. Esta sustancia es bien conocida por su toxicidad para el ser humano. Sus efectos tóxicos agudos incluida la muerte han sido

estudiados ampliamente; sin embargo, sus potenciales efectos adversos a largo plazo son poco conocidos (23)

Según Bolaños y otros (24) La principal característica nociva aguda del gas se basa en su alta afinidad por la hemoglobina, mientras que los efectos crónicos se basan en su interacción con otras proteínas.

Material particulado (PM₁₀)

“Son también llamadas partículas inhalables, que son menores a 10 micrómetros, los cuales están constituidos por material líquido y sólido que se encuentran en el aire, estos son generados por fuentes fijas y móviles ya sea de manera natural o antropogénica, su permanencia en el aire depende del tamaño de las partículas” (25)

Ramírez y otros autores (26) determinaron que “el método más adecuado para el estudio de la concentración del PM₁₀, mediante análisis geoestadísticos como Spline, Kriging e IDW haciendo uso del Software ArcGIS, pudieron determinar los puntos que presentan mayor concentración de material particulado. Se identificaron 16 puntos para el monitoreo junto con el modelo Inverse distance weighted (IDW) siendo el modelo idóneo para la evaluación de la concentración de PM₁₀.”

El PM₁₀ (Partículas en suspensión menores a 10 micras) se refiere a una fracción de partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, cuyo diámetro aerodinámico es igual o inferior a 10 micrómetros (µm). Estas partículas son lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas y llegar a las vías respiratorias superiores, lo que puede generar efectos adversos en la salud humana. Las fuentes de PM₁₀ incluyen emisiones de vehículos, actividades industriales, quema de biomasa, polvo de construcción y otros procesos mecánicos.

Debido a su capacidad para permanecer suspendidas en el aire durante largos períodos y viajar a grandes distancias, las PM₁₀ representan un riesgo significativo tanto para la calidad del aire como para la salud pública, contribuyendo a enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Su monitoreo es crucial para evaluar la calidad del aire y establecer medidas de control en áreas con alta concentración de contaminantes.

Material Particulado (PM_{2.5})

Las concentraciones de partículas finas en suspensión (PM_{2.5}) se utilizan para la gestión de la calidad del aire ambiente en todo el mundo basándose en parte en los efectos conocidos sobre la salud cardiorrespiratoria. Si bien se cree que el estrés oxidativo es un mecanismo importante para determinar estos efectos, relativamente pocos estudios han examinado específicamente

cómo la defensa oxidativa puede afectar la susceptibilidad a la contaminación atmosférica por partículas.

La composición y tamaño de las partículas PM2.5 varían considerablemente debido a diversos factores de emisión, siendo los principales generadores los procesos de combustión interna de vehículos y los generadores de energía utilizados en la industria. Otros factores de emisión también contribuyen, aunque en menor medida.

D. Monitoreo de calidad del aire

Según la OEFA 2017 el monitoreo es definido como “importante destacar que la realización de monitoreos y evaluaciones ambientales que tienen por objetivo verificar la calidad ambiental de los componentes complementará su labor con la tarea de establecer las fuentes contaminantes y a partir de ello, impulsar acciones de supervisión y sanción encaminadas a remediar dicha afectación al ambiente, si fuera el caso”

El Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental (PLANEFA) 2017 del OEFA es vital para cuidar el medio ambiente en nuestro querido Perú. Este plan define las acciones y metas que el OEFA realizará durante el año para asegurarse de que todos cumplan con las normativas ambientales y fomentar prácticas más amigables con nuestro entorno. En 2017, el PLANEFA puso un énfasis especial en vigilar actividades industriales, mineras, energéticas y de servicios que afectan mucho a nuestro ambiente. También se concentró en las áreas y sectores más vulnerables a la contaminación, aplicando estrategias de monitoreo y control más estrictas para protegerlas.

El objetivo central del PLANEFA 2017 fue fortalecer al OEFA en su capacidad para identificar y corregir cualquier incumplimiento ambiental, promoviendo una cultura de responsabilidad y sostenibilidad, tanto en el ámbito público como en el privado. Con un enfoque tanto preventivo como correctivo, este plan buscó asegurar que el progreso económico de nuestro país se lleve a cabo respetando y protegiendo nuestro entorno natural y la salud de nuestras comunidades. De esta manera, el PLANEFA 2017 no solo se enfocó en el crecimiento económico, sino que también en cómo hacerlo de una manera que respete y cuide nuestro planeta para las futuras generaciones.

E. Estándares y regulaciones peruanas

Las regulaciones y estándares de calidad del aire en Perú, establecidos por el Ministerio del Ambiente (MINAM), deben ser tenidos en cuenta en el monitoreo y modelamiento. Estos

estándares establecen límites para diversos contaminantes y ayudan a evaluar el cumplimiento de las regulaciones ambientales.

Tabla 3. Estándares establecidos por el gobierno peruano para regular la calidad del aire

Contaminante	Estándar de Calidad Ambiental (ECAs)	Fuente o Normativa
PM10	150 µg/m ³ (promedio diario)	DS 074-2001-PCM
PM2.5	50 µg/m ³ (promedio anual)	DS 074-2001-PCM
Dióxido de Azufre (SO2)	80 µg/m ³ (promedio horario)	DS 074-2001-PCM
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	100 µg/m ³ (promedio horario)	DS 074-2001-PCM
Monóxido de Carbono (CO)	10 mg/m ³ (promedio de 8 horas)	DS 074-2001-PCM
Ozono (O3)	120 µg/m ³ (promedio horario)	DS 074-2001-PCM
Plomo (Pb)	0.5 µg/m ³ (promedio trimestral)	DS 074-2001-PCM

Fuente: DS 074-2001-PCM: Decreto Supremo N° 074-2001-PCM que aprueba el Reglamento sobre Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire.

F. Índice de calidad de aire

El MINAM ha creado el Índice de Calidad del Aire (INCA). Este índice utiliza una representación sencilla y gráfica, combinando números y colores que todos pueden entender fácilmente, similar a los colores del semáforo y del arco iris. El INCA toma en cuenta los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA) vigentes y los Niveles de Estado de Alerta. (27)

Se divide en cuatro categorías que permiten identificar rápidamente la calidad del aire:

- Verde: Indica que la calidad del aire es buena. Es seguro para todos.

- **Amarillo:** Señala una calidad del aire moderada. La mayoría de las personas no se verán afectadas, pero algunos individuos sensibles pueden experimentar leves síntomas.
- **Anaranjado:** Muestra que la calidad del aire es mala. Las personas sensibles pueden comenzar a experimentar efectos adversos a la salud, y es recomendable que reduzcan actividades al aire libre.
- **Rojo:** Indica que la calidad del aire está en un umbral crítico de cuidado. En este nivel, se aplican estados de alerta por parte de las autoridades de salud y todos, especialmente los grupos vulnerables, deben evitar actividades al aire libre.

Tabla 4. Cuadro de valoración del índice de calidad ambiental (INCA)

Color	Calidad del Aire	Valores INCA	Descripción	Recomendaciones
Verde	Buena	0 - 50	La calidad del aire es segura para todos.	No se requieren medidas especiales.
Amarillo	Moderada	51 - 100	La mayoría de las personas no se verán afectadas, pero algunos individuos sensibles pueden experimentar leves síntomas.	Las personas sensibles deben considerar limitar el esfuerzo físico intenso al aire libre.
Anaranjado	Mala	101 - 150	Las personas sensibles pueden comenzar a experimentar efectos adversos a la salud.	Las personas sensibles deben reducir las actividades al aire libre, especialmente las más intensas.
Rojo	Valor Umbral del Estado de Cuidado (VUEC)	> 200	La calidad del aire está extremadamente peligrosa; se requiere intervención urgente de las autoridades de salud.	Todos deben evitar salir al aire libre y mantenerse en interiores con medidas de protección adecuadas.

Este enfoque no solo ayuda a informar al público de manera efectiva sobre la calidad del aire, sino que también promueve una mayor conciencia y cuidado de la salud en relación con la contaminación ambiental.

G. Modelos de dispersión:

Los modelos matemáticos y de dispersión de contaminantes específicos para la topografía de Huanta y las fuentes locales de contaminación pueden ayudar a predecir cómo se dispersarán los contaminantes en la atmósfera y cómo afectarán la calidad del aire en diferentes áreas de la ciudad.

H. Educación y sensibilización:

La participación de la comunidad local es esencial en Huanta. La educación y la sensibilización sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud y el medio ambiente pueden fomentar prácticas más sostenibles y alentar a los ciudadanos a informar sobre fuentes de contaminación.

I. Estrategias de mitigación:

Desarrollar y aplicar estrategias de mitigación específicas para Huanta, como promover el uso de transporte público, reducir emisiones industriales y promover tecnologías limpias, puede ayudar a mejorar la calidad del aire en la ciudad.

2.3. Definición de términos básicos

Material particulado (PM): “Término para una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico” (3)

Estándar de calidad ambiental (ECA): “Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el MINAM, fijan los valores máximos permitidos de contaminantes en el ambiente. El propósito es garantizar la conservación de la calidad ambiental mediante el uso de instrumentos de gestión ambiental sofisticados y de evaluación detallada” (3)

Límites máximos permisibles (LMP): Los LMP miden la concentración de ciertos elementos, sustancias y/o aspectos físicos, químicos y/o biológicos que se encuentran en las emisiones, efluentes o descargas generadas por una actividad productiva en particular, pues son a través de ellos que se puede afectar el aire, el agua o el suelo” (3)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método, y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación:

El método utilizado es de carácter **cuantitativo** y **experimental-aplicado**:

Cuantitativo: Se basa en la recolección y análisis de datos numéricos (concentraciones de CO, PM10 y PM2.5) obtenidos a través de monitoreos.

Experimental-aplicado: Se realiza una intervención directa mediante el muestreo del aire en distintos puntos para obtener datos específicos y modelar la calidad del aire, con el objetivo de generar conocimiento práctico para la gestión ambiental.

3.1.2. Tipo de la investigación:

La presente investigación es de tipo **descriptivo-explicativo**:

Descriptivo: Describe las concentraciones de contaminantes (CO, PM10, PM2.5) en diferentes puntos de la ciudad y en diversos horarios, caracterizando el estado actual de la calidad del aire.

Explicativo: Se busca explicar las variaciones en los niveles de contaminación de acuerdo con la actividad antropogénica y el parque automotor.

3.1.3. Alcance o Nivel de la Investigación

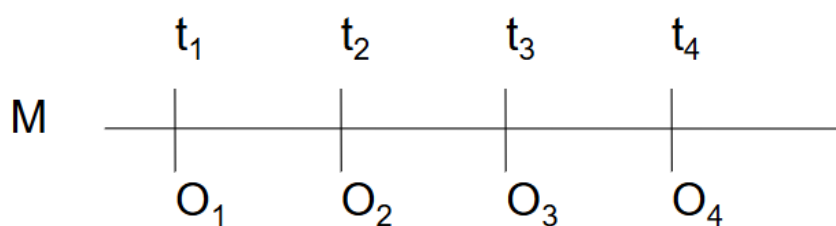
En el contexto de la investigación sobre la calidad del aire en la ciudad de Huanta, el alcance o nivel de la investigación se define principalmente como **correlacional**, dado que no solo se propone describir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos como el **CO, PM10 y PM2.5**, sino también establecer las relaciones estadísticas y posibles dependencias entre estos parámetros y las fuentes de contaminación derivadas de la actividad antropogénica, con un foco especial en el **parque automotor**. Este enfoque permitirá analizar cómo varían las concentraciones de los contaminantes en función de la densidad vehicular, los horarios del día y las características específicas de cada zona monitoreada; además, permitirá realizar un análisis más profundo sobre los factores que influyen en la calidad del aire, lo que podría incluir variables como la geografía urbana o las condiciones climáticas que también podrían tener un

papel relevante. Según (28) El diseño de investigación **corte transversal** consiste en la recolección de datos en un momento específico o durante un período determinado, sin manipular las variables. Se utiliza para describir el estado actual de las variables de estudio y, en algunos casos, para establecer relaciones entre ellas. En este diseño, los datos se obtienen de diferentes grupos o condiciones en el mismo momento temporal.

3.2. Diseño de la investigación

De acuerdo con el propósito de conocimiento que persigue esta investigación, el enfoque es **no experimental**, ya que no se alteran las variables, sino que se observan en su contexto natural. Además, se trata de un estudio **longitudinal**, pues los datos se recolectan a lo largo del tiempo, y **descriptivo**, porque se analiza y muestra los niveles de contaminación y compara con los estándares de calidad de aire.

Se hará el análisis con muestreo de aire para así después describirlos, para ver el comportamiento de las variables en el lugar de interés.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Diseño de investigación

Donde:

M = Muestras tomadas para observaciones Ox= Concentración de contaminante

Recolección de Datos

Reúne los datos de las concentraciones de contaminantes (Ox) y se comparan con los estándares de calidad ambiental según la norma oficial.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población del presente estudio está compuesta por los habitantes de la ciudad de Huanta, quienes están expuestos y afectados por la contaminación generada por los parámetros de estudio, específicamente el dióxido de carbono (CO), las partículas suspendidas de 10 micrómetros (PM10) y las partículas finas de 2.5 micrómetros (PM2.5). Esta exposición a los contaminantes del aire puede tener repercusiones significativas en la salud y el bienestar de la población, lo que justifica la importancia de evaluar y modelar la calidad del aire en la región.

Según Arias Gomez y otros (29) “La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados.”

3.3.2. Muestra

Se seleccionaron 8 puntos de monitoreo en diferentes zonas de la ciudad de Huanta con metodología a 24 horas para PM₁₀ y PM_{2.5} y 8 horas para Monóxido de carbono (CO), se emplearon coordenadas UTM WGS 84. Zona 18 L.

Tabla 5. Puntos de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Huanta

PUNTO DE MONITOREO	COORDENADAS			DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREOS	COMPONENTE A MONITOREAR
	DATUM WGS84				
	NORTE	ESTE	ALTITUD (msnm)		
AIR-01	Y= 8569383	X= 581207	Z= 2635 m.s.n.m.	Venta de productos y movimiento de personas en el Mercado Central de Huanta	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-02	Y= 8569351	X= 581594	Z= 2631,6 m.s.n.m.	Actividades comerciales de pollería y transitabilidad de peatones en la Plaza Principal de Huanta	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-03	Y= 8569719	X= 581231	Z= 2635,8 m.s.n.m.	Hospital de Apoyo de Huanta - Cruce con Parque de los Héroes	PM 10 PM 2,5 CO

AIR-04	Y= 8568403	X= 581915	Z= 2627,1 m.s.n.m.	Transitabilidad de peatones Av. San Martín / Ovalo Huanta	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-05	Y= 8569333	X= 582368	Z= 2670,9 m.s.n.m.	Transitabilidad de Peatones y Áreas Verdes; en el Jr. Miguel Lazón Parque de la Juventud	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-06	Y= 8569839	X= 582088	Z= 2688,4 m.s.n.m.	Actividades deportivas y comercio ambulatorio Estadio Municipal de Huanta - Jr. Razuhuilca	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-07	Y= 8569813	X= 582001	Z= 2681,7 m.s.n.m.	Transitabilidad de peatones y escolares de la I.E. Luis Cervero Bendezú	PM 10 PM 2,5 CO
AIR-08	Y= 8569561	X= 581083	Z= 2637,8 m.s.n.m.	Actividades recreativas y Áreas Verdes en el Parque Infantil Morro Tupín	PM 10 PM 2,5 CO

La tabla presenta las coordenadas geográficas (Norte y Este) y la altitud (cota) de ocho puntos de muestreo ubicados en diferentes lugares de Huanta. Cada punto está identificado con un código único (AR-01, AR-02, etc.) y se describe brevemente el lugar donde se tomó la muestra. Esta información es crucial para realizar análisis espaciales de la calidad del aire en la zona, como la visualización en un mapa, el cálculo de distancias entre puntos y la comparación con otros datos ambientales.

En otras palabras, esta tabla es como una guía que nos indica dónde se tomaron las muestras de aire en Huanta, y nos proporciona las coordenadas exactas para poder ubicarlas en un mapa. Con esta información, podemos estudiar cómo se distribuyen los contaminantes en la ciudad y buscar patrones o relaciones interesantes.

A continuación, se muestra el mapa de los 8 puntos de monitoreo con sus coordenadas correspondientes.

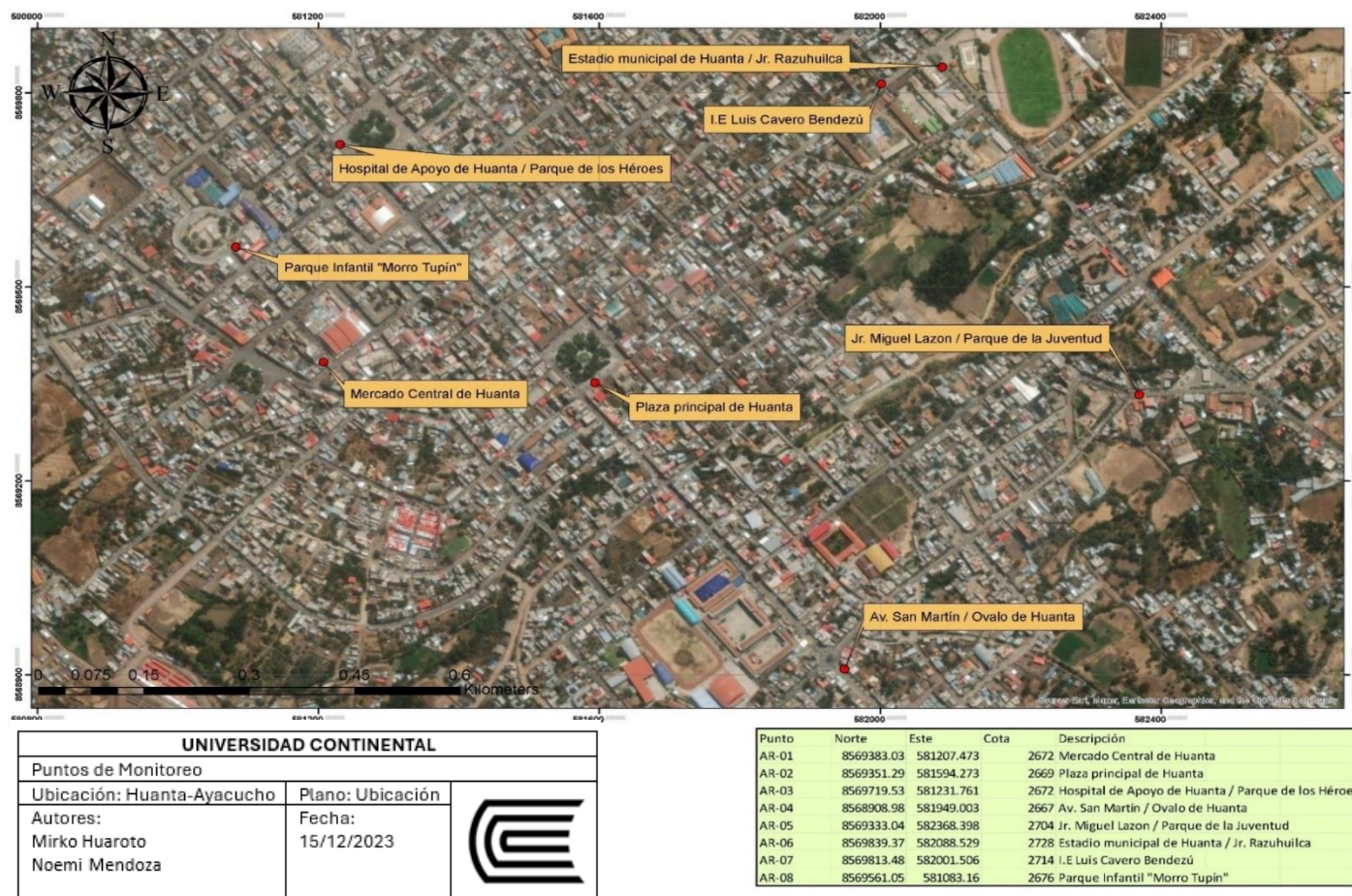


Figura 9. Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo en la ciudad de Huanta – Ayacucho

3.4. Materiales y métodos:

3.4.1. Materiales:

a) Equipos de muestreo:

- Estaciones de monitoreo de calidad del aire.
- Tren de muestreo, está compuesto por una bomba de muestreo, filtros, tuberías y conectores, sistemas de acondicionamiento de aire, medidores de flujo, reguladores de presión, recipientes de recolección y un sistema de registro de datos.
- Aditivo para la recolección de muestras de aire.
- Filtros.

b) Software:

- ArcGIS para el modelado y análisis espacial.
- Programas estadísticos (como R o SPSS) para análisis de datos.
- Excel.
- Google Earth.

c) Datos:

- Registros de calidad del aire (concentraciones de contaminantes).
- Información meteorológica (temperatura, humedad, vientos).
- Datos sobre el parque automotor (número de vehículos, tipo, emisiones).

d) Materiales de referencia:

- Normativas nacionales e internacionales sobre calidad del aire.
- Estudios previos y literatura relacionada para comparación.

e) Herramientas para presentación:

- Plantillas para informes y gráficos.
- Materiales para crear mapas y visualizaciones.

f) Equipo de laboratorio:

- Espectrofotómetro
- Microbalanza
- Equipos para análisis de PM
- Kits de análisis químico
- Equipos de control de calidad
- Software de análisis de datos

g) Instrumentos:

- GPS.
- Cámara fotográfica.
- Libreta de apuntes.

3.4.2. Método:

SE LE PIDIO DETALLAR EL PROCEDIMIENTO SEGUIDO POR CADA OBJETIVO

Método de Medición de Calidad de Aire

Cumplimiento de Normativas:

Se ha seguido el protocolo de monitoreo de calidad de aire y gestión de datos aprobado por la Resolución Directoral N° 1404-2005 - DIGESA/SA. Esto garantiza que el muestreo y análisis se realicen de acuerdo con criterios estandarizados, asegurando la validez y confiabilidad de los datos.

Procedimiento de Muestreo:

Se han utilizado el tren de muestreo para medir las concentraciones de CO, PM10 y PM2.5 en diferentes puntos y momentos, siguiendo las directrices del protocolo mencionado.

Análisis de Datos:

Se han implementado técnicas adecuadas para analizar los datos recolectados, asegurando que se cumplan los criterios de calidad establecidos en la normativa.

Comparación con Estándares:

Los resultados obtenidos se han comparado con los estándares de calidad ambiental establecidos a nivel nacional e internacional, permitiendo evaluar si las concentraciones de contaminantes son aceptables o si representan un riesgo para la salud pública.

Equipo utilizado:

Para el muestreo de partículas en suspensión (PM10) y partículas en suspensión (PM_{2.5}), se empleó un muestreador de bajo volumen – HYVOL PM₁₀ y PM_{2.5}. Este equipo trabaja con un flujo de 1.1 m³/min, cuyo aire atraviesa un filtro de cuarzo, que retiene las partículas de un diámetro aerodinámico menor a 10 y 2.5 micras. La concentración de las partículas en suspensión se calcula determinando el peso de la masa recolectada y el volumen de aire muestreado. El periodo de muestreo comprende 24 horas para PM₁₀ y PM_{2.5} y 8 horas para Monóxido de carbono (CO). La unidad de concentración para este contaminante es expresada en microgramos por metro cubico (µ/m³).

Para el muestreo del gas llamado: Monóxido de carbono (CO), se ha empleado el método “Analysis air Pollutants”. Las muestras son atrapadas con una solución de captación, a una razón de flujo de 1.5 litros por minuto, por periodos usuales de 1 hora, los resultados se expresan en microgramos por centímetro cubico (µ/m³).



Figura 10. Instalación y manipulación del tren de muestreo

Procedimiento:

Selección de puntos de muestreo: Se seleccionaron ocho puntos estratégicos en la ciudad de Huanta, considerando factores como la densidad vehicular, actividad antropogénica y zonas residenciales.

Preparación del equipo: Se verificó el correcto funcionamiento del tren de muestreo, se cambiaron los filtros y se adicionaron los reactivos necesarios para la captura de los contaminantes.

Instalación del equipo: Se ubicó el tren de muestreo en cada punto seleccionado, asegurando que la entrada de aire no estuviera obstruida.

Calibración: Se calibraron los equipos de medición antes y después de cada campaña de muestreo para garantizar la precisión de los resultados.

Muestreo: Se hizo funcionar el equipo durante 24 horas para PM_{10} y $PM_{2.5}$ y 8 horas para Monóxido de carbono (CO) en cada punto de muestreo.

Tabla 6. Metodología del ensayo

Tipo de Ensayo	Norma de referencia	Título
Monóxido de Carbono (CO)	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500 D, 23rd Ed.</i>	“Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)”
PM10	<i>EPA CFR 40 Appendix J (Item 7.2; 11.3) to Part 50. Agosto 1987. (Validado-Modificado.</i>	“Method for the Determination of Particulate Matter as PM 10 in the Atmosphere”
PM2.5	EPA CFR 40 Appendix L (Item 6 y 8) to Part 50, Octubre 2006. (Validado-Modificado).	“Method for the Determination of Particulate Matter as PM 2.5 in the Atmosphere”

Fuente: Elaboración propia.

Recolección de muestras: Al finalizar el muestreo, se retiraron los filtros y se almacenaron en condiciones adecuadas para su posterior análisis en el laboratorio.

Registro de datos: Se anotaron los siguientes datos para cada punto de muestreo:

- Fecha y hora de inicio y fin del muestreo.
- Coordenadas geográficas.
- Condiciones meteorológicas.
- Observaciones relevantes sobre el entorno del punto de muestreo.

Análisis de Datos:

Los filtros con las muestras recolectadas fueron enviados a un laboratorio especializado para su análisis. Los métodos de análisis más comunes para los parámetros mencionados son:

- **PM10 y PM2.5:** Se utiliza una gravimetría para determinar la masa de partículas depositadas en el filtro.
- **Monóxido de carbono:** Se emplea espectrometría infrarroja para medir la concentración de CO en las muestras.

Análisis estadístico:

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio, se realizó un análisis estadístico para determinar:

Concentraciones promedio: Se calcularon los valores promedio de PM10, PM2.5 y CO para cada punto de muestreo y para todo el periodo de muestreo.

Desviación estándar: Se determinó la variabilidad de las concentraciones en cada punto.

Comparación con estándares de calidad del aire: Se compararon los resultados obtenidos con los estándares de calidad del aire establecidos por la legislación peruana para evaluar el nivel de contaminación.

Identificación de patrones: Se buscaron patrones espaciales y temporales en las concentraciones de contaminantes.

Modelamiento:

Los datos obtenidos se utilizaron para alimentar modelos de dispersión atmosférica, con el objetivo de simular la distribución de los contaminantes en la ciudad y evaluar el impacto de diferentes fuentes de emisión.

3.4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se utilizaron diversas técnicas e instrumentos. Se llevará a cabo el muestreo de aire utilizando un tren de muestreo, que incluirá filtros diseñados para retener partículas de PM2.5 y PM10, así como un sistema de bomba de muestreo que asegurará un flujo constante de aire durante un periodo específico de 24 horas para PM₁₀ y PM_{2.5} y 8 horas para Monóxido de carbono (CO). Además, se utilizarán medidores de flujo para controlar la velocidad del aire que pasa por el sistema, garantizando condiciones estandarizadas en cada muestreo. En caso de realizar análisis posteriores en laboratorio, se emplearán equipos como

cromatógrafos de gases y espectrofotómetros para determinar las concentraciones de CO y otros contaminantes. Para el análisis de los datos recolectados, se utilizarán herramientas de software como ArcGIS para el análisis espacial. Todos los instrumentos serán calibrados adecuadamente y se seguirán procedimientos de control de calidad para asegurar la precisión y validez de los datos obtenidos.

DIGESA nos presenta un protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Actualmente el país cuenta con reglamentos de estándares nacionales de la calidad del aire, aprobado mediante D.S N° 074-2001-PCM que es un documento de gestión de la calidad del aire en el país, donde determina criterios para la protección de la calidad ambiental, así como lineamientos para la protección de la salud de las personas.

El propósito del protocolo es ser herramienta para la calidad del aire, operación y tratamiento de los datos generados, de modo que se asegure un correcto monitoreo.

En este caso de investigación se muestreará 08 puntos dentro de la ciudad de Huanta, viendo lugares estratégicos donde hay mayor concentración de personas y vehículos automotores.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debe presentar los resultados por objetivos

- Determinar la influencia del aumento del parque automotor en la emisión de monóxido de carbono en la capital provincial de Huanta.
- Evaluar el impacto de la actividad antropogénica en los niveles de material particulado 2.5 micras en Huanta.
- Determinar el nivel de exposición de la población urbana de Huanta al material particulado de 10 micras.

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Los resultados presentados en la tabla reflejan la concentración de monóxido de carbono (CO) en diferentes puntos de la ciudad de Huanta durante los meses de septiembre y octubre de 2023. Estos datos son fundamentales para evaluar la calidad del aire y su impacto en la salud de la población.

4.1.1. Concentración de Monóxido de carbono

a) Contaminación del aire y la salud:

Monóxido de carbono (CO): Es un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico. Al inhalarse, se une a la hemoglobina de la sangre, reduciendo la capacidad de transportar oxígeno a los tejidos. Los efectos en la salud incluyen dolores de cabeza, mareos, dificultad para respirar y, en casos severos, coma y muerte.

Efectos en la salud de la población: La exposición a largo plazo a niveles elevados de CO puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares, respiratorias y cáncer.

Grupos vulnerables: Niños, adultos mayores y personas con enfermedades preexistentes son más susceptibles a los efectos adversos del CO.

b) Fuentes de emisión de CO:

Sector transporte: Los vehículos motorizados son una de las principales fuentes de emisión de CO en las zonas urbanas.

Combustión de biomasa: La quema de leña y otros combustibles sólidos en hogares y pequeñas industrias también contribuye a la contaminación por CO.

Actividades industriales: Algunas industrias, como las metalúrgicas y las de producción de energía, emiten CO como subproducto de sus procesos.

c) Factores que influyen en la concentración de CO:

Condiciones meteorológicas: La temperatura, la humedad, la velocidad y dirección del viento influyen en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

Topografía: La orografía del terreno puede favorecer la acumulación de contaminantes en determinadas zonas.

Actividad humana: Las variaciones en la actividad humana, como el tráfico vehicular, pueden causar fluctuaciones en las concentraciones de CO.

d) Normativa ambiental:

Estándares de calidad del aire: Los resultados obtenidos deben compararse con los estándares de calidad del aire establecidos por las autoridades competentes para determinar si se cumplen o no los límites permitidos.

Legislación ambiental: Es importante mencionar la legislación peruana aplicable en materia de calidad del aire y las medidas de control de la contaminación.

Análisis Preliminar de los Resultados

Basados en los datos presentados, se puede observar que:

Cumplimiento de los estándares: Todos los puntos de muestreo evaluados cumplen con el límite establecido para el monóxido de carbono.

Variabilidad espacial: Existen diferencias en las concentraciones de CO entre los diferentes puntos de muestreo, lo que sugiere la influencia de fuentes de emisión locales.

El resultado mostrado ha sido monitoreado en los puntos de muestreo que se detallan, los principales factores que producen este contaminante son el aumento de la población, los vehículos y la urbanización ha llevado al deterioro de la calidad del aire, siendo las emisiones vehiculares la fuente más importante de CO.

Tabla 7. Resultado de la calidad de aire – Monóxido de carbono (CO)

Ítem	Código de Laboratorio	Código de Cliente	Descripción del Lugar	Coordenadas UTM/WGS (N, S)	Matriz	Fecha Inicio Muestreo	Hora Inicio Muestreo	Fecha Fin Muestreo	Hora Fin Muestreo	Ensayo	Unidad	Resultado (CO µg/m³)	Límite ECA (CO µg/m³)	Cumple con ECA
1	M/MA-0380-1	AIR-01	Mercado Central Huanta	8569383.025, 581207.473	AIRE	01/09/2023	9:00	02/09/2023	9:00	CO	µg/m³	2643	10000	Sí
2	M/MA-0380-1	AIR-02	Plaza principal de Huanta	8569351.285, 581594.273	AIRE	06/09/2023	8:00	07/09/2023	8:00	CO	µg/m³	2440	10000	Sí
3	M/MA-0380-1	AIR-03	Hospital de Apoyo de Huanta...	8569719.528, 581231.761	AIRE	16/09/2023	9:00	17/09/2023	9:00	CO	µg/m³	2338	10000	Sí
4	M/MA-0380-1	AIR-04	Av. San Martín - Ovalo Huanta	8568908.98, 581949.003	AIRE	24/09/2023	9:20	25/09/2023	9:20	CO	µg/m³	2433	10000	Sí

5	M/MA-0380-1	AIR-05	Jr. Miguel Lazon - Parque...	8569333.042, 582368.398	AIRE	22/09/2023	8:45	23/09/2023	8:45	CO	µg/m³	2514	10000	Sí
6	M/MA-0380-1	AIR-06	Estadio Municipal Huanta...	8569839.369, 582088.529	AIRE	29/09/2023	9:20	30/09/2023	9:20	CO	µg/m³	2541	10000	Sí
7	M/MA-0380-1	AIR-07	I.E. Luis Cavello Bendejú	8569813.483, 582001.506	AIRE	07/10/2023	10:00	08/10/2023	10:00	CO	µg/m³	2312	10000	Sí
8	M/MA-0380-1	AIR-08	Parque Infantil Morro Tupín	8569561.048, 581083.16	AIRE	13/10/2023	9:35	14/10/2023	9:35	CO	µg/m³	2514	10000	Sí

Los resultados que arrojaron para nuestro monitoreo están por debajo de los estándares de calidad ambiental ya que la concentración máxima llega hasta **2643.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** y el estándar de calidad ambiental para el Monóxido de carbono (CO) (ECA) para Aire DECRETO SUPREMO N°003- 2017-MINAM es de **10000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

4.1.2. Concentración de Material particulado 2.5

El material particulado fino (PM2.5) es una preocupación creciente en la salud pública debido a sus efectos adversos sobre el sistema respiratorio y cardiovascular. Los resultados presentados en la tabla reflejan que no supera los límites establecidos para PM2.5 en todos los puntos de muestreo en Huanta, lo cual indica una situación que no requiere preocupación, pero de todas maneras viendo la creciente población y el parque automotor, a medida de los años, este tipo de contaminación puede volverse un riesgo.

a) Material Particulado Fino (PM2.5):

Son partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 micrómetros.

Fuentes de emisión: Las fuentes de PM2.5 son diversas y pueden incluir procesos industriales, combustión de combustibles fósiles, actividades agrícolas, resuspensión de polvo y procesos naturales.

Efectos en la salud: La inhalación de PM2.5 se asocia con una amplia gama de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias (asma, bronquitis crónica), enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón y efectos adversos en el desarrollo fetal.

b) Normativa Ambiental:

Estándares de calidad del aire: Los estándares de calidad del aire establecen los límites máximos permisibles para los contaminantes atmosféricos, incluyendo el PM2.5. El Decreto Supremo N°003-2017-MINAM establece un límite para PM2.5.

Legislación ambiental: La legislación ambiental peruana establece las normas y regulaciones para la prevención y control de la contaminación del aire.

c) Factores que influyen en las concentraciones de PM2.5:

Condiciones meteorológicas: La temperatura, humedad, viento y precipitación influyen en la dispersión y concentración de PM2.5.

Topografía: La orografía del terreno puede favorecer la acumulación de contaminantes en determinadas zonas.

Actividad humana: Las actividades industriales, el tráfico vehicular, la quema de residuos y la construcción son las principales fuentes antropogénicas de PM2.5.

Fuentes naturales: Procesos naturales como la erosión del suelo, incendios forestales y erupciones volcánicas también contribuyen a la concentración de PM2.5.

Análisis Preliminar de los Resultados

Basados en los datos presentados, se puede observar que:

No supera los estándares: Todos los puntos de muestreo presentan concentraciones de PM2.5 inferiores al límite establecido, lo que indica una buena calidad del aire en términos de partículas finas.

Variabilidad espacial: Existen relativa uniformidad en las concentraciones de PM2.5 entre los diferentes puntos de muestreo, lo que sugiere la influencia de fuentes de emisión locales.

Tabla 8. Resultado de la calidad de aire – Material particulado 2.5 (PM2.5)

Item	Código de Laboratorio	Código de Cliente	Descripción del Lugar	Coordenadas UTM/WGS (N, S)	Matriz	Fecha Inicio Muestreo	Hora Inicio Muestreo	Fecha Fin Muestreo	Hora Fin Muestreo	Ensayo	Unidad	Resultado (PM2.5 µg/m³)	Límite ECA (PM2.5 µg/m³)	Cumple con ECA
1	M/MA-0380-1	AIR-01	Mercado Central Huanta	8569383.025, 581207.473	AIRE	01/09/2023	9:00	02/09/2023	9:00	PM2.5	µg/m³	5	25	Sí
2	M/MA-0380-1	AIR-02	Plaza principal de Huanta	8569351.285, 581594.273	AIRE	06/09/2023	8:00	07/09/2023	8:00	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí
3	M/MA-0380-1	AIR-03	Hospital de Apoyo de Huanta	8569719.528, 581231.761	AIRE	16/09/2023	9:00	17/09/2023	9:00	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí
4	M/MA-0380-1	AIR-04	Av. San Martín - Ovalo Huanta	8568908.98, 581949.003	AIRE	24/09/2023	9:20	25/09/2023	9:20	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí

5	M/MA-0380-1	AIR-05	Jr. Miguel Lazon - Parque...	8569333.042, 582368.398	AIRE	22/09/2023	8:45	23/09/2023	8:45	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí
6	M/MA-0380-1	AIR-06	Estadio Municipal Huanta...	8569839.369, 582088.529	AIRE	29/09/2023	9:20	30/09/2023	9:20	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí
7	M/MA-0380-1	AIR-07	I.E. Luis Cavello Bendejú	8569813.483, 582001.506	AIRE	07/10/2023	10:00	08/10/2023	10:00	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí
8	M/MA-0380-1	AIR-08	Parque Infantil Morro Tupín	8569561.048, 581083.16	AIRE	13/10/2023	9:35	14/10/2023	9:35	PM2.5	µg/m³	>5.1	25	Sí

Los resultados que arrojaron para nuestro monitoreo están por debajo de los estándares de calidad ambiental ya que la concentración en los 8 puntos fue **> a 5.1 µg/m³** y el estándar de calidad ambiental para el Material Particulado (PM_{2.5}) (ECA) para Aire DECRETO SUPREMO N°003- 2017-MINAM es de **50 µg/m³**.

4.1.3. Concentración de material particulado 10 (PM₁₀)

El material particulado de diámetro menor a 10 micrómetros (PM₁₀) es una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. La exposición a altas concentraciones de PM₁₀ se ha asociado con una variedad de problemas de salud, incluyendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Los resultados presentados en la tabla sugieren que, en general, las concentraciones de PM₁₀ en los puntos de muestreo de Huanta se encuentran por debajo del límite establecido, lo que indica una buena calidad del aire en relación a este contaminante. Sin embargo, es importante realizar un análisis más profundo para comprender las tendencias y factores que influyen en estas concentraciones.

Material Particulado PM₁₀:

Normativa Ambiental:

Estándares de calidad del aire: Los estándares de calidad del aire establecen los límites máximos permisibles para los contaminantes atmosféricos, incluyendo el PM₁₀. El Decreto Supremo N°003-2017-MINAM establece un límite para PM₁₀.

Legislación ambiental: La legislación ambiental peruana establece las normas y regulaciones para la prevención y control de la contaminación del aire.

Factores que influyen en las concentraciones de PM₁₀:

Condiciones meteorológicas: La velocidad y dirección del viento, la humedad y la temperatura influyen en la dispersión y concentración de PM₁₀.

Topografía: La orografía del terreno puede favorecer la acumulación de partículas en determinadas zonas.

Actividad humana: Las actividades industriales, el tráfico vehicular, la construcción y la quema de residuos son las principales fuentes antropogénicas de PM₁₀.

Fuentes naturales: Procesos naturales como la erosión del suelo, incendios forestales y erupciones volcánicas también contribuyen a la concentración de PM10.

Análisis Preliminar de los Resultados

Basados en los datos presentados, se puede observar que:

Cumplimiento de los estándares: Todos los puntos de muestreo evaluados cumplen con el límite establecido para el PM10, lo cual indica una buena calidad del aire en términos de este contaminante.

Variabilidad espacial: Existen diferencias en las concentraciones de PM10 entre los diferentes puntos de muestreo, lo que sugiere la influencia de fuentes de emisión locales.

Conclusiones Tentativas

Los resultados preliminares indican que, según los datos analizados y considerando el límite ECA de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM10, la calidad del aire en los puntos de muestreo de Huanta es aceptable. Sin embargo, es importante destacar que:

Otros contaminantes: Es necesario evaluar la concentración de otros contaminantes atmosféricos, como el PM2.5 y los compuestos orgánicos volátiles, para tener una visión más completa de la calidad del aire.

Efectos a largo plazo: La exposición a largo plazo, incluso a niveles por debajo de los límites establecidos, puede tener efectos adversos en la salud.

Variabilidad espacial y temporal: Las concentraciones de PM10 pueden variar considerablemente en el espacio y en el tiempo debido a factores meteorológicos, estacionales y a la actividad humana.

Tabla 9. Resultado de la calidad de aire – Material particulado 10 (PM10)

Ítem	Código de Laboratorio	Código de Cliente	Descripción del Lugar	Coordenadas UTM/WGS (N, S)	Matriz	Fecha Inicio Muestreo	Hora Inicio Muestreo	Fecha Fin Muestreo	Hora Fin Muestreo	Ensayo	Unidad	Resultado (PM10 µg/m³)	Límite ECA (PM10 µg/m³)	Cumple con ECA
1	M/MA-0380-1	AIR-01	Mercado Central Huanta	8569383.025, 581207.473	AIRE	01/09/2023	9:00	02/09/2023	9:00	PM10	µg/m³	21.73	100	Sí
2	M/MA-0380-1	AIR-02	Plaza principal de Huanta	8569351.285, 581594.273	AIRE	06/09/2023	8:00	07/09/2023	8:00	PM10	µg/m³	35.22	100	Sí
3	M/MA-0380-1	AIR-03	Hospital de Apoyo de Huanta	8569719.528, 581231.761	AIRE	16/09/2023	9:00	17/09/2023	9:00	PM10	µg/m³	26.34	100	Sí
4	M/MA-0380-1	AIR-04	Av. San Martín - Ovalo Huanta	8568908.98, 581949.003	AIRE	24/09/2023	9:20	25/09/2023	9:20	PM10	µg/m³	32.53	100	Sí

5	M/MA-0380-1	AIR-05	Jr. Miguel Lazón - Parque...	8569333.042, 582368.398	AIRE	22/09/2023	8:45	23/09/2023	8:45	PM10	µg/m³	19.23	100	Sí
6	M/MA-0380-1	AIR-06	Estadio Municipal Huanta...	8569839.369, 582088.529	AIRE	29/09/2023	9:20	30/09/2023	9:20	PM10	µg/m³	33.32	100	Sí
7	M/MA-0380-1	AIR-07	I.E. Luis Cavero Bendezú	8569813.483, 582001.506	AIRE	07/10/2023	10:00	08/10/2023	10:00	PM10	µg/m³	24.72	100	Sí
8	M/MA-0380-1	AIR-08	Parque Infantil Morro Tupín	8569561.048, 581083.16	AIRE	13/10/2023	9:35	14/10/2023	9:35	PM10	µg/m³	37.42	100	Sí

Los resultados que arrojaron para nuestro monitoreo están por debajo de los estándares de calidad ambiental ya que la máxima concentración en los 8 puntos fue de **37.42 µg/m³** y el estándar de calidad ambiental para el Material Particulado (PM10) (ECA) para Aire DECRETO SUPREMO N°003- 2017-MINAM es de **100 µg/m³**.

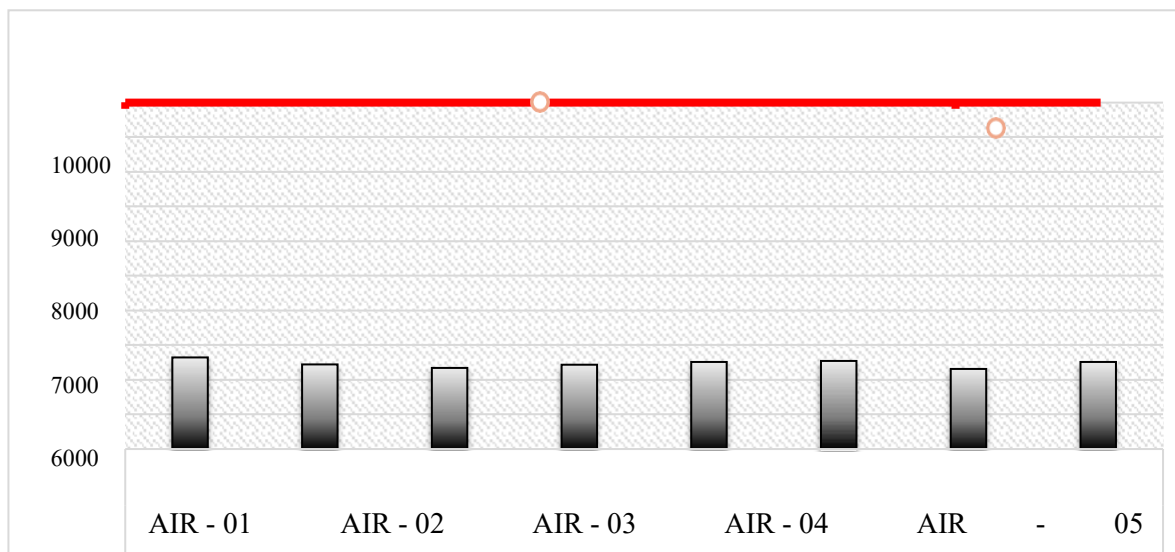


Figura 11. Resultado para las concentraciones para Monóxido de Carbono (CO)

Interpretación de la figura

La gráfica presentada muestra los resultados de las concentraciones de monóxido de carbono (CO) en ocho puntos de muestreo diferentes, identificados como AIR-01 a AIR-08. Cada barra representa la concentración de CO medida en cada punto, expresada en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La línea horizontal roja representa el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para CO. Este valor establece el límite máximo permisible de concentración de CO en el aire, según la normativa ambiental vigente. En este caso particular, el ECA se encuentra establecido en $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.1.4. Análisis de los Resultados

Cumplimiento del ECA: Un aspecto llamativo de esta gráfica es que todos los puntos de muestreo presentan concentraciones de CO significativamente por debajo del límite establecido en el ECA. Esto indica que, de acuerdo con los datos proporcionados y el estándar de calidad del aire utilizado, la calidad del aire en relación al CO en los puntos de muestreo analizados es excelente.

Uniformidad en las concentraciones: Al igual que en el caso del PM_{2.5}, se observa una gran uniformidad en las concentraciones de CO entre los diferentes puntos de muestreo. Todas las mediciones se encuentran en un rango relativamente estrecho, entre 2300 y $2600 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Posibles Razones para los Resultados

Eficacia de las medidas de control: Los bajos niveles de CO podrían indicar que las medidas de control de la contaminación del aire implementadas en la zona de estudio, si las hay, están siendo efectivas en reducir las emisiones de este contaminante.

Características de las fuentes de emisión: El monóxido de carbono es un gas producido principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles. En la zona de estudio, la ausencia de grandes industrias y la limitada actividad vehicular podrían explicar los bajos niveles de CO.

Condiciones meteorológicas: Las condiciones climáticas, como la velocidad del viento y la altura de la capa de mezcla, pueden influir en la dispersión del CO y contribuir a reducir las concentraciones a nivel del suelo.

Implicaciones y Recomendaciones

Excelente calidad del aire: Los resultados obtenidos son muy positivos y sugieren que la calidad del aire en relación al CO en los puntos de muestreo evaluados es excelente.

Monitoreo continuo: A pesar de los resultados positivos, es importante mantener un monitoreo continuo de la calidad del aire para detectar cualquier cambio en las concentraciones de CO y evaluar la efectividad de las medidas de control implementadas.

Prevención: Dado que los niveles de CO son muy bajos, el enfoque debe centrarse en mantener estas condiciones y prevenir futuros incrementos en las concentraciones. Esto implica continuar promoviendo prácticas sostenibles, como el uso de energías renovables y el transporte público, y evitar la emisión de contaminantes.

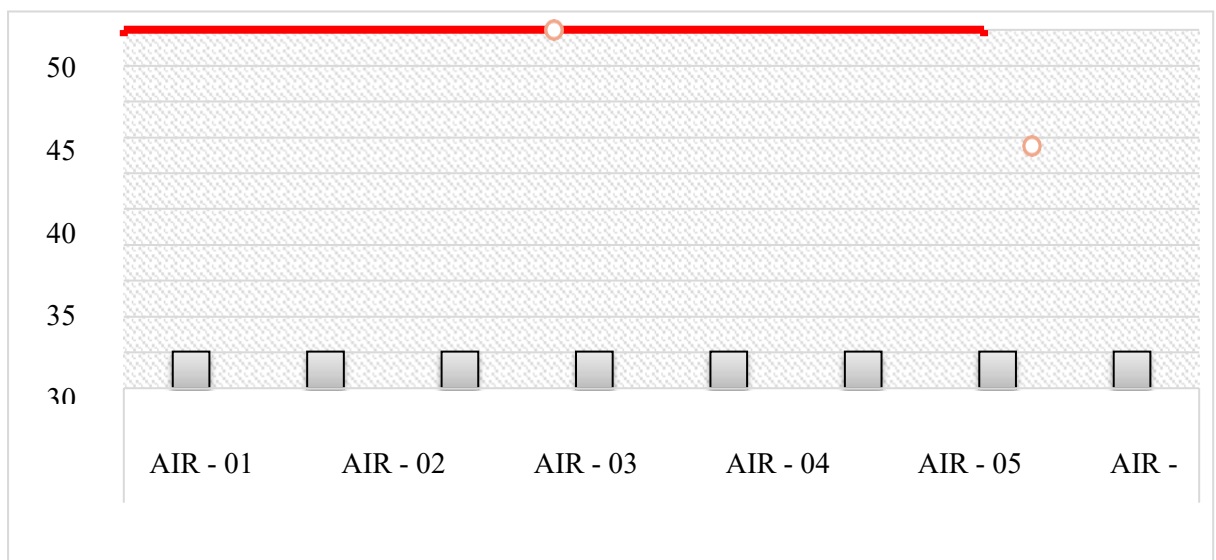


Figura 12. Resultado de las concentraciones para material particulado (PM2. 5)

Análisis de Resultados para PM2.5 Considerando la Actividad Antropogénica

¿Por qué los niveles de PM2.5 son tan bajos a pesar de la actividad humana y parque automotor?

Si bien Huanta cuenta con una población y un parque automotor que generan cierta actividad antropogénica, los bajos niveles de PM2.5 observados pueden deberse a varios factores:

Características de las emisiones: Las emisiones de PM2.5 suelen estar asociadas a procesos de combustión más completa y a fuentes puntuales como industrias. En el caso de Huanta, la predominancia de actividades domésticas y el uso de combustibles tradicionales en algunas zonas podrían generar menos emisiones de PM2.5 en comparación con otras ciudades con mayor industrialización.

Dispersión atmosférica: Las condiciones meteorológicas de Huanta, como la velocidad del viento y la altura de la capa de mezcla, pueden favorecer la dispersión de las partículas, lo que contribuye a reducir las concentraciones a nivel del suelo.

Medidas de control informales: Es posible que los habitantes de Huanta hayan adoptado prácticas que contribuyen a reducir las emisiones de PM2.5, como el uso de cocinas más eficientes o la quema de residuos de manera controlada.

4.1.4.1. Implicancias

Buenas prácticas: Los bajos niveles de PM_{2.5} sugieren que los habitantes de Huanta están adoptando prácticas que minimizan su exposición a este contaminante.

Vulnerabilidad: A pesar de los bajos niveles actuales, es importante mantener un monitoreo constante para detectar cualquier cambio que pueda indicar un aumento en las concentraciones de PM_{2.5}.

Oportunidad para mejorar: Los resultados pueden servir como punto de partida para implementar medidas adicionales que permitan mantener y mejorar la calidad del aire en Huanta.

Se aprecia que los resultados obtenidos de los 08 puntos de muestreo en diferentes lugares de la ciudad de Huanta no supera los estándares de calidad ambiental, todos los puntos de muestreo arrojaron la concentración de $>5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la concentración máxima permisible es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el material particulado (PM_{2.5}).

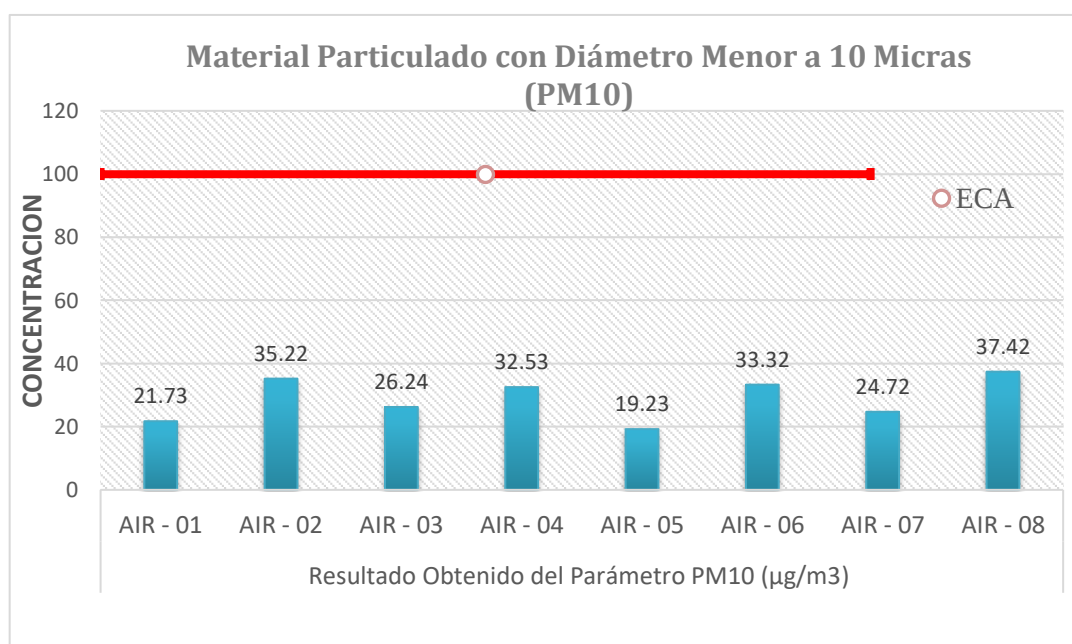


Figura 13. Resultado de las concentraciones para el Material particulado (PM10)

La figura presentada nos ofrece una visión general de la calidad del aire en relación con el material particulado PM10 en diferentes puntos de muestreo dentro de la ciudad de Huanta.

Dado que Huanta cuenta con una población de 37,517 habitantes y presenta una actividad industrial y un parque automotor relativamente reducidos, podríamos esperar encontrar niveles de PM10 relativamente bajos.

Análisis de los Resultados

- **Cumplimiento de los estándares:** El hecho de que todos los puntos de muestreo evaluados presenten concentraciones de PM10 por debajo del límite establecido en el ECA es una buena señal. Esto sugiere que, a pesar de las actividades humanas presentes en la ciudad, la calidad del aire en general es aceptable en términos de PM10.
- **Influencia de factores locales:** Si bien la actividad industrial y el parque automotor en Huanta son menores en comparación con otras ciudades, es probable que factores locales como la resuspensión de polvo debido al tránsito vehicular, las actividades agrícolas en las zonas cercanas y la quema de residuos en algunos hogares contribuyan a las concentraciones de PM10 medidas.
- **Variabilidad espacial:** Las diferencias observadas en las concentraciones de PM10 entre los diferentes puntos de muestreo pueden estar relacionadas con la ubicación de estos puntos con relación a vías principales, zonas residenciales, áreas verdes o fuentes de emisión localizadas.

Comparación con otros contaminantes

Al comparar estos resultados con los obtenidos para PM2.5 y CO, se puede obtener una visión más completa de la calidad del aire en la zona de estudio. Los niveles de PM2.5 y CO también son bajos, se puede concluir que la calidad del aire en general es muy buena.

4.2. Prueba de hipótesis

A continuación, se presenta la evaluación de las hipótesis planteadas de manera inferencial, dado que se parte de la muestra y se pretende generalizar al volumen total de aire (Población) utilizando el software Megastat, teniendo los siguientes resultados

4.2.1. Hipótesis específica 1

La concentración de monóxido de carbono en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta no supera el estándar de calidad ambiental.

Tabla 10. Monóxido de carbono por puntos de muestreo

Punto de muestreo	Concentración CO (mg/m ³)
1. Mercado Central de Huanta	2643
2. Plaza principal de Huanta	2440
3. Hospital de Apoyo de Huanta / Parque de los Héroes	2338
4. Av. San Martín / Ovalo de Huanta	2433
5. Jr. Miguel Lazon / Parque de la Juventud	2514
6. Estadio municipal de Huanta / Jr. Razuhuilca	2541
7. I.E Luis Caverro Bendeزú	2312
8. Parque Infantil "Morro Tupín"	2514

Se plantea las hipótesis de trabajo:

Hipótesis Alterna: La concentración supera el ECA ($\text{mg} > 10000 \text{ mg/m}^3$) HIPÓTESIS NULA:

La concentración no supera el ECA ($\mu \leq 10000 \text{ mg/m}^3$) Con el megastat se hace el cálculo del estadístico para una media poblacional:

Tabla 11. Estadístico de prueba t student

-195.178	t student
0.99999999999998800	p-value (one-tailed, upper)

Como P-valor= 0.999 y es mayor que la significancia 0.05 se acepta la hipótesis nula, entonces acepto la hipótesis nula. Por tanto, podemos afirmar que, la concentración de monóxido de carbono en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta **no** supera el estándar de calidad ambiental.

4.2.2. Hipótesis específica 2

La concentración de material particulado 2.5 (PM2.5), en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta no supera el estándar de calidad ambiental.

Tabla 12. Material Particulado 2.5 micras por puntos de muestreo

Punto de muestreo	Concentración PM2.5 (µg/m³)
1. Mercado Central de Huanta	4.1
2. Plaza principal de Huanta	4.8
3. Hospital de Apoyo de Huanta / Parque de los Héroes	5.1
4. Av. San Martín / Ovalo de Huanta	3.8
5. Jr. Miguel Lazon / Parque de la Juventud	4.9
6. Estadio municipal de Huanta / Jr. Razuhuilca	3.5
7. I.E Luis Caveró Bendeزú	3.7
8. Parque Infantil "Morro Tupín"	5

Se plantea las hipótesis de trabajo:

Hipótesis Alterna: La concentración supera el ECA ($\mu\text{g} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) HIPÓTESIS NULA: La concentración no supera el ECA ($\mu\text{g} \leq 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Con el megastat se hace el cálculo del estadístico para una media poblacional:

Tabla 13. Estadístico de prueba t student

-197.218	t student
----------	-----------

0.999999999999989	p-value (one-tailed, upper)
-------------------	------------------------------------

Como P-valor= 0.999999999999989 y es mayor que la significancia 0.05 se acepta la hipótesis nula, entonces acepto la hipótesis nula. Por tanto, podemos afirmar que, la concentración de PM(2.5) en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta **no** supera el estándar de calidad ambiental.

4.2.3. Hipótesis específica 3

La concentración de material particulado 10 (PM10), en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta no supera el estándar de calidad ambiental.

Tabla 14. Material Particulado PM 10 por puntos de muestreo

Punto de muestreo	Concentración PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1. Mercado Central de Huanta	21.73
2. Plaza principal de Huanta	35.22
3. Hospital de Apoyo de Huanta / Parque de los Héroes	26.34
Av. San Martín / Ovalo de Huanta	32.53
Jr. Miguel Lazon / Parque de la Juventud	19.23
Estadio municipal de Huanta / Jr. Razuhuilca	33.32
I.E Luis Caveró Bendeuzú	24.72
Parque Infantil "Morro Tupín"	37.42

Se plantea las hipótesis de trabajo:

Hipótesis Alterna: La concentración supera el ECA ($\mu\text{g} > 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) HIPÓTESIS NULA: La concentración no supera el ECA ($\mu\text{g} \leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Con el software Megastat se hace el cálculo del estadístico para una media poblacional:

Tabla 15. estadístico de prueba t student

-30.056	t
0.999999994182061	p-value (one-tailed, upper)

Como P-valor= 0. 999999994 y es mayor que la significancia 0.05 se acepta la hipótesis nula, entonces acepto la hipótesis nula. Por tanto, podemos afirmar que, la concentración de PM(10) en el aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta **no** supera el estándar de calidad ambiental.

4.2.4. Hipótesis general

La calidad de aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta no supera el estándar de calidad ambiental en las zonas que se tomaron la muestra para el monitoreo.

De acuerdo con los resultados parciales de las hipótesis específicas desarrolladas podemos concluir el cumplimiento y verificación de la hipótesis general “La calidad de aire contaminado por actividad antropogénica y parque automotor en la capital provincial de Huanta no supera el estándar de calidad ambiental en las zonas que se tomaron la muestra para el monitoreo” porque se encontró que los niveles de PM10 y PM2.5 de Partículas Suspendidas y gas CO fueron menores que los estándares nacionales de calidad en los puntos de muestreo.

4.3. Modelamiento de la dispersión de contaminantes

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el parámetro monóxido de carbono (CO), valores altos y bajos.

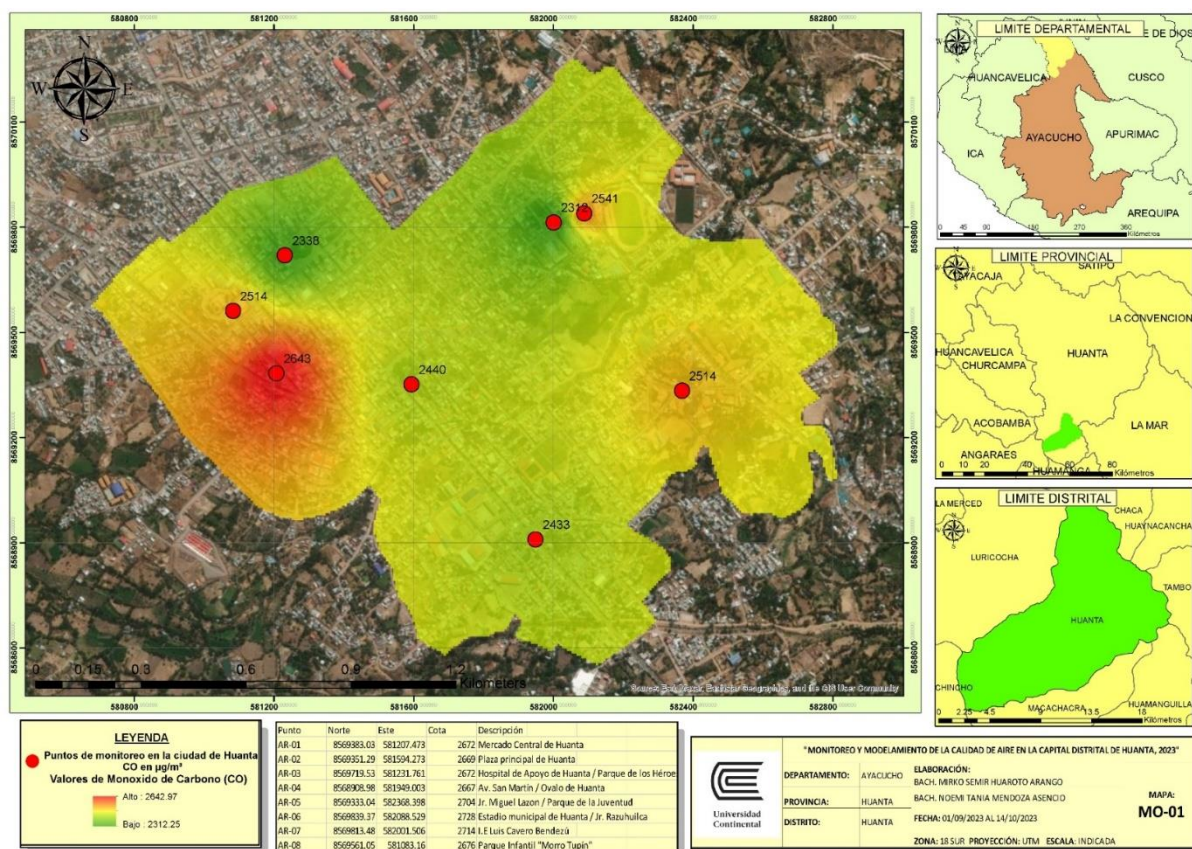


Figura 14. Mapa de calor de la concentración de CO

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el parámetro monóxido de carbono (CO) por niveles de concentración.

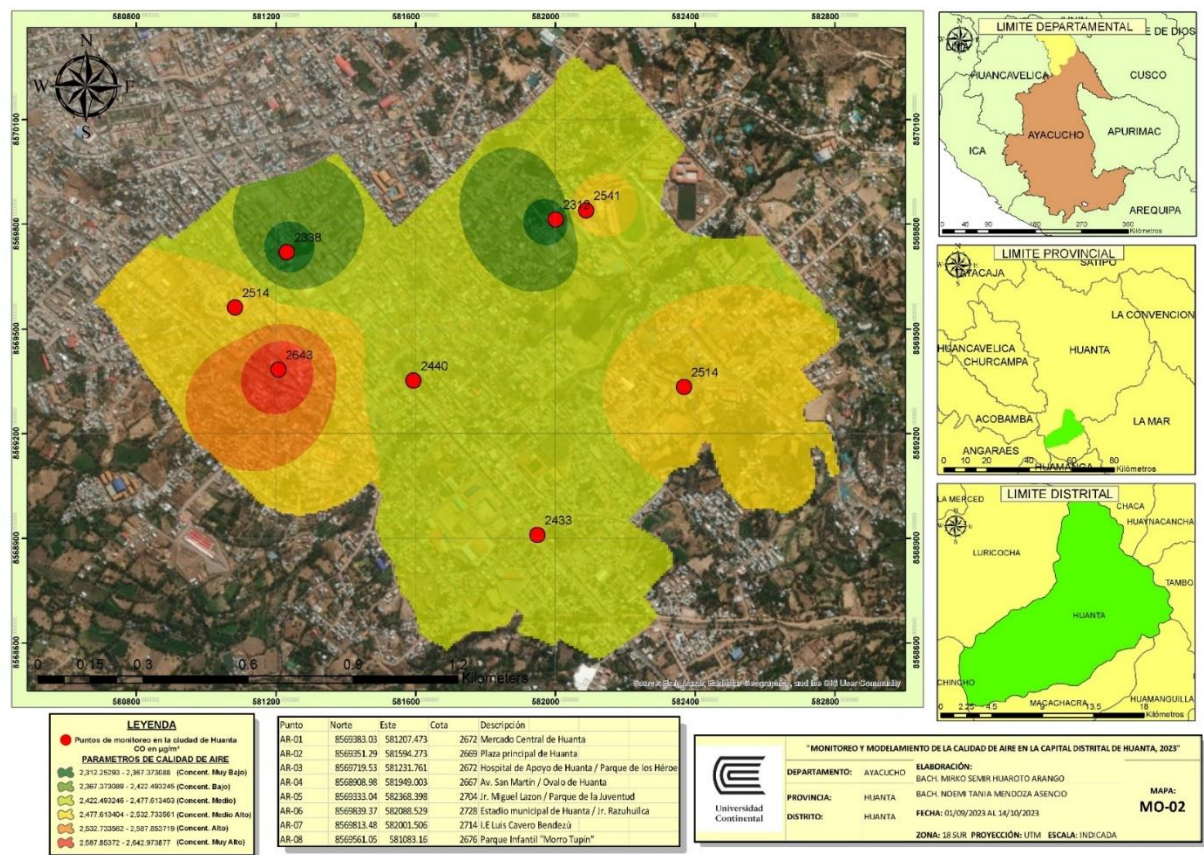


Figura 15. Mapa de calor por niveles de la concentración de CO

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el parámetro material particulado 2.5 (PM 2.5), valores altos y bajos.

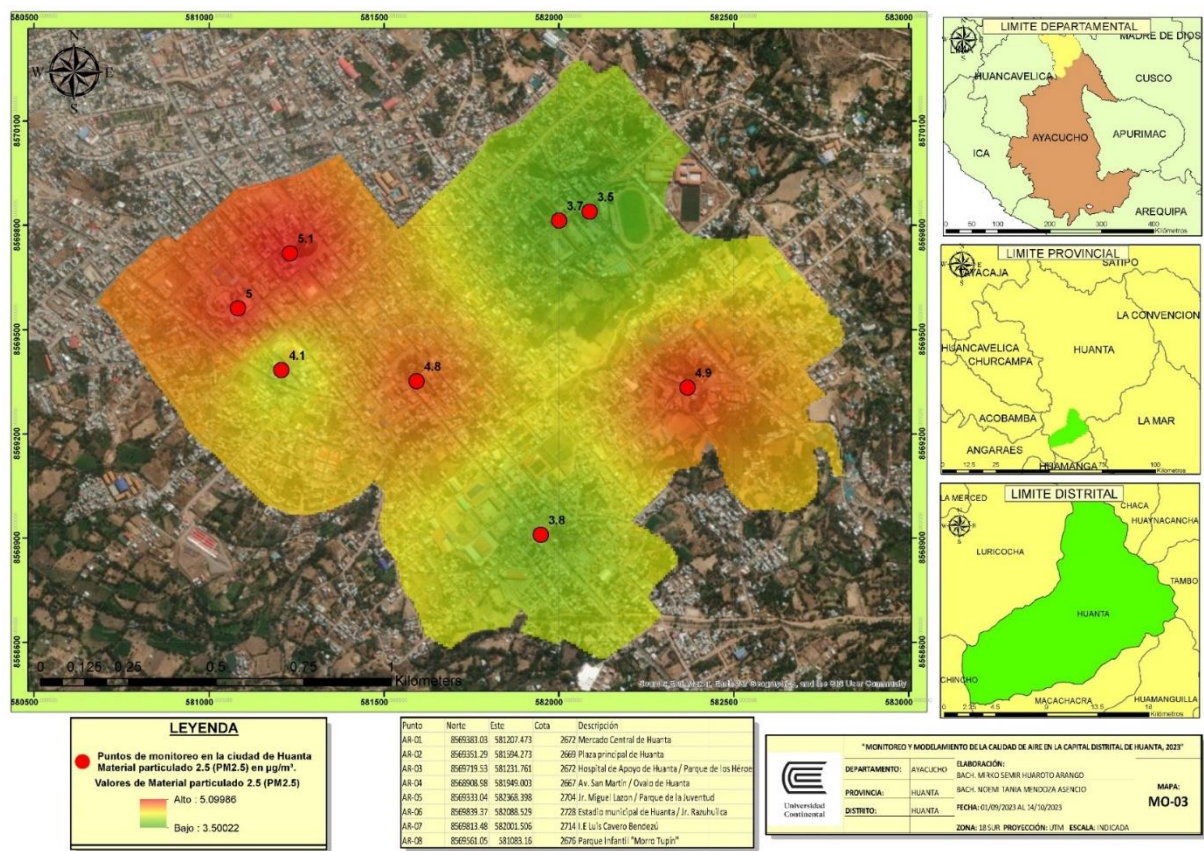


Figura 16. Mapa de calor de la concentración de PM 2.5 micras

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el parámetro material particulado 2.5 (PM 2.5), niveles de concentración.

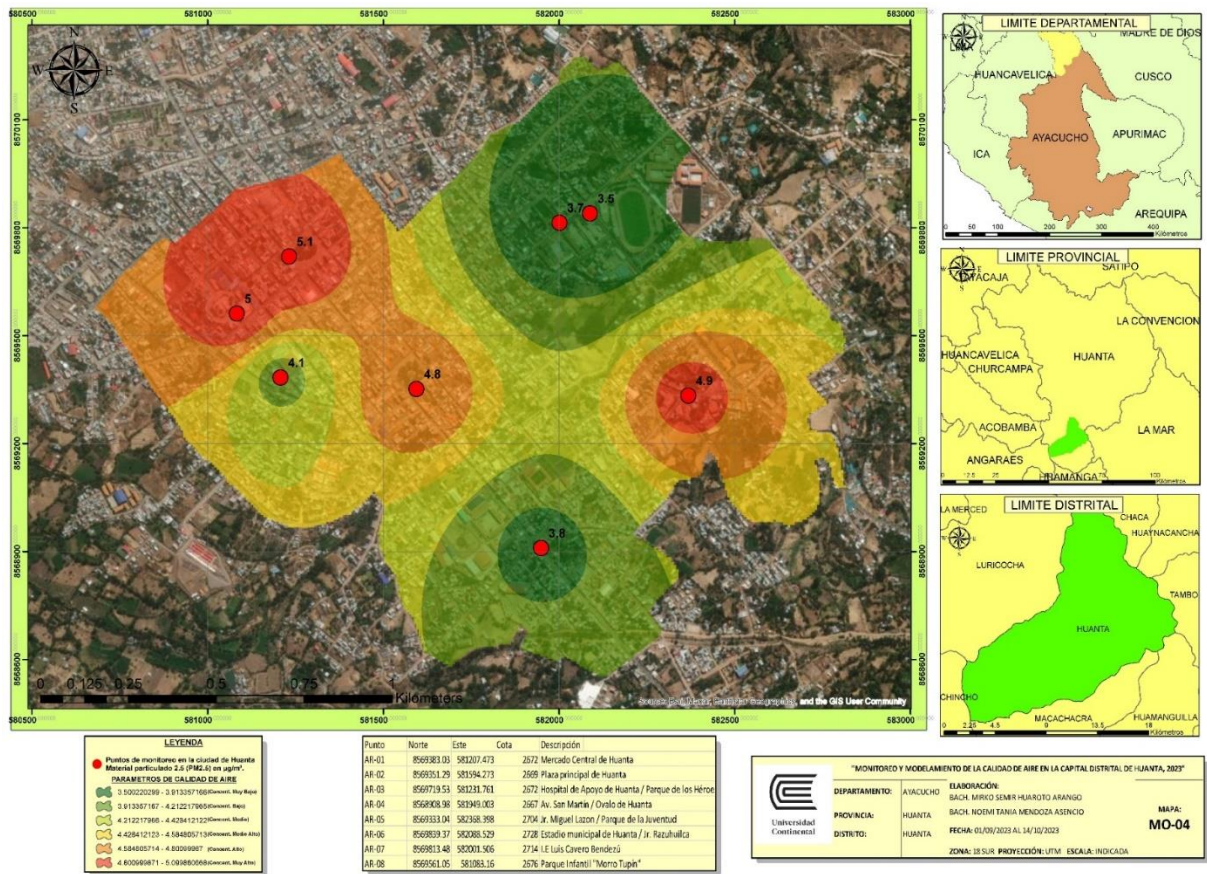


Figura 17. Mapa de calor por niveles de la concentración de PM 2.5 micras

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el material particulado PM 10 micras, valores altos y bajos.

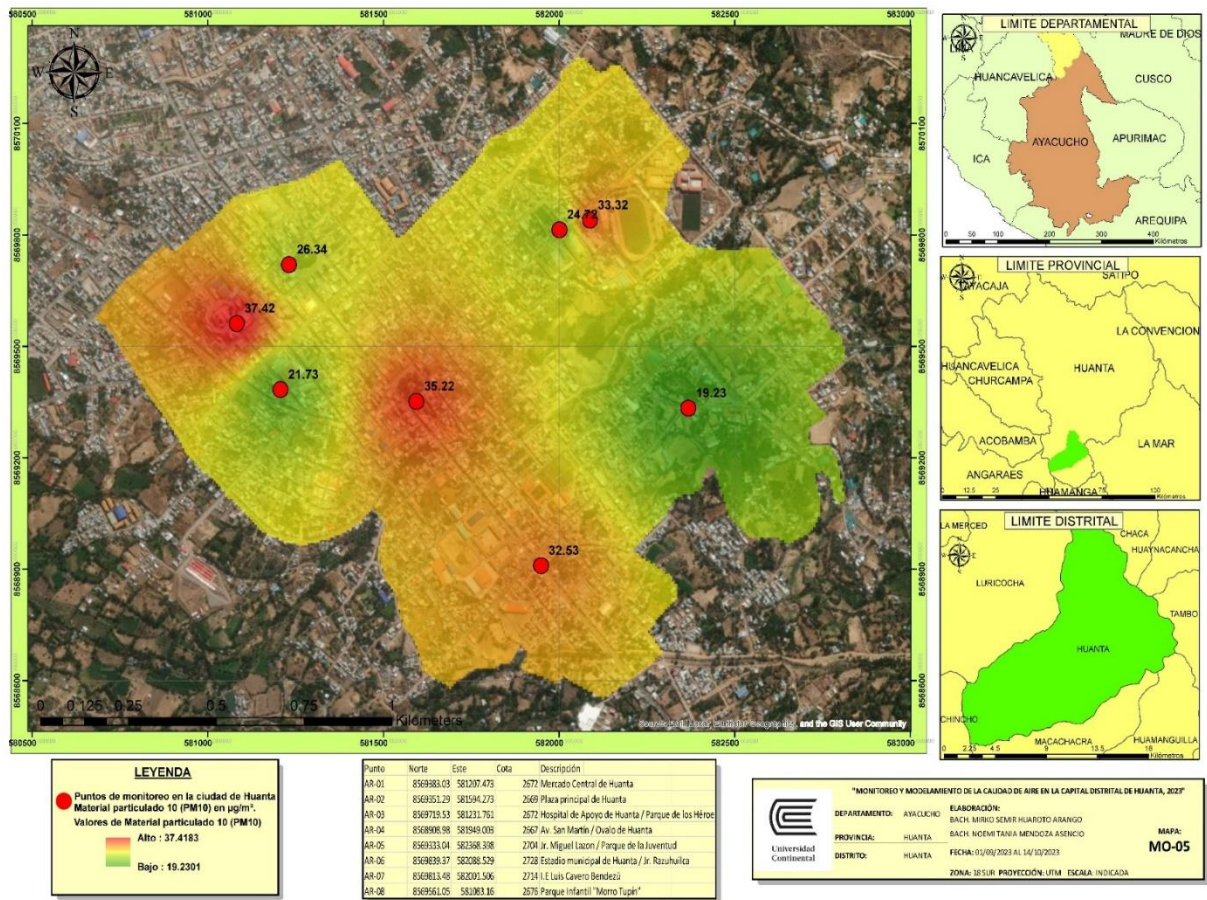


Figura 18. Mapa de calor de la concentración de PM 10 micras

Modelamiento de los 8 puntos de monitoreo de calidad de aire para el parámetro de material particulado de 10 micras por niveles de concentración.

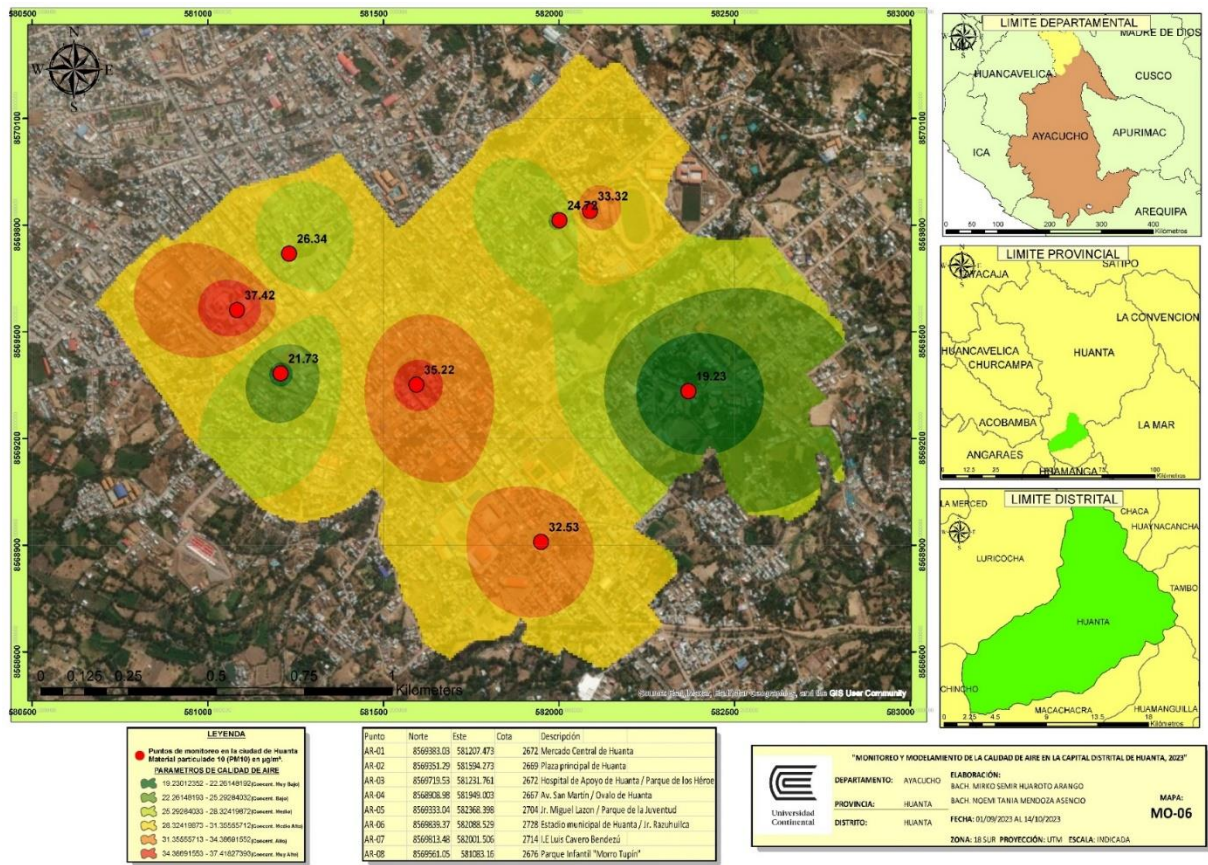


Figura 19. Mapa de calor de la concentración por niveles de PM 10 micras

4.4. Discusión de resultados

El presente estudio de monitoreo y modelamiento de la calidad del aire en la ciudad de Huanta, Ayacucho, ha arrojado resultados cruciales para evaluar el estado actual de la contaminación atmosférica en la región. A través de la medición de PM10, PM2.5, y monóxido de carbono (CO) en ocho puntos clave de la ciudad, los resultados permiten identificar patrones importantes sobre la calidad del aire en relación con las actividades antropogénicas y el parque automotor.

4.4.1. Concentración de PM10: Evaluación y Comparación

La concentración de PM10 registrada en los puntos de monitoreo varió entre 19.23 y 37.42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valores que se encuentran muy por debajo del límite de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Perú. Esto es un indicador positivo, ya que la inhalación de partículas gruesas como el PM10 puede causar enfermedades respiratorias y cardiovasculares graves, especialmente en poblaciones vulnerables como niños y ancianos.

En comparación con otras regiones del Perú, los valores de PM10 en Huanta son considerablemente bajos. Por ejemplo, estudios realizados en ciudades como Lima o Arequipa muestran que las concentraciones de PM10 suelen superar los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en áreas con tráfico denso o actividad industrial significativa. La diferencia puede explicarse por la menor densidad poblacional, el tráfico moderado y la menor actividad industrial en Huanta, lo que disminuye las fuentes de emisiones de material particulado grueso [55†source] .

Sin embargo, es importante tener en cuenta que, si bien las concentraciones actuales son bajas, ciertos factores podrían hacer que estos niveles aumenten con el tiempo. Por ejemplo, un incremento en el parque automotor, la falta de mantenimiento de vehículos o la expansión urbana sin planificación adecuada podrían incrementar las emisiones de PM10. Por lo tanto, es recomendable establecer mecanismos de control y monitoreo continuo, sobre todo en épocas secas cuando el polvo suspendido podría aumentar las concentraciones de material particulado.

4.4.2. Concentración de PM2.5: Resultados y Análisis

El análisis de la concentración de PM2.5 es uno de los más importantes en este estudio, debido a los graves efectos en la salud asociados con la exposición prolongada a este tipo de partículas finas. Las concentraciones registradas en los ocho puntos monitoreados oscilaron entre 3.5 y 5.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por debajo del límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por los estándares nacionales.

Este resultado es especialmente relevante porque el PM2.5 es capaz de penetrar profundamente en los pulmones y entrar en el torrente sanguíneo, lo que puede provocar enfermedades respiratorias crónicas, infartos y otros problemas cardiovasculares. Los bajos niveles observados en Huanta indican que, en la fecha del monitoreo, la exposición de la población a este contaminante es limitada, lo que reduce el riesgo de problemas graves de salud pública a corto plazo.

En comparación con otros estudios realizados en Perú y América Latina, los resultados de Huanta son alentadores. Por ejemplo, en ciudades con altos niveles de tráfico, como Bogotá o Ciudad de México, las concentraciones de PM2.5 pueden alcanzar valores superiores a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en días de alta actividad vehicular. En ciudades peruanas como Arequipa y Cusco, estudios recientes han mostrado que las concentraciones de PM2.5 a menudo superan los 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zonas de alto tránsito, lo que destaca el buen estado relativo de la calidad del aire en Huanta [【58:5†source】](#) [【58:7†source】](#) .

Es importante señalar que, aunque los valores actuales de PM2.5 en Huanta están muy por debajo de los límites permisibles, esto no debe ser motivo de complacencia. La actividad antropogénica, el uso de combustibles sólidos y el crecimiento del parque automotor podrían hacer que las concentraciones de PM2.5 aumenten si no se implementan medidas preventivas. Las partículas finas provienen principalmente de la combustión incompleta de combustibles fósiles, lo que sugiere la necesidad de monitorear la calidad del combustible utilizado en vehículos locales y promover el uso de tecnologías más limpias.

4.4.3. Concentración de Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas tóxico que se produce por la combustión incompleta de hidrocarburos, especialmente en motores de vehículos y procesos industriales. En el estudio, las concentraciones de CO variaron entre 2312 y 2643 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, todos los cuales están significativamente por debajo del límite de 10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por las normas peruanas.

El bajo nivel de CO detectado sugiere que las emisiones del parque automotor no representan una fuente de contaminación significativa en la actualidad. Sin embargo, la tendencia debe monitorearse a largo plazo, especialmente con el crecimiento del parque automotor o el uso de combustibles de mala calidad, que podrían aumentar las emisiones de CO y otros gases nocivos. Además, aunque las concentraciones observadas son bajas, se debe prestar atención a áreas donde se concentra el tráfico, como el mercado y las avenidas principales, ya que podrían experimentar picos temporales durante horas de alto tráfico.

4.4.4. Análisis de los resultados

Además de comparar los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) peruanos, también es útil comparar los valores con normativas internacionales, como las establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS tiene estándares más estrictos para el PM_{2.5}, con un valor límite de 15 µg/m³ en comparación con los 50 µg/m³ de las normas peruanas. En este contexto, los resultados de Huanta no solo cumplen con las regulaciones nacionales, sino que también están muy por debajo de los límites recomendados internacionalmente.

Esto posiciona a Huanta como una ciudad con un entorno favorable para la salud en términos de calidad del aire. Sin embargo, el desafío a largo plazo es mantener estos niveles bajos a medida que la ciudad crece y se moderniza. Las autoridades locales y regionales deberían aprovechar estos resultados para promover políticas públicas orientadas a preservar y mejorar la calidad del aire, fomentando el uso de energías limpias y el control de las emisiones vehiculares.

Limitaciones del Estudio y Consideraciones

A pesar de los resultados positivos, es importante considerar algunas limitaciones inherentes al diseño del estudio. En primer lugar, el monitoreo se realizó en un periodo de tiempo limitado, lo que no permite capturar la variabilidad estacional de las concentraciones de contaminantes. Por ejemplo, durante la temporada seca, es posible que las concentraciones de PM₁₀ aumenten debido a la re suspensión del polvo, mientras que, en la temporada de lluvias, las precipitaciones pueden reducir temporalmente las concentraciones de material particulado.

Además, el número de puntos de monitoreo, aunque suficiente para dar una indicación general de la calidad del aire en Huanta, podría ampliarse para incluir más áreas periféricas y zonas con menor actividad vehicular, para obtener una imagen más completa de la distribución espacial de los contaminantes.

Recomendaciones Futuras

Dado que los resultados del presente estudio indican que la calidad del aire es buena en términos de los contaminantes evaluados, las autoridades locales deberían aprovechar esta situación para implementar medidas preventivas que aseguren que estos niveles se mantengan bajos. Algunas recomendaciones clave incluyen:

Monitoreo continuo: Establecer estaciones permanentes de monitoreo de calidad del aire que permitan obtener datos en tiempo real sobre las concentraciones de contaminantes y su variación a lo largo del año.

Promoción de combustibles limpios: Fomentar el uso de combustibles menos contaminantes y el mantenimiento adecuado de los vehículos para reducir las emisiones de CO y PM2.5.

Planificación urbana sostenible: Promover la planificación urbana que minimice el tráfico vehicular en zonas residenciales y fomente el uso de medios de transporte no motorizados.

Sensibilización pública: Crear campañas de sensibilización para que la población comprenda la importancia de mantener bajos los niveles de contaminación, especialmente en relación con la salud pública.

En resumen, el estudio muestra que la calidad del aire en Huanta es buena en comparación con los estándares nacionales e internacionales. Las concentraciones de PM10, PM2.5, y CO están muy por debajo de los límites permisibles, lo que sugiere que la exposición de la población a estos contaminantes es limitada y no representa un riesgo significativo para la salud pública en la fecha de este estudio. Sin embargo, el crecimiento poblacional y del parque automotor en el futuro podría cambiar este escenario, por lo que es crucial mantener un monitoreo constante y adoptar políticas preventivas para evitar un deterioro de la calidad del aire.

Tabla 16. Resumen de concentraciones de los 8 puntos de monitoreo

Punto de Monitoreo	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	CO (µg/m³)
Mercado Central de Huanta	4.1	21.73	2643
Plaza principal de Huanta	4.8	35.22	2440
Hospital de Apoyo de Huanta / Parque Héroes	5.1	26.34	2338
Av. San Martín / Ovalo de Huanta	3.8	32.53	2433
Jr. Miguel Lazon / Parque de la Juventud	4.9	19.23	2514

Punto de Monitoreo	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	CO (µg/m³)
Estadio Municipal de Huanta / Jr. Razuhuilca	3.5	33.32	2541
I.E Luis Caveró Bendejú	3.7	24.72	2312
Parque Infantil "Morro Tupín"	5.0	37.42	2514

Esta tabla resume las concentraciones medidas de los contaminantes clave en cada uno de los puntos de monitoreo, mostrando un panorama general favorable para la calidad del aire en Huanta.

Los resultados del monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Huanta muestran una situación alentadora, debido a que los niveles de partículas en suspensión PM10 y PM2.5 y monóxido de carbono (CO) se encuentran por debajo de los estándares establecidos por las normas de calidad ambiental del Perú. Este hallazgo sugiere que, en la fecha de la encuesta, la contaminación del aire de la ciudad cumple con los límites establecidos para proteger la salud humana y el medio ambiente. Estos resultados positivos se deben a las posibles medidas de gestión ambiental implementadas en la región, así como a las características geográficas y demográficas de la ciudad. Sin embargo, es esencial continuar con el monitoreo y la vigilancia regulares para evaluar las tendencias a lo largo del tiempo y garantizar que las condiciones ambientales continúen cumpliendo con los estándares establecidos, contribuyendo así al mantenimiento de un medio ambiente saludable y sostenible en la comunidad de Huanta.

Además de los alentadores resultados que muestran que las concentraciones de PM10, PM2.5 y CO son inferiores a los estándares de calidad ambiental en Huanta, es importante considerar los posibles factores que contribuyen a esta situación positiva. La adopción de políticas ambientales efectivas, la introducción de tecnologías más limpias en la industria local y prácticas agrícolas sostenibles pueden contribuir a reducir la contaminación en la región. Sin embargo, también es importante analizar la estacionalidad y la variabilidad a corto y largo plazo de los datos para comprender mejor los patrones temporales e identificar posibles eventos únicos que puedan afectar la calidad del aire. Además, la participación comunitaria y la conciencia ambiental juegan un papel clave en la sostenibilidad de estos resultados positivos, y es

importante fomentar la cooperación continua entre las autoridades locales, la industria y los residentes para mantener y mejorar la calidad del aire en el futuro en Huanta.

CONCLUSIONES

- Los resultados indican que la actividad antropogénica no influye en la calidad del aire en Huanta no presenta niveles de contaminación dado que están por debajo de la normativa referidas a los estándares de calidad ambiental del aire (ECA)
- La evaluación de la calidad del aire en los ocho puntos de monitoreo ubicados en la provincia de Huanta revela que las concentraciones de los contaminantes CO, PM2.5 y PM10 están dentro de los márgenes permitidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes en la región, al momento de realizar las mediciones. Los niveles de CO en los lugares analizados varían desde 2312 mg/m³ hasta 2643 mg/m³, mientras que las concentraciones de PM2.5 se encuentran en un rango de 3.5 µg/m³ a 5.1 µg/m³. Por otro lado, los niveles de PM10 fluctúan entre 19.23 µg/m³ y 37.42 µg/m³. En todos los casos, los valores medidos permanecen por debajo de los límites máximos permitidos según la normativa actual para cada uno de estos contaminantes.
- La variabilidad de los resultados entre los puntos de muestreo refleja las diferentes fuentes de emisión locales y las características del entorno, pero en ningún caso se observa una sobrepasada de los valores límite que podría indicar una amenaza inmediata para la salud pública.
- La actividad antropogénica de emisión de vehículos y actividad comercial no afectan significativamente los niveles de PM10 y PM2.5, ya que no superan los límites establecidos, se encuentran en rangos relativamente altos en algunos puntos, como el Parque Infantil "Morro Tupín" (PM10 = 37.42 µg/m³) y la Plaza principal de Huanta (PM2.5 = 4.8 µg/m³), estos niveles son indicadores de una posible acumulación de partículas finas en el aire, lo cual podría tener impactos a largo plazo, especialmente en poblaciones vulnerables.
- El monitoreo realizado también pone de manifiesto la heterogeneidad espacial de la calidad del aire dentro de la ciudad, lo que refleja posibles diferencias en la densidad de fuentes contaminantes, como el tráfico vehicular, las actividades comerciales y la construcción, que podrían influir en las concentraciones de contaminantes en zonas específicas. Si bien los niveles no superan los ECA, el análisis de la distribución espacial de estos contaminantes es fundamental para una comprensión más completa de la calidad del aire y sus efectos en la salud pública.
- .

RECOMENDACIONES

Realizar monitoreo continuo: es importante continuar con los programas regulares de monitoreo de la calidad del aire para evaluar las tendencias a lo largo del tiempo y detectar cambios significativos en los niveles de contaminantes. Esto permite reaccionar rápidamente ante posibles variaciones e identificar posibles problemas a tiempo.

Mejorar la conciencia ambiental: promover campañas educativas locales orientadas a la comunidad y programas de conciencia ambiental. La participación activa de los residentes en el mantenimiento de la calidad del aire es crucial. La educación sobre prácticas cotidianas sostenibles, como la eficiencia energética y el transporte público, puede marcar una gran diferencia.

Identificación de fuentes de contaminación: Realizar estudios más detallados para identificar fuentes específicas de contaminación, especialmente aquellas que puedan resultar de actividades industriales o agrícolas. Esto permite la implementación de medidas específicas y efectivas para reducir las emisiones.

Promoción de tecnologías limpias: se fomenta la introducción de tecnologías limpias y prácticas industriales sostenibles en las empresas locales. Crear políticas que fomenten la reducción de emisiones y la adopción de tecnologías más ecológicas.

Cooperación entre instituciones: Fomentar la cooperación entre los gobiernos locales, la industria y la sociedad civil para fortalecer las iniciativas de monitoreo y gestión ambiental. Esto puede incluir el establecimiento de comités de seguimiento ambiental y la promoción de alianzas estratégicas.

Planificación urbana sostenible: integración de consideraciones ambientales en la planificación urbana y el desarrollo local. Promueve una planificación urbana sostenible que reduzca la congestión del tráfico y promueva la movilidad sostenible.

Investigación en curso: Apoyar la investigación en curso sobre la calidad del aire, incluida la evaluación de contaminantes emergentes o la adaptación a posibles cambios en las condiciones climáticas y los patrones de emisión.

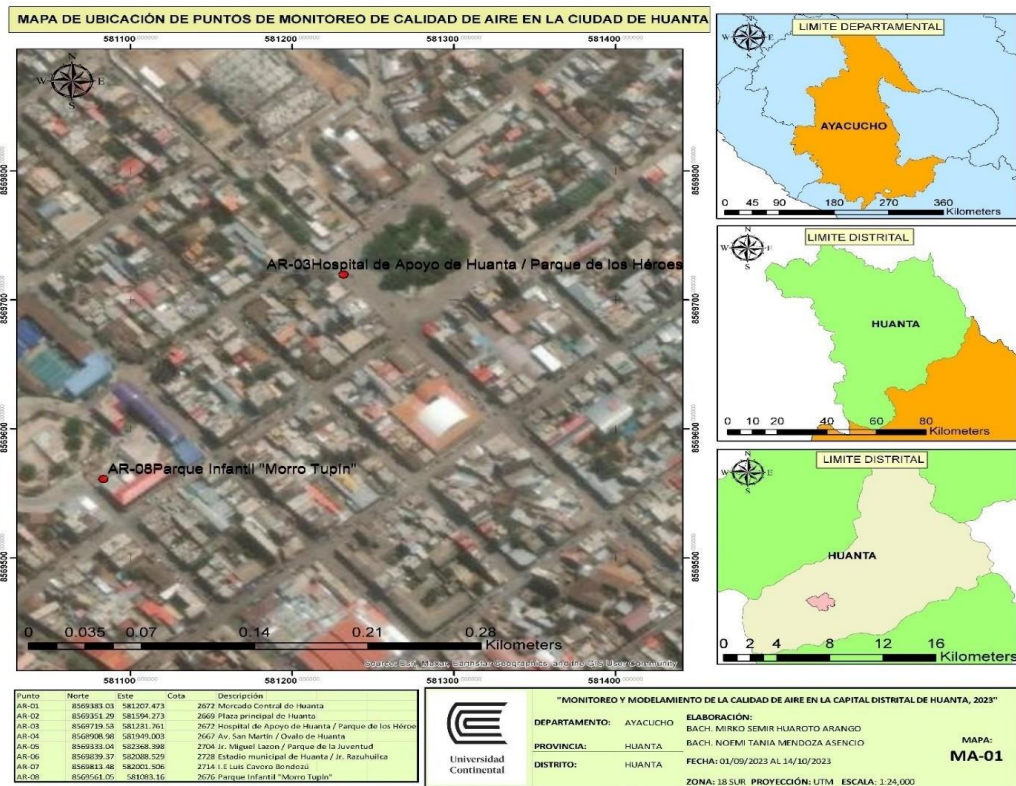
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCIA PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DE LOS ESTADOS UNIDOS - EPA. *Emisiones de tóxicos en el aire*. Online. 1999. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/urban-air-toxics-brochure-esp-1999.pdf>
2. GASCON, Mireia and SUNYER, Jordi. Contaminación del aire y salud respiratoria en niños. *Archivos de Bronconeumología*. August 2015. Vol. 51, no. 8, p. 371–372. DOI 10.1016/j.arbres.2015.03.001.
3. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD - OMS. Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. Online. 11 October 2024. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire> La Organización Mundial de la Salud -OMS reconoce que la contaminación atmosférica es uno de los principales riesgos ambientales para la salud en América y estimó que en 2019 alrededor de 6,7 millones de muertes prematuras se atribuyeron anualmente a los efectos de la contaminación del aire ambiente y doméstico, y que cerca del 99% de la población mundial vivía en lugares donde no se cumplían los niveles de las directrices de calidad del aire.
4. ALCAIDE, María Teresa. *Efectos ambientales del tráfico urbano : la evaluación de la contaminación atmosférica en Madrid*. Online. phdthesis. Universidad Politécnica de Madrid, 2000. [Accessed 13 September 2024].
5. CATOTA, Margoth A and MORENO, Lucía Margoth. "Cotopaxi y Citulasa de la ciudad de Latacunga", son de exclusiva responsabilidad de las autoras. . 2011.
6. GONZÁLEZ, Laura. *Estimación de la emisión anual de PM10*. . phdthesis. 2018.
7. ARBOLEDA, Katherine L and NETO, Anifer N. Modelos parametrizados de calidad de aire en base a sensores remotos en el distrito metropolitano de Quito entre los años 2016 al 2019. Online. [Accessed 13 September 2024]. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19929/1/UPS%20-%20TTS301.pdf>
8. HUAYNATIS, Neyra R. *Modelamiento de la dispersión de gases utilizando el Aermod versión 8.9 y su relación con los parámetros meteorológicos del Centro Poblado Santa Maria de Huachipa*. Online. phdthesis. 2019. [Accessed 13 September 2024]. Available from: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40527/Huaynatis_IN..pdf?sequence=1&isAllowed=y
9. ACOSTA, Jhocelyn D. and LOPEZ, Stefany. *Evaluación de Emisiones de Monóxido de Carbono y su Efecto en la Salud de la Población de Huamanga 2019*. . phdthesis. 2021.
10. VALERIANO ZAPANA, José A. *Relación de las variables meteorológicas en la dispersión espacio temporal de los contaminantes atmosféricos (PM2.5, PM10, SO2, NO2, O3) del distrito de Pacocha, Moquegua, 2019 - 2020*. Online. phdthesis. 2021. [Accessed 13 September 2024]. Available from: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11366/2/IV_FIN_107_TE_Valeriano_Zapana_2021.pdf
11. CUADROS BALDEÓN, Erlan Hugo. *Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM 10 generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017*. Online. phdthesis. 2021. [Accessed 20 September 2024]. Available from: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9782/4/IV_FIN_107_TE_Cuadros_Baldeon_2021.pdf

12. ESTELA PONCE, Manuel. *Factores meteorológicos y su relación con la calidad del aire producido por PM 10 generado en la fabricación de ladrillo artesanal en Cullpa Baja, 2017.* . phdthesis. 2021.
13. EURIBE, Oddalis del Rosario and NEYRA, Fiorella Leslie. *Influencia de la concentración de PM 2.5 sobre la calidad de aire en la Ciudad de Arequipa – Perú, 2015, 2016, 2019 Y 2020.* . phdthesis. 2021.
14. DALENS, Zulema Esther and MACEDO, Tabatha. Evaluación de la calidad del aire por emisiones de CO, PM2.5, PM10 generado por la industria ladrillera en Cusco. .
15. CHAMPI, Luis Marcelo. LINEA DE INVESTIGACIÓN: . 2023.
16. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL (SINIA). Decreto Supremo que aprueba el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. Online. [Accessed 19 October 2023]. Available from: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-protocolo-nacional-monitoreo-calidad>El “Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire”, es un instrumento que permite estar
17. PRESIDENCIA DE CONSEJO DE MINSITROS-PCM. Decreto Supremo N.º 085-2003-PCM. Online. 2003. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3115975-085-2003-pcm>El 30 de octubre de 2003 se aprobó el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido y los lineamientos para no excederlos, con el objetivo de proteger la salud, mejorar la calidad de vida de la población y promover el desarrollo sostenible. #gobpe
18. BOLDO, Elena. *La contaminación del aire.* Online. España : Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Centro Nacional de Epidemiología (CNE), 2016. [Accessed 17 February 2025]. ISBN 978-84-95463-55-5. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.12105/7274>
19. REDACCIÓN RPP. ¿Cuáles son los efectos de la contaminación del aire en nuestra salud? | RPP Noticias. Online. 16 February 2021. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://rpp.pe/campanas/valor-compartido/calidad-del-aire-como-afecta-la-contaminacion-del-aire-a-nuestra-salud-contaminacion-ambiental-ciudades-con-futuro-noticia-1321195>Según la Organizaciún Mundial de la Salud (OMS) se necesitan normativas nacionales e internacionales en sectores como transporte, gestiún de residuos energéticos, construcciún y agricultura para reducir la contaminaciún del aire, que afecta nuestros pulmones.
20. TORRES VÁZQUEZ, José Duanis, GARRIDO GUERRA, Lidia María and GARRIDO GUERRA, Elizabeth. Calidad del aire. Principales riesgos de contaminación para la salud. *Opuntia Brava*. 28 September 2023. Vol. 15, no. Especial, p. 17–32.
21. CONIOT18. ¿Cuáles son los contaminantes primarios y secundarios más peligrosos? *Envira*. Online. 9 January 2022. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://envira.es/contaminantes-primarios-y-secundarios-mas-peligrosos/>Desde ENVIRA IoT abordamos todo lo que debes saber sobre contaminantes primarios y secundarios y cuáles son los más peligrosos.
22. ESTÉVEZ, Ricardo. Economía circular: el concepto. *ecointeligencia*. Online. 29 June 2016. [Accessed 19 February 2025]. Available from: <https://www.ecointeligencia.com/2016/06/economia-circular-concepto/>La economía circular es un concepto reparador y regenerativo que pretende conseguir que los productos mantengan su utilidad y valor en todo momento

23. TÉLLEZ, Jairo, RODRÍGUEZ, Alba and FAJARDO, Álvaro. Contaminación por Monóxido de Carbono: un Problema de Salud Ambiental. *Revista de Salud Pública*. April 2006. Vol. 8, no. 1, p. 108–117.
24. BOLAÑOS MORERA, Pamela, CHACÓN ARAYA, Carolina, BOLAÑOS MORERA, Pamela and CHACÓN ARAYA, Carolina. Intoxicación por monóxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica*. March 2017. Vol. 34, no. 1, p. 137–146.
25. TZINTZUN, María Guadalupe, ROJAS, Leonora and FERNÁNDEZ, Adrián. Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas. . 2005.
26. RAMÍREZ-CANDO, Lenin Javier, ARMIJOS, Miguel, CRESPO, Michelle, PINO-CASIGNIA, Sandra Paulina and ÁLVAREZ-MENDOZA, César Iván. Modelamiento geoestadístico de mediciones de concentración de material particulado (PM10) para la validación de un método simplificado. *Anales Científicos*. 18 June 2018. Vol. 79, no. 1, p. 81–91. DOI 10.21704/ac.v79i1.1143.
27. MINAM. *Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf*. Online. 2014. [Accessed 17 July 2024]. Available from: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2014/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
28. MORAN, Gabriela and ALVARADO, Darío Gerardo. *Metodos de Investigacion*. . 2010.
29. ARIAS-GÓMEZ, Jesús, VILLASÍS-KEEVER, Miguel Ángel and MIRANDA-NOVALES, María Guadalupe. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *RAM*. 11 May 2016. Vol. 63, no. 2, p. 201–206. DOI 10.29262/ram.v63i2.181.

ANEXOS



Anexo 1: Ubicación de puntos de monitoreo.

PUNTO N° 1



PUNTO N° 1



PUNTO N° 2



PUNTO N° 2



LEYENDA

● Puntos de monitoreo en la ciudad de Huanta

MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE HUANTA



Punto	Norte	Este	Cota	Descripción
AR-01	8569383.03	581207.473	2572	Mercado Central de Huanta
AR-02	8569353.29	581594.273	2569	Plaza principal de Huanta
AR-03	8569779.53	581231.761	2675	Hospital de Apoyo de Huanta / Parque de los Héroes
AR-04	8569008.98	581963.033	2567	Av. San Martín / Colegio de Huanta
AR-05	8569333.04	582368.398	2704	Jr. Miguel Lizon / Parque de la Juventud
AR-06	8569839.37	582088.529	2728	Estadio municipal de Huanta / Jr. Razuulica
AR-07	8569813.48	582033.506	2714	J. Luis Cervero Benedito
AR-08	8569561.05	581083.16	2676	Parque Infantil "Moro Tupin"



Universidad
Continental

"MONITOREO Y MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CAPITAL DISTRITAL DE HUANTA, 2023"

DEPARTAMENTO: AYACUCHO

PROVINCIA: HUANTA

DISTRITO: HUANTA

ELABORACIÓN:

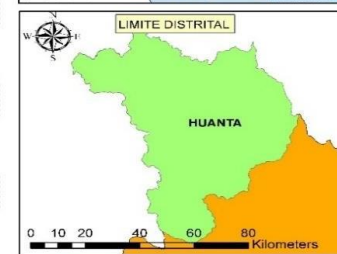
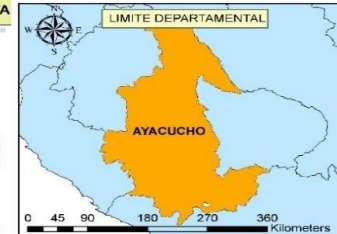
BACH. MIRKO SEMIR HUAROTO ARANGO

BACH. NOEMI TANIA MENDOZA ASENCIO

FECHA: 01/09/2023 AL 14/10/2023

ZONA: 18 SUR PROYECCIÓN: UTM ESCALA: 1:24,000

MAPA:
MA-02



PUNTO N° 4



PUNTO N° 4



PUNTO N° 5



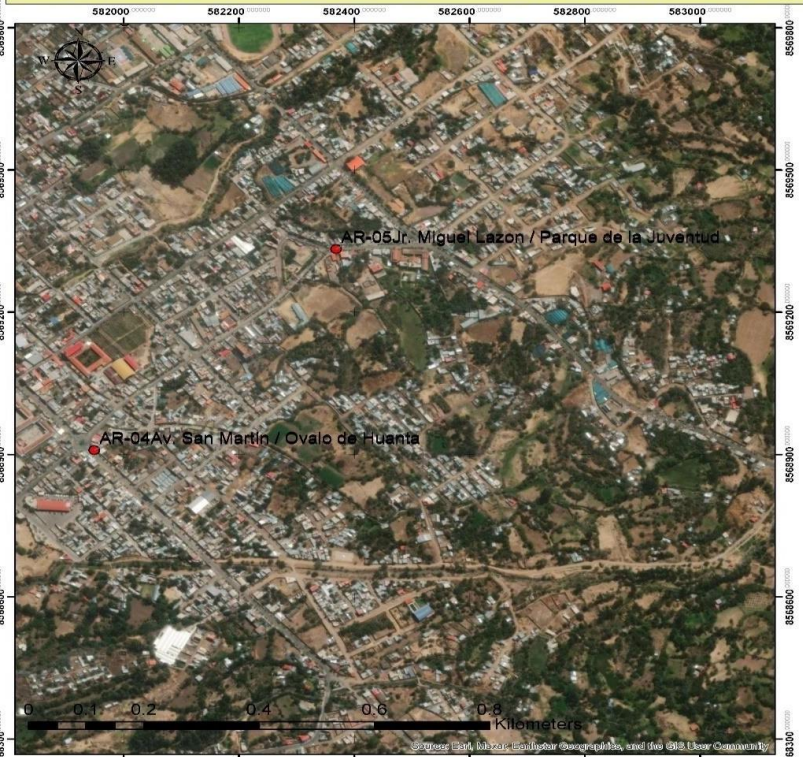
PUNTO N° 5



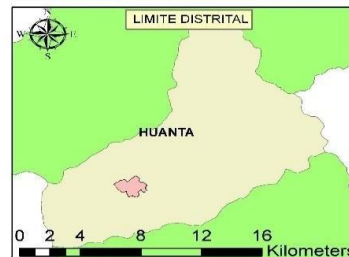
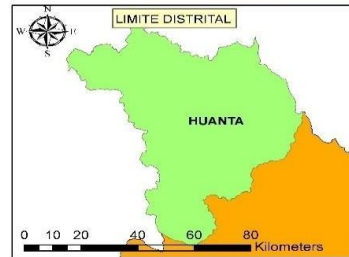
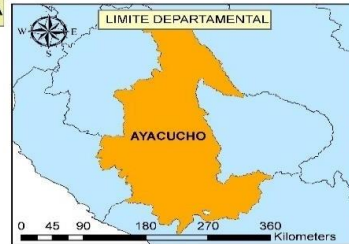
LEYENDA

● Puntos de monitoreo en la ciudad de Huanta

MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN LA CIUDAD DE HUANTA



Punto	Norte	Este	Cota	Descripción
AR-01	8569383.03	581207.473	2672	Mercado Central de Huanta
AR-02	8569351.29	581594.273	2669	Plaza principal de Huanta
AR-03	8569719.53	581231.761	2672	Hospital de Apoyo de Huanta / Parque de los Héroes
AR-04	8569906.98	581945.003	2667	Av. San Martín / Ovalo de Huanta
AR-05	8569333.04	582368.398	2704	Jr. Miguel Lazon / Parque de la Juventud
AR-06	8569839.37	582088.529	2728	Estadio municipal de Huanta / Jr. Razuulica
AR-07	8569813.48	582001.506	2714	C. Luis Cervero Benedito
AR-08	8569561.05	581083.16	2676	Parque Infantil "Morro Tupín"



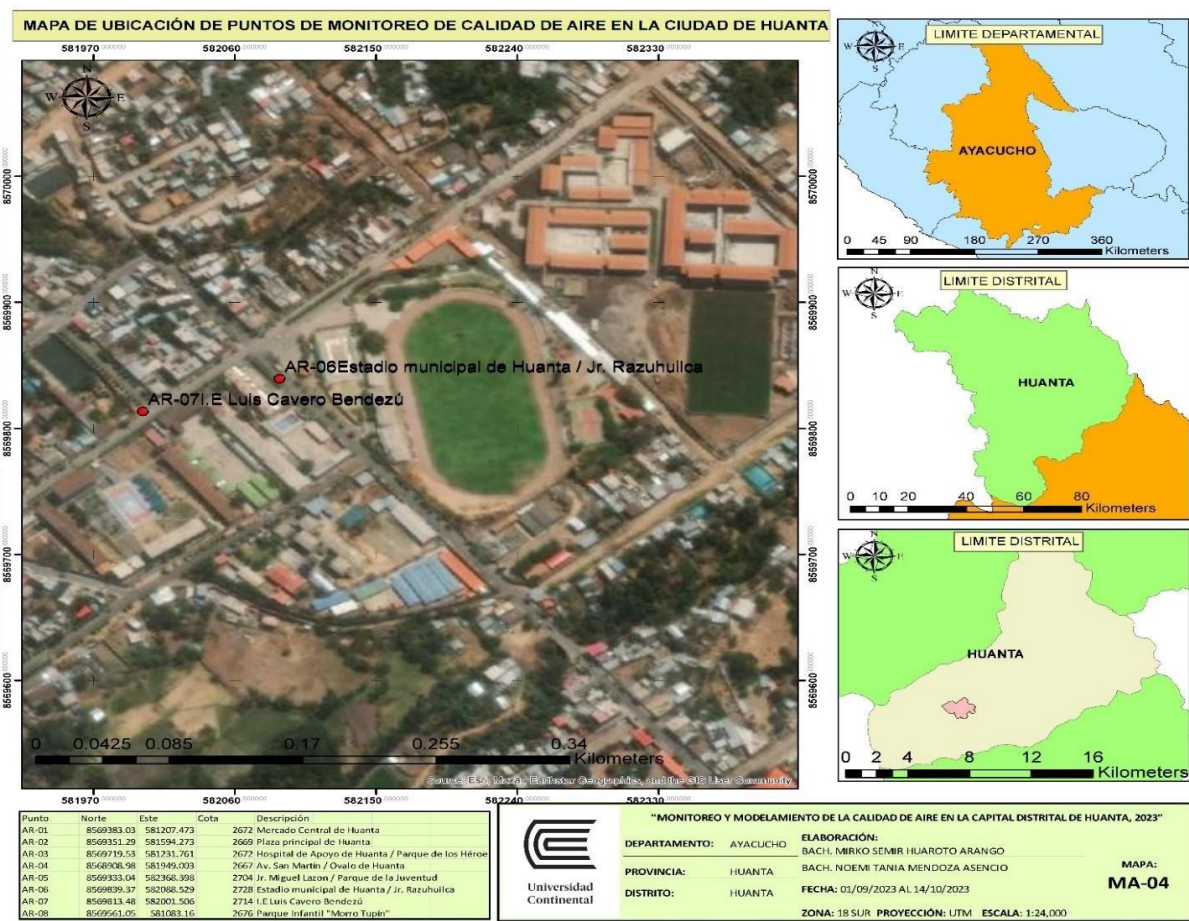
"MONITOREO Y MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CAPITAL DISTRITAL DE HUANTA, 2023"

DEPARTAMENTO: AYACUCHO
 PROVINCIA: HUANTA
 DISTRITO: HUANTA

ELABORACIÓN:
 BACH. MIRKO SEMIR HUAROTO ARANGO
 BACH. NOEMI TANIA MENDOZA ASENSIO
 FECHA: 01/09/2023 AL 14/10/2023

MAPA:
 MA-03

ZONA: 18 SUR PROYECCIÓN: UTM ESCALA: 1:24,000



Anexo 2. Evidencias de muestreo

Anexo 3: Certificado de calibración de muestreador de partículas.



ECOSISTEM S.A.C.
LAB. DE PLUS



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LFU 0027-2022

1.- Solicitante
LABORATORIO TECNOLÓGICO Y AMBIENTAL DAXEN S.A.C.

2.- Dirección
Jr. Carlos Soberón Mz M12 Lote 13 - S3L- Lima.

3.- Instrumento
MUESTREADOR DE PARTICULAS

Marca/Fabricación: ECS

Modelo: 2000BSC.

Serie: 24789422

Flujo de Trabajo: 16.7 L/min

4.- Fecha de Calibración: 23 de Octubre del 2022

5.- Lugar de Calibración: LAB. ECOSISTEM S.A.C

6.- Condiciones de Calibración

Temperatura Ambiental: 23 °C

Humedad: 78%

Presión: 747.9 mmHg

7.- Método de Calibración

La Calibración fue hecha mediante el manual de fabricante, comparación con patrones trazables y el procedimiento de calibración de Muestreadores de Bajo Volumen de ECOSISTEM SAC. PCLV001.

8.- Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizadas tienen trazabilidad a los patrones del sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).
Para la calibración se utilizó:
Medidor de Flujo - Marca: Tetracal / Modelo: BGI / S/N 327 / N° de Certificado 105-04T1- Calibrado: 2021/06/10
Barómetro - Marca: Extech Instruments / Modelo: SD700 / S/N A.095029 Certificado N° LFP-031-2021/ Calibrado: 2021-03-13.
Termohigrometro - Marca: Boeco / Modelo: SH -110 - S/N: ECS 023- Certificado N° T- 4592 - 2020 - Fecha de Calibración: 2020-10-21.

9.- Observaciones

Los resultados del certificado son válidos solo para el objeto calibrado, se refieren al momento, condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debe tener un control de mantenimiento y recalibraciones apropiadas para cada instrumento.
ECOSISTEM S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento o equipo después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declaradas.
Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización de ECOSISTEM S.A.C.

Realizado por:

ECOSISTEM S.A.C.

Ian L. Salazar Iupia
Técnico de Laboratorio

Realizado por:

ECOSISTEM S.A.C.

MARCELINO HUARCAYA TAPIA
JEFE DE LABORATORIO

ECOSISTEM S.A.C.
AV. San Juan Mz H.107 - ATE - LIMA
Tel: 7788111
Email: info@ecosistem.com
Web: www.ecosistem.com

PR0.001 - FCDT01 - 2020



CIPAV S.R.L.
ING. DANNY DARCY APACAY
ESP ISO/IEC 17025
GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL



ECOSISTEM S.A.C.
CALLE 200 N° 1000



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LFU 0027-2022

10.- Resultados

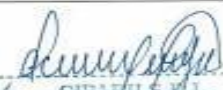
PATRÓN (L/min)	FOURNO (L/min)	ERROR (L/min)	INCERTIDUMBRE (L/min)
14.60	14.62	-0.020	0.081
16.69	16.66	0.030	0.083
18.25	18.20	0.050	0.085

11.- Incertidumbre

- *La incertidumbre expandida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximación 95%.
- *La incertidumbre declarada en el presente certificado ha sido estimada siguiendo la "Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida", CEM 2008."

FIN DE DOCUMENTO




CIPAFU S.R.L.
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN AMBIENTAL
Ing. Danny Darcy Amador Luján
ESP ISO/IEC 17025
GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL

ECOSISTEM S.A.C.
CALLE 200 N° 1000 - 1000 - LIMA
Tel: 7766111
Email: info@ecosistemasa.com
Web: www.ecosistema.com

PR0.001 - FCD701 - 2020

2/2

Anexo 4: Certificado de calibración instrumento HIVOL (VENTURI) OHLF-148-2023 (INACAL)



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
OHLF-148-2023**

1.- SOLICITANTE

Nombre: ANALISTAS AMBIENTALES S.A.C.

Dirección: JR. TAHUANTINSUYO NRO. 1484 URB. ZARATE LIMA - LIMA -
SAN JUAN DE LURIGANCHO

2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN HIVOL (VENTURI)

Marca : Thermo SCIENTIFIC

Modelo : GI12360-1

N° de Serie : P9203X

Procedencia : No indica

3.- PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

La calibración fue realizada tomando como referencia el procedimiento descrito en el
EPA Compendium Method IO - 2.1

4.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN

- * El instrumento fue calibrado el 2023 - 04 - 20.
- * La calibración se realizó en el Área de Flujo del Laboratorio OHLAB.

5.- TRAZABILIDAD

N° de Certificado	Patrón utilizado	Marca	Modelo
TE-5028A	Calibrador Vari Flow	TISCH Environmental	TE-5028A
TISCH Environmental			

6.- CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura	24,3 °C	± 0,3 °C
Humedad	61,2 % HR	± 0,8 °C
Presión	1007,9 hPa	± 0,2 hPa

Este certificado de calibración solo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos y/o modificaciones requieren la autorización del Laboratorio de Metrología OHLAB. Certificado sin firma y sello carecen de validez.
Los resultados de este certificado no deben utilizarse como certificado de conformidad de producto.

Fecha de emisión: 2023 - 04 - 20.




Miguel A. Zacarias Zamudio
Metrólogo



OCCUPATIONAL HYGIENE LABORATORY S.A.C.
Laboratorio de Metrología
Avenida La Marina 365, La Perla, Callao - Perú
Telf.: (01) 454 3009 Cel.: (+51) 983 731 672
Email: comercial@ohlaboratory.com
Web: www.ohlaboratory.com


CIPARU S.R.L.
Ing. Danny Darcy
ESP ISO/IEC 17025
GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL

Pág. 1 de 2

Rev. 04

CERTIFICADO DE CALIBRACION OHLF-148-2023

7.- RESULTADOS

Ta (K): 295,8		Pa (mmHg): 756		Slope: 1,04617		Int.: -0,01981		
Corrida Number	Orificio H2O	Qa m³/min	Muestreador H2O	Pf mm Hg	Pa/Pa	Look Up m³/min	% de diferencia	Incertidumbre m³/min
1	3,89	1,201	10,8	20,156	0,973	1,195	-0,500	0,1
2	3,81	1,188	12,2	22,769	0,970	1,191	0,252	0,1
3	3,72	1,174	13,5	25,195	0,967	1,187	1,107	0,1
4	3,63	1,160	15,5	28,927	0,962	1,181	1,810	0,1
5	3,58	1,152	17,4	32,473	0,957	1,174	1,909	0,1

7.1.- NOTAS

- * Los datos obtenidos son el resultado del promedio de 15 mediciones por punto de calibración.
- * Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".
- * La periodicidad de la calibración esta en función al uso y mantenimiento del equipo de medición.
- * La incertidumbre de la medición ha sido determinada usando un factor de cobertura k=2 para un nivel aproximado de confianza del 95%.

(Fin del documento)




CIPARU S.R.L.
COMITÉ DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN AMBIENTAL
 Ing. Danny Darcy Arcequita Luján
 ESP ISO/IEC 17025
 GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL

Anexo 5: Certificado de calibración de Rotámetro.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No: CCP-0741-009-22




IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

NOMBRE: LABORATORIO TECNOLÓGICO Y AMBIENTAL DAXEN
 DIRECCIÓN: CALLAS ORQUEDEAS MZA. A3 LOTE. 26 URS. LA PLANICE ETP B LIMA - LIMA - CARABAYLLO

IDENTIFICACIÓN DEL ÍTEM DE CALIBRACIÓN

ITEM:	ROTÁMETRO	CÓDIGO ¹⁾ :	EQ-0PE-04
MARCA:	DWYER	UNIDAD DE MEDIDA:	cm ³ /min
MODELO:	RMA-13	RESOLUCIÓN:	50 cm ³ /min
TIPO:	ROTÁMETRO	INTERVALO DE MEDIDA ²⁾ :	(255 a 1000) cm ³ /min
SERIE:	NO ESPECÍFICA	VERIFICACIÓN ³⁾ :	NO ESPECÍFICA

EQUIPAMIENTO UTILIZADO

CÓDIGO	NOMBRE	MARCA	MODELO	SERIE	VENCE CAL.	Nº CERTIFICADO
ELP-PT-002	CALIBRADOR PRIMARIO DE FLUJO	SIOS	DEFENDER 530	175004	2022-12-16	361379
ELP-PT-003	CALIBRADOR PRIMARIO DE BAJO FLUJO	SIOS	DEFENDER 530	175887	2022-12-16	364274
ELP-PT-006	BARÓMETRO	CONTROL COMPANY	6032	101021042	2022-11-03	CG-4196-035-01
ELP-PT-008	TERMOPROBETRO	CENTER	342	183303304	2022-08-03	CCP-0731-003-21

DECLARACIÓN DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA

Los resultados de calibración contenidos en este certificado son trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI) por medio de una cadena ininterrumpida de calibraciones a través del NIST (National Institute of Standards and Technology - Estados Unidos) u de un Instituto Nacional de Metrología (INM).

CALIBRACIÓN

MÉTODO: COMPARACIÓN DIRECTA CON CALIBRADOR PRIMARIO DE FLUJO.
 DOCUMENTO DE REFERENCIA: CGM 106-009 2008 (EDICIÓN DIGITAL 1)
 PROCEDIMIENTO: PSC-EL-39
 LUGAR DE CALIBRACIÓN: LABORATORIO 2 (ELICROM)
 TEMPERATURA AMBIENTAL MEDIA: 21.4 °C ±0.2 °C
 HUMEDAD RELATIVA MEDIA: 87.7 %RH ±0.1 %RH
 PRESIÓN ATMOSFÉRICA MEDIA: 1005 hPa ±0 hPa

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Nominal	Reading Item	Reading Refer	Error	Incertidumbre Expandida	Factor de Cobertura (k)
cm ³ /min	cm ³ /min	cm ³ /min	cm ³ /min	cm ³ /min	
200	202	171	29	29	2.00
400	403	377	26	26	2.00
600	606	568	38	38	2.00
800	806	707	99	99	2.00
1000	1009	899	110	110	2.00

EQUIVALENCIA EN EL SISTEMA INTERNACIONAL

Nominal	Reading Item	Reading Refer	Error	Incertidumbre Expandida	Factor de Cobertura (k)
m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	
3.33E-05	3.33E-05	2.89E-06	4.67E-07	4.63E-07	2.00
6.67E-05	6.67E-05	6.28E-06	9.33E-07	9.26E-07	2.00
1.00E-04	1.00E-04	9.47E-06	1.39E-07	1.38E-07	2.00
1.33E-04	1.33E-04	1.19E-05	1.53E-08	1.53E-07	2.00
1.70E-04	1.70E-04	1.6E-05	1.0E-05	1.0E-07	2.00

OBSERVACIONES

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición, la cual se evalúa con base en el documento JCGM 100:2008 (GUM: 1995 with minor corrections) "Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement", multiplicando la incertidumbre tipo combinada por el factor de cobertura k, que para una distribución t (de Student) corresponde a un nivel de confianza de aproximadamente al 95.45%. Este certificado no podrá reproducirse excepto en su totalidad sin la aprobación escrita del laboratorio Elicrom-Calibración. Los resultados contenidos en este certificado son válidos únicamente para el ítem aquí descrito, en el momento y bajo las condiciones en que se realizó la calibración.

¹⁾ Información proporcionada por el cliente. Elicrom no es responsable de dicha información.
²⁾ Información tomada de las especificaciones del ítem de calibración (proporcionada por el fabricante).

CALIBRACIÓN REALIZADA POR: José Aguirre
 FECHA DE RECEPCIÓN DEL ÍTEM: 2022-06-24
 FECHA DE CALIBRACIÓN: 2022-06-24

FECHA DE EMISIÓN: 2022-06-30



Autenticación de certificado



Ing. Santos Pinilla
Gerente General



Firma electrónica

[illegible]

Anexo 7: ECA AIRE/ Reporte de la calidad de aire.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RURU KILLA
CIPARU S.R.L. - ÁREA LABORATORIO
RUC: 20607101087



INFORME DE ENSAYO N° 0063: IE-MA-23-0296-1

SOLICITADO POR	NOEMI TANIA MENDOZA ACENCIOMIRKO SEMIR HUAROTO ARANGO
NOMBRE DEL CONTACTO	DANIEL AMEZQUITA LUJAN
PROYECTO/SERVICIO	"MONITOREO Y MODELAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE EN LA CAPITAL DE LA PROVINCIA DE HUANTA - AYACUCHO"
PROCEDENCIA	CAPITAL HUANTA - AYACUCHO
MUESTREO REALIZADO POR	CIPARU S.R.L.
CANTIDAD DE MUESTRA	6
PRODUCTO	AIRE
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS	AIR-1 (02/09/2023), AIR-2 (07/09/2023), AIR-3 (17/09/2023), AIR-4 (29/09/2023), AIR-5 (23/09/2023), AIR-6 (30/09/2023), AIR-7 (08/10/2023) Y AIR-8 (14/10/2023)
FECHA DE ENSAYO	AIR-1 (04/09/2023), AIR-2 (08/09/2023), AIR-3 (18/09/2023), AIR-4 (28/09/2023), AIR-5 (25/09/2023), AIR-6 (02/10/2023), AIR-7 (09/10/2023) Y AIR-8 (16/10/2023)
FECHA DE EMISIÓN	26/10/2023
N.A. No Aplica	

I. METODO Y REFERENCIA:

Ensayo	Norma de Referencia	Título	L.C.M.	Unidad
MATERIAL PARTICULADO (PM10)	NTP 900.030	NTP 900.030: 2018. Calidad de aire. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM10 en la atmósfera. 2018-12-28. 2ª Edición	1.5	ug/m3
MATERIAL PARTICULADO (PM2.5)	NTP 900.060	MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método de referencia para la determinación de material particulado fino como PM2.5 en la atmósfera. 1a Edición.	5.0	ug/m3
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	AEN-PO-020. Peter G. Warner "Analysis of Air Pollutants", Wiley-Interscience, New York. 1976.	Determinación de Monóxido de Carbono en la atmósfera. Método 4-Carboxibenceno sulfonamida.	1250	ug/m3

L.C.M. (Límite de cuantificación del método). No se puede determinar.
(*) Los resultados indicados han sido obtenidos por muestreo en la normativa ISO/IEC 17025 del INACAL.

II. RESULTADOS:

ITEM	1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO	MIMA-0360-1	MIMA-0360-1	MIMA-0360-1
CÓDIGO DE CUENTE	ARR-01	ARR-02	ARR-03
DESCRIPCIÓN	Merced central de Huanta	Plaza principal de Huanta	Hospital de apoyo de Huanta
COORDENADAS UTM WSG 84	N: 6569383 E: 6581257	N: 6569351 E: 6581584	N: 6569719 E: 6581231
MATRIZ	AIRE	AIRE	AIRE
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	GMU-PO-002	GMU-PO-002	GMU-PO-002
INICIO DE MUESTREO	FECHA:	01-09-2023	06-09-2023
	HORA:	9:00	08:00
FIN DE MUESTREO	FECHA:	02-09-2023	07-09-2023
	HORA:	0:00	05:00
Ensayo	Unidad	Resultado	Resultado
Material Particulado (PM10)	µg/m3	21.73	36.22
Material Particulado (PM2.5)	µg/m3	100	26.24
Monóxido de carbono (CO2)	µg/m3	<5.1	2440.0

Nota:
(*) Los resultados indicados han sido obtenidos por muestreo en la normativa ISO/IEC 17025 del INACAL.




CIPARU S.R.L.
Ing. Danny Darcy Amezcua Luján
ESP. ISO/IEC 17025
GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de CIPARU S.R.L. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. El tiempo de validez del informe de ensayo, tanto en digital como en físico, es de 2 años.

NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto u como certificación externa de calidad de la entidad que lo produce.

P.S.J. MARTE N°163-URB. CIUDAD Y CAMPO - DISTRITO RMAC - LIMA/URB. JOSE GUTIERREZ VIRGARA MZ P LOTE 03 INT. A-ENACE-AYACUCHO

Fecha de revisión: 2023-10-08

CENTRAL TELEFÓNICA: 956148929/7465112 / PÁGINA WEB: www.ciparu.com / RUC: 20607101087 / REMITE: 000186996-2022

Página 1 de

ITEM	4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO	MMA-0380-1	MMA-0380-1	MMA-0380-1
CÓDIGO DE CLIENTE	AR-04	AR-05	AR-06
DESCRIPCIÓN	Av. San Martín Ovario Huancayo	Jr. Miguel León - parque de la juventud	Estado municipal Huancayo - Jr. Reschulca
COORDENADAS UTM WGS 84	N: 8568403 E: 0591919	N: 8569333 E: 0601158	N: 8569839 E: 0602158
MATRIZ :	AIRE	AIRE	AIRE
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	GMU-PD-002	GMU-PD-002	GMU-PD-002
INICIO DE MUESTREO	FECHA : 24-09-2023 HORA : 09:20	22-09-2023 08:45	25-09-2023 09:20
FIN DE MUESTREO	FECHA : 25-09-2023 HORA : 09:20	23-09-2023 08:45	30-09-2023 09:20
Ensayo	Unidad	L.D.M.	Resultado
Material Particulado (PM10)	µg/m3	100	32.53
Material Particulado (PM2.5)	µg/m3	50	<5.1
Monóxido de carbono (CO2)	µg/m3	10000	2433.0

Nota:
 (*) Los resultados indicados han sido obtenidos por muestreo en la normativa ISO/IEC 17025 del INACAL.

ITEM		7	8	
CÓDIGO DE LABORATORIO		MMA-0380-1	MMA-0380-1	
CÓDIGO DE CLIENTE		AR-07	AR-08	
DESCRIPCION		I.E. Luis Calvo Bendezu	Parque infantil maría juán	
COORDENADAS UTM WGS 84		N: 8568813 E: 0582001	N: 8569561 E: 0581083	
MATRIZ :		AIRE	AIRE	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		GMU PD-002	GMU PD-002	
INICIO DE MUESTREO		FECHA :	07-10-2023	13-10-2023
		HORA :	10:00	09:35
FIN DE MUESTREO		FECHA :	08-10-2023	14-10-2023
		HORA :	10:00	09:35
Ensayo	Unidad	L.D.N.	Resultado	Resultado
Material Particulado (PM10)	µg/m3	100	24.72	37.42
Material Particulado (PM2.5)	µg/m3	50	<5.1	<5.1
Monóxido de carbono (CO2)	µg/m3	10000	2312.0	2514.0

Nota:
 (*) Los resultados indicados han sido obtenidos por muestreo en la normativa ISO/IEC 17025 del INACAL.

CIPARU S.R.L.
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RURA KILLA
 Ing. José Luis Rocha Nalvarte
 JEFE DE INVESTIGACIÓN

CIPARU S.R.L.
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN & PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RURA KILLA
 Ing. Danny Darcy Amescua Rojas
 ESP ISO/IEC 17025
 GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL



OBSERVACIONES: Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de CIPARU S.R.L. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico, es de 2 años.
 Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservación, del presente ensayo por un máximo de 30 días, vencido de talos ingresado la muestra al laboratorio.
 NOTA: Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificación sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Resolución Ministerial expedida por el Ministerio del Ambiente.¹

"Artículo 4.- Finalidad

La Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao emitirá los informes técnicos que contengan las propuestas de mecanismos de coordinación interinstitucional y las modificaciones normativas orientadas a mejorar la calidad del aire de Lima y Callao.

"Artículo 5.- Financiamiento

El cumplimiento de las funciones de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao se financia con cargo al presupuesto institucional del Ministerio del Ambiente, sin demandar recursos adicionales al Tesoro Público. Asimismo, los gastos que pueda involucrar la participación de los representantes de la citada Comisión Multisectorial se financian con cargo al presupuesto de las entidades a las cuales pertenecen².

Segunda.- Modificación del Reglamento Interno de la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao

Mediante Resolución Ministerial emitida por el Ministerio del Ambiente, en el plazo máximo de treinta (30) días hábiles contados desde la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, la Comisión Multisectorial para la Gestión de la Iniciativa del Aire Limpio para Lima y Callao modificará su Reglamento Interno, aprobado por Resolución Ministerial N° 229-2013-VIVIENDA.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

Única.- Derogación de normas referidas al ECA para Aire

Derógase el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLACHEA ÁLVAREZ CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEIRA
Ministra de Salud

BRUNO GIUFFRÀ MONTEVERDE
Ministro de Transportes y Comunicaciones

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento



[Firma]
CIPARU S.R.L.
Ing. Danny Darry Amador Luján
ESP ISO/IEC 17025
GERENCIA DE CALIDAD AMBIENTAL

Anexo Estándares de Calidad Ambiental para Aire

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ¹
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2.5})	Anual	100	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	Anual	25	Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	
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 (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	(Método automático)
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

¹ o método equivalente aprobado.

² El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.