

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**RECURSOS NATURALES**



**Tesis**

**Relación entre el flujo vehicular y la concentración de gases contaminantes en el  
casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024**

Asesora:

Mag. Hanco Loayza, Helidia

Autor:

Duran Huanaco, Hermelinda

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Cusco – Cusco – Perú

2025



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL**

En la ciudad de Cusco, a los 03 días del mes de diciembre del año 2025, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 188-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente :	Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar
Dictaminante :	Mg. Mollo Varillas Valex Raúl
Replicante :	Mg. Vargas Meza Paul Gerardo

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

- Tesis       Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Relación entre el flujo vehicular y la concentración de gases contaminantes en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

**Bach: Duran Huanaco, Hermelinda**

Para optar el Título Profesional de:

**Ingeniero (a) Ambiental**

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

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach: Duran Huanaco, Hermelinda	Aprobado Notable

Siendo las 12:40 pm horas concluyó el Acto Académico, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Econ. Vega Villafuerte Wilfredo Baltazar

Dictaminante: Mg. Mollo Varillas Valex Raúl

Replicante: Mg. Vargas Meza Paul Gerardo

(\*) Mayoría: Dos integrantes del Jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del Jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
 (\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




## 23% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

### Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 23%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Duran Huanaco, Hermelinda
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	77537946
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0006-0745-0591">https://orcid.org/0009-0006-0745-0591</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Hanco Loayza, Helidia
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	23946122
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0002-1928-5013">https://orcid.org/0000-0002-1928-5013</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	diciembre 2024 – diciembre 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	23 %
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a>

## **Dedicatoria**

A mi padre Gracielo, mi madre Silveria y a mi hermano Elio, mis pilares fundamentales y fuente inagotable de apoyo, les dedico estas palabras impregnadas de afecto y gratitud por su acompañamiento constante a lo largo de mi trayectoria académica. Cada progreso en mi formación profesional ha sido influenciado por su constante estímulo, comprensión y efecto genuino; sus recomendaciones inestimables y firmes se han convertido en el vector que me impulsó hacia adelante. Apoyo sus consejos invaluable y su apoyo firme se convirtió en el impulso que me motivó a seguir adelante.

## **Agradecimiento**

Deseo expresar mi especial gratitud reconocimiento a mi asesora Mg. Helidia Hanco Loayza, por el corpus de conocimientos que direccionaron la elaboración de tesis.

A la ingeniera Laura Valverde, por su apoyo en todo el proceso de la investigación.

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo determinar la relación entre el flujo vehicular y el nivel de concentración de los gases monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo. La investigación desarrollada adoptó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental y un nivel correlacional, para estimar las concentraciones de los gases se aplicó el método activo mediante el uso del tren de muestreo siguiendo el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, considerándose dos puntos de medición. El análisis del flujo vehicular se realizó por observación donde el conteo se llevó a cabo en la Avenida Alameda de las Cien Ventanas y la Avenida Ferrocarril, entre las 8:00 y las 2:00 horas del día siguiente. Los resultados evidenciaron que los niveles del monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre se mantuvieron por debajo de los valores establecidos en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el aire. Asimismo, se obtuvo una relación directa entre el flujo vehicular y las concentraciones de NO<sub>2</sub>, esto da a conocer que a medida que aumenta las unidades vehiculares, también se incrementan las concentraciones del NO<sub>2</sub> y para las concentraciones de los gases CO y SO<sub>2</sub> no se halló una relación determinable. Finalmente, se concluyó que, en el distrito de Ollantaytambo, la contaminación de aire no alcanzó niveles que impliquen un riesgo para la salud de la población ni restricciones para realizar actividades al aire libre.

**Palabras claves:** Flujo vehicular, concentración de gases, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre.

## **Abstract**

The objective of this research was to determine the relationship between vehicular traffic and the concentration levels of carbon monoxide (CO), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), and sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) in the urban area of the Ollantaytambo district. The research employed a quantitative approach with a non-experimental, correlational design. To estimate gas concentrations, the active sampling method was applied using a sampling train, following the National Air Quality Monitoring Protocol. Two measurement points were considered, and active sampling was conducted in accordance with the provisions established in the national air quality regulations. The vehicular traffic analysis was carried out on Avenida Alameda de las Cien Ventanas and Avenida Ferrocarril, between 6:00 a.m. and 2:00 a.m. the following day. The results showed that the levels of carbon monoxide, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide remained below the reference values established in the Environmental Quality Standards (ECA) for air. Furthermore, it was observed that the increase in vehicular traffic was directly related to the increase in NO<sub>2</sub> concentrations, while no determinable relationship was found for CO and SO<sub>2</sub>. Finally, it was concluded that, in the district of Ollantaytambo, air pollution linked to vehicular traffic did not reach levels that pose a risk to public health or restrict outdoor activities.

**Key words:** Vehicle flow, gas concentrations, carbon monoxide, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide.

## Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud .....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras .....	xii
<b>I. Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>II. Planteamiento del problema .....</b>	<b>16</b>
2.1. Descripción y formulación del problema .....	16
2.2. Objetivos .....	19
2.2.1. Objetivo General.....	19
2.2.2. Objetivos Específicos .....	19
2.3. Justificación e importancia.....	20
2.4. Hipótesis.....	22
2.5. Variables .....	23
<b>III. Marco Teórico .....</b>	<b>25</b>
3.1. Antecedentes.....	25

3.3. Definición de Términos .....	52
<b>IV. Metodología .....</b>	<b>54</b>
4.1. Tipo y Nivel de Investigación .....	54
4.2. Ámbito Temporal y Espacial .....	54
4.3. Población y Muestra .....	56
4.4. Instrumentos.....	56
4.5. Procedimientos.....	58
4.5. Análisis de datos .....	65
4.6. Consideraciones éticas.....	66
<b>V. Resultados y discusiones .....</b>	<b>67</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>98</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>100</b>
<b>VIII. Referencias .....</b>	<b>101</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>108</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Cuadro de operacionalización de variables .....	23
<b>Tabla 2</b> Estándares de Calidad Ambiental para Aire para SO <sub>2</sub> ,NO <sub>2</sub> y CO.....	46
<b>Tabla 3</b> Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de monitoreo de calidad de aire .....	48
<b>Tabla 4</b> Soluciones captadoras para CO, SO <sub>2</sub> y NO <sub>2</sub> .....	49
<b>Tabla 5</b> Validación de instrumentos.....	57
<b>Tabla 6</b> Medidas descriptivas del conteo vehicular en el mes de febrero.....	68
<b>Tabla 7</b> Medidas descriptivas del conteo vehicular en el mes de febrero.....	69
<b>Tabla 8</b> Medidas descriptivas del conteo vehicular en marzo .....	71
<b>Tabla 9</b> Medidas descriptivas del conteo en marzo .....	73
<b>Tabla 10</b> Valores numéricos de la concentración de NO <sub>2</sub> y flujo vehicular en febrero.....	79
<b>Tabla 11</b> Matriz de correlaciones de la concentración de NO <sub>2</sub> en el mes de febrero .....	81
<b>Tabla 12</b> Coeficiente de correlación de la concentración de NO <sub>2</sub> en febrero.....	82
<b>Tabla 13</b> Análisis de varianza de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	82
<b>Tabla 14</b> Coeficientes del modelo de regresión de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	83
<b>Tabla 15</b> Estadísticos descriptivos de la concentración de NO <sub>2</sub> en marzo.....	85
<b>Tabla 16</b> Matriz de correlaciones de la concentración de NO <sub>2</sub> en el mes de marzo.....	86
<b>Tabla 17</b> Coeficiente de correlación de la concentración de NO <sub>2</sub> en el mes de marzo ...	87
<b>Tabla 18</b> Análisis de varianza de la concentración de NO <sub>2</sub> en marzo .....	88
<b>Tabla 19</b> Coeficientes del modelo de regresión de la concentración de NO <sub>2</sub> .....	88
<b>Tabla 20</b> Prueba de normalidad en febrero .....	93
<b>Tabla 21</b> Prueba para nivel del dióxido de nitrógeno en febrero .....	93
<b>Tabla 22</b> Prueba de normalidad en marzo.....	94
<b>Tabla 23</b> Prueba para nivel del dióxido de nitrógeno en marzo .....	95

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Dispersión de la contaminación en el aire .....	40
<b>Figura 2</b>	Condiciones y requerimientos .....	49
<b>Figura 3</b>	Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo .....	50
<b>Figura 4</b>	Estación meteorológica en el punto de Monitoreo .....	51
<b>Figura 5</b>	Lugar del estudio los dos puntos de monitoreos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.....	55
<b>Figura 6</b>	Ubicación de los puntos de muestra.....	56
<b>Figura 7</b>	Equipos utilizados para la investigación .....	57
<b>Figura 8</b>	Validación de los equipos de monitoreo .....	58
<b>Figura 9</b>	Avenida Alameda de las cien ventanas - Punto de monitoreo uno .....	59
<b>Figura 10</b>	Avenida Ferrocarril - Punto de monitoreo dos .....	59
<b>Figura 11</b>	La Clasificación de las unidades vehiculares .....	60
<b>Figura 12</b>	Procedimiento según el D.S. N°10-2019-MINAM .....	62
<b>Figura 13</b>	Avenida Alameda de las Cien Ventanas – PM 01 .....	63
<b>Figura 14</b>	Avenida Ferrocarril – PM02.....	63
<b>Figura 15</b>	Procedimiento en el Pre-muestreo .....	64
<b>Figura 16</b>	Procedimiento del Muestreo.....	64
<b>Figura 17</b>	Procedimiento para el post muestreo .....	65
<b>Figura 18</b>	Conteo del flujo vehicular en el punto uno.....	67
<b>Figura 19</b>	Conteo del flujo vehicular en el punto dos.....	69
<b>Figura 20</b>	Coteo del flujo vehicular en el punto uno.....	71
<b>Figura 21</b>	Conteo del flujo vehicular en el punto dos.....	72
<b>Figura 22</b>	Concentración de CO en febrero.....	73
<b>Figura 23</b>	Concentración de NO <sub>2</sub> en febrero .....	74
<b>Figura 24</b>	Concentración del SO <sub>2</sub> en febrero.....	75
<b>Figura 25</b>	Concentración del CO en marzo .....	76
<b>Figura 26</b>	Concentración de NO <sub>2</sub> en marzo.....	77

<b>Figura 27</b> Concentración del SO <sub>2</sub> en marzo .....	78
<b>Figura 28</b> Relación de la concentración CO y el flujo vehicular .....	79
<b>Figura 29</b> Relación entre concentración de dióxido de nitrógeno y el flujo vehicular .....	81
<b>Figura 30</b> Relación entre la concentración del SO <sub>2</sub> y el flujo vehicular .....	84
<b>Figura 31</b> Relación entre la concentración del CO y el flujo vehicular .....	84
<b>Figura 32</b> Relación entre la concentración de dióxido de nitrógeno y el flujo vehicular...	87
<b>Figura 33</b> Relación entre la concentración del SO <sub>2</sub> y el flujo vehicular .....	89

## I. Introducción

En la actualidad, el incremento progresivo de las emisiones vehiculares incide de manera directa en la polución del aire, dejando así que este fenómeno adquiera relevancia crítica en ciudades con mayor densidad poblacional, puesto que genera afectaciones en la salud y provoca un notable deterioro del ambiente natural (Contreras et al., 2013). Asimismo, el flujo de vehículos ha aumentado hasta el punto de que la cantidad total en circulación excede la capacidad de las vías existentes (Pedraza et al., 2012)

El aumento del número de vehículos representa uno de los aspectos que más inciden en la polución de aire y en el agravamiento del calentamiento global dado que liberan gases de efecto invernadero como CO, NO<sub>2</sub> y partículas en suspensión (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) (Solís et al ., 2022). Asimismo, la contaminación atmosférica proviene de diversas fuentes, pero es importante resaltar que la más influyente es el consumo de combustibles petrolíferos en el sector transporte vehicular, lo que influye de forma directa en la calidad de vida de la población (Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao , 2023). En las últimas décadas se ha podido observar una notable relación entre el aumento del tránsito de automóviles y los cambios en la atmósfera, los cuales se deben en gran medida a los combustibles originados por el proceso de combustión no total en los motores (Vintimilla, 2015).

En el distrito de Ollantaytambo, de acuerdo con el informe regional de turismo, durante el periodo enero - abril del 2025 se registró un incremento del 7.2 %, lo que representó una cifra notable de visitantes respecto al mismo periodo del año 2024 (MINCETUR, 2025). Con base en esta información, se evidencia un aumento que implica

la expansión de la flota vehicular, lo cual hace que los habitantes de la zona necesiten un mayor número de unidades de transporte para ofrecer una atención adecuada en la provisión de bienes y servicios.

Ante este evento se han implementado distintas opciones sostenibles, donde sobresalen los combustibles alternativos tales como el etanol y el biodiésel, los cuales provienen de recursos renovables y tienen la capacidad de reemplazar el uso de las energías que alimentan los motores convencionales. Del mismo modo, la integración de fuentes de energía renovable constituye una alternativa para reducir la dependencia del petróleo (Kunak, 2025). A esto se añade vehículos eléctricos, que son vistos como una de las alternativas más factibles para disminuir la contaminación generada por los automóviles tradicionales en funcionamiento ( Ministerio del interior direccion general de Trafico, 2014)

En este escenario se vuelve imprescindible identificar cuáles son las concentraciones de los gases más nocivos, entre ellos se encuentran CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, principales gases contaminantes los cuales están asociados principalmente al desplazamiento de vehículos en la red vial de Ollantaytambo. Este análisis se desarrolla de acuerdo con las del Documento técnico de control de calidad del aire (D.S. 09-2010-MINAM), donde se considera la aplicación de métodos activos de medición, entre ellos el empleo del tren de muestreo ambiental y diversos equipos especializados.

Se trata del estudio inicial llevado a cabo sobre las unidades vehiculares y su impacto en las condiciones del ambiente laboral de esta gran relevancia del destino turístico y sus recursos culturales, con la intención de determinar una línea base respecto a la situación actual de los niveles de concentración, constituyendo así el inicio para futuras investigaciones que puedan desarrollarse en beneficio del distrito de Ollantaytambo, el cual posee una gran riqueza histórica.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción y formulación del problema**

La Organización Mundial de la Salud (2018), la contaminación del aire sigue llegando a niveles alarmantes en diversas zonas del mundo, lo que repercute a casi nueve décimas partes de la población se expone al calidad de aire deteriorada con presencia de partículas dañinas cuyos efectos resultan sumamente severos, pues cerca de siete millones de fallecimientos al año están vinculados tanto a la polución del aire exterior como a la producida dentro de los hogares. En la misma línea la (ONU, 2022) indica que es inviable continuar asignando recursos al consumo de combustibles fósiles y enfatiza que una gran parte de la población mundial se ve forzada a respirar un aire que excede los niveles considerados seguros.

Según la División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana (2016) la contaminación del aire se refiere a una sustancia natural o creada por el ser humano que, cuando alcanza ciertas concentraciones, puede causar daños a los seres vivos o a los materiales; dichos compuestos pueden presentarse como partículas sólidas, líquidas o en forma de gases y, además, pueden ser arrastrados por el movimiento del aire.

El transporte motorizado representa uno de los determinantes más relevantes mismos que generan un aumento rápido del incremento de la contaminación atmosférica a escala mundial, como consecuencia del uso desmesurado de vehículos en múltiples actividades económicas, turísticas e incluso en las tareas diarias Uribe (2009). Esta realidad ha provocado un aumento constante en el deterioro del ambiente y una consecuencia relevante en la población en términos de salud comprometida, siendo los niños quienes se encuentran más expuestos y vulnerables debido a su elevada sensibilidad

a los compuestos perjudiciales las cuales están presentes en el medio aéreo (Muñoz et al., 2021).

Dentro del panorama nacional la Asociación Automotriz del Perú (2023) señala que uno de los factores decisivos en la mortalidad está asociado a las infecciones respiratorias agudas bajas, las cuales presentan una relación débil pero significativa con la contaminación provocada por el tránsito vehicular. En el ámbito legal, el país dispone de un marco normativo orientado a promover las estrategias para la defensa del entorno natural la cual establece la obligación de respetar a los criterios de calidad ambiental (ECA) y los límites establecidos en el caso de los agentes contaminantes se observa además que el parque automotor aumenta de forma continua cada año, convirtiéndose en uno de los elementos que más contribuye a la liberación de emisiones perjudiciales (SENAMHI, 2021).

Según lo señalado por la Autoridad de Transporte Urbano de Lima y Callao (2023), se estima que el parque vehicular aporta cerca del 58% del deterioro de la calidad del aire en la ciudad capital y se reconoce además que los automóviles con más de veinte años de uso producen niveles de emisión mucho mayores, llegando a ser hasta un 53% superiores en comparación con aquellos que tienen menos de cinco años de antigüedad en circulación, esta realidad evidencia que la calidad del aire en la capital genera un impacto significativo en la salud y en las condiciones de la comunidad que ocupa la región.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2024), señala que, según el seguimiento de la calidad ambiental del aire en Lima, dichas acciones del conjunto de vehículos contribuyen aproximadamente con el 50% de la contaminación atmosférica y también se ha determinado que respecto a la elevada concentración de tránsito a velocidad mínima guarda una relación directa con el incremento desmedido de las emisiones perjudiciales.

En Cusco, el MINAM a través del Informe Nacional de la Calidad del Aire, la cual indica que el conjunto de vehículos representa la fuente principal de contaminantes del aire debido a que la combustión que producen es responsable de la mayor proporción de emisiones dañinas (MINAM, 2014). En relación con su incremento se informa que en 1989

circulaban aproximadamente 11,806 unidades vehiculares cantidad que aumentó a 33,316 vehículos en el año 2001 y que posteriormente llegó a un total de 85,560 vehículos para el año 2010 lo que evidencia un crecimiento superior al 282% en un periodo exacto de doce años (Gil, 2018).

El parque automotor libera a diario monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno, junto con hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, material particulado, plomo, azufre y demás sustancias nocivas (Zegarra et al., 2008). Según diversas investigaciones, el transporte vehicular es responsable de superior al 75 % de los vertidos de gas CO (monóxido de carbono) y del seis de cada diez emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) liberados a la atmósfera (Gately et al., 2017). Asimismo, el dióxido de azufre proviene principalmente de los automóviles que utilizan combustibles con presencia de azufre en su composición (Kunak, 2025).

El monóxido de carbono (CO) se reconoce como un gas altamente perjudicial para personas y animales debido a que altera el proceso de transporte de oxígeno en la sangre (Adaku, 2024). El NO<sub>2</sub> es un gas tóxico que causa inflamación de las vías respiratorias y el SO<sub>2</sub> puede alterar al sistema respiratorio enmarcado en las funciones pulmonares, ocasionando también irritación ocular (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2025). Es así que estos gases impactan en el bienestar de la población, lo cual genera trastornos en el sistema respiratorio y los pulmones (Muñoz et al., 2021).

Tanto las entidades públicas como las privadas suelen considerar los problemas ambientales vinculados al agua y al suelo, sin embargo, no prestan la misma atención a la contaminación del aire presente en el área urbana del distrito de Ollantaytambo y con este antecedente el presente estudio evalúa si las concentraciones de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en dicha zona urbana guardan una relación directa con el tránsito vehicular.

### ***Problema General***

¿Cuál es la relación que existe entre el flujo vehicular y el nivel de concentración de los gases contaminantes (CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo, Cusco 2024?

### ***Problemas Específicos***

- ¿Cuál es el flujo vehicular en los puntos estratégicos de conteo establecidos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024?
- ¿Cuáles son los valores de la concentración del monóxido de carbono (CO) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024?
- ¿Cuáles son los valores de la concentración del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024?
- ¿Cuáles son los valores de la concentración del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo – Cusco, 2024?

## **2.2. Objetivos**

### ***2.2.1. Objetivo General***

Analizar la relación que existe entre el flujo vehicular y el nivel de concentración de los gases (CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo, Cusco 2024.

### ***2.2.2. Objetivos Específicos***

- Determinar el flujo vehicular en los puntos estratégicos de conteo establecidos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
- Determinar los valores de la concentración del monóxido de carbono (CO) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
- Determinar los valores de la concentración del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
- Determinar los valores de la concentración del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) monitoreado en puntos estratégicos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.

### 2.3. Justificación e importancia

Una de las preocupaciones más persistentes continúa siendo la contaminación del aire, problemática que se arrastra desde hace varios años y que responde tanto a los hábitos de vida de la población como a la manera en que se planifican y construyen las ciudades, además del uso de bienes y servicios destinados a mejorar el confort, dentro de los cuales el transporte de un lugar a otro ocupa un papel fundamental (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016).

En el distrito de Ollantaytambo el número de vehículos ha crecido con rapidez en los últimos años y este incremento está asociado al desarrollo de diversas actividades turísticas según lo señalado por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (2024) cada mes ingresan entre 80 000 y 100 000 visitantes al centro arqueológico de Ollantaytambo, situación que provoca un aumento constante del parque vehicular año tras año y frente a este escenario la preocupación se mantiene vigente porque la problemática descrita constituye el eje central de la investigación, la cual busca evitar el incremento de las concentraciones de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre que son emitidos por el tránsito automotor, por lo que los hallazgos señalan que un primer paso es implementar estrategias correctivas que permitan afrontar esta situación.

Además, la insuficiencia de datos correspondientes al nivel distrital y provincial en relación con las condiciones del aire hace que el presente estudio sea la base inicial y fuente teórica que sirva de apoyo a futuros trabajos investigativos que puedan desarrollarse en el distrito de Ollantaytambo.

Según lo establecido en el D.S. N.º 010-2019-MINAM y en relación con las fuentes asociadas al parque automotor, a las vías pavimentadas y a las zonas urbanas, los parámetros que deben priorizarse incluyen el material particulado ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ ), el dióxido de azufre ( $SO_2$ ), el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el monóxido de carbono (CO), el benceno ( $C_6H_6$ ) y el ozono ( $O_3$ ), por lo que en esta investigación el monitoreo se centró en el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre debido a que el título de la tesis aborda concentraciones de gases y estos corresponden a contaminantes

primarios, mientras que el benceno se evalúa principalmente en establecimientos como grifos que no existen en el casco urbano del distrito y el ozono es un contaminante secundario dependiente de los óxidos de nitrógeno, además el costo para la medición del conjunto completo de gases resulta considerablemente elevado.

La trascendencia de esta investigación radica en generar información precisa y verificada sobre los niveles de contaminación por monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre que provienen del tránsito vehicular en la zona urbana del distrito de Ollantaytambo.

Los dos meses seleccionados se establecieron tomando como referencia los informes regionales de turismo que registran la afluencia de personas que llegan al centro de la ciudad entre los años 2018 y 2024, donde se observa que de marzo a enero el flujo turístico no presenta variaciones de gran magnitud, a diferencia de febrero que muestra la menor llegada de visitantes debido al cierre del Camino Inca.

El monitorización se realizó en dos avenidas del casco urbano, una ubicada en la zona de sotavento donde la circulación del viento favorece la dispersión del aire y la otra situada en el sector de barlovento donde no existe influencia directa del viento, y se consideró la avenida Alameda de las Cien Ventanas como la vía con mayor carga vehicular por ser el único acceso y salida del área urbana del distrito mientras que la avenida Ferrocarril fue seleccionada como la segunda vía de mayor tránsito debido a que constituye la única ruta de ingreso y salida hacia la estación ferroviaria.

Asimismo, los hallazgos de este trabajo de estudio constituirán un referente importante para la incorporación de políticas de regulación y la elaboración de lineamientos preventivos, además brindarán antecedentes adecuados para formular el estado de la calidad del aire, convirtiéndose en un insumo útil para los instrumentos de gestión local en su proceso de formulación de decisiones.

## 2.4. Hipótesis

### ***Hipótesis general***

Existe una relación directa entre el flujo vehicular y el nivel de la concentración de los gases (CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.

### ***Hipótesis específicos***

- El flujo vehicular varía significativamente en los puntos estratégicos de conteo en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
- El monóxido de carbono (CO) tras su monitorización y análisis exceden los umbrales permitidos por los Estándares de calidad Ambiental (ECA) para el aire en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
  - El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) tras su monitorización y análisis exceden los umbrales permitidos por los Estándares de calidad Ambiental (ECA) para el aire en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.
  - El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) tras su monitorización y análisis exceden los umbrales permitidos por los Estándares de calidad Ambiental (ECA) para el aire en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo.

## 2.5. Variables

**Tabla 1**

*Cuadro de operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
flujo vehicular	La cantidad de vehículos que circulan por un sector específico en un intervalo de tiempo definido, comprendiendo tanto el número de automóviles que atraviesan un punto en un momento concreto como la velocidad y el modo en que se desarrolla el flujo del tránsito vehicular (Coraspe y Marsiglia, 2011)	La medición se efectuará mediante la observación directa en los puntos estratégicos de monitoreo donde se registrará el flujo de vehículos por horas.		Tasa del flujo	Veh/h

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Concentración de gases contaminantes	La concentración se representa en distintas unidades de medida y su valor depende de la cantidad de masa presente dentro de un volumen específico. Los contaminantes corresponden a todo elemento químico, físico y biológico que en concentraciones elevadas resulta perjudicial tanto para la salud humana como la del ecosistema (OEFA, 2015)	Las mediciones se llevarán a cabo empleando el equipo denominado tren de muestreo y los valores obtenidos se contrastarán con los Estándares de Calidad Ambiental del aire, lo que permitirá establecer la condición atmosférica del distrito.	Monóxido de carbono (CO)	Concentración del CO en el aire.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
			Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Concentración del NO <sub>2</sub> en el aire.	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
			Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Concentración del SO <sub>2</sub> en el aire	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes

##### A nivel internacional

Obando et al., (2022) realizaron su estudio teniendo como objetivo medir las concentraciones CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> respectivamente las cuales fueron evaluadas en las zonas altas con mayor cantidad vehicular de la ciudad de Esmeraldas. Para llevar a cabo dicho planteamiento del estudio se seleccionaron tres puntos estratégicos de muestreo en los cuales se emplearon tubos colorimétricos Dräger con el fin de obtener el análisis de la calidad del aire y los resultados mostraron que ninguno de los compuestos gaseosos alcanzó valores superiores a los límites establecidos, aunque el monóxido de carbono registró las concentraciones más elevadas en los tres lugares evaluados marcando su valor más alto de 2845.5 µg/m<sup>3</sup>.

Gutiérrez (2021), se propuso como finalidad llevar a cabo una diagnóstico de la calidad ambiental del aire en el lugar con mayor influencia prevista que el área de estudio fue la ciudad de Montería y se buscó comparar los resultados con la normativa vigente y para ello se midieron las concentraciones de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> utilizando cuatro equipos RACK, siguiendo el procedimiento que establece que estos gases deben registrarse durante un periodo de 30 días con el fin de obtener treinta muestras en cada punto de monitoreo correspondiente. Se utilizó un monitor automatizado para determinar los niveles de monóxido de carbono (CO) y según el procedimiento establecido la recolección de muestras se realizó durante 1 hora en cada punto de medición a lo largo de 18 días consecutivos. Los hallazgos indican que los niveles de contaminación, en particular los de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO, se encuentran dentro de los parámetros definidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y aun así estas mediciones también fueron contrastadas con los valores referidos por organismos como la OMS.

Jordán (2022) en su estudio para analizar las emisiones del NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el terminal Terrestre de Baños de Agua Santa. El presente estudio empleó un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental utilizando un muestreo pasivo durante seis semanas tiempo en el que se colocaron tubos de tres metros de altura en 21 sitios estratégicos de medición distribuidos dentro de un perímetro de 250 metros. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental aplicando una técnica de muestreo pasivo a lo largo de seis semanas periodo en el que se instalaron tubos de tres metros de altura en 21 ubicaciones consideradas estratégicas para la medición las cuales se distribuyeron dentro de un radio aproximado de 250 metros. En consecuencia, se determinó que las concentraciones de dichos contaminantes se mantuvieron dentro de los rangos permitidos y tanto la modelación realizada como los cuestionarios efectuados evidenciaron que el estado del aire en la zona analizada resultaba adecuado.

Franco y Iglesias (2022), evaluaron la calidad del aire de base en el departamento de Montevideo, tomando mediciones a lo largo del año 2022. La metodología contempló el funcionamiento de cuatro estaciones localizadas en Ciudad Vieja, Tres Cruces, Curva de Maroñas y Colón, además de dos estaciones adicionales en La Teja y el Palacio Legislativo. Para ello se emplearon equipos como Hi Vol configurado para PM<sub>10</sub>, el Tren de Monitoreo y un Sistema Automático de Material Particulado. Se evaluaron gases tales como SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y azufres reducidos totales (TRS). Los resultados mostraron que en el caso del PM<sub>10</sub> se registraron incrementos cotidianos a lo largo de los meses invernales tanto en los puntos de medición manuales como en los automáticos. En relación con el SO<sub>2</sub>, no se observaron excesos horarios ni diarios, mientras que para el NO<sub>2</sub>, cuyo valor de referencia es 44 µg/m<sup>3</sup>, se presentaron superaciones en determinados periodos del año. El CO, por su parte, no evidenció incumplimientos frente a la normativa vigente, y en el caso del TRS se detectaron algunos excedentes diarios en situaciones puntuales.

Manotoa (2022), se realizó un estudio cuyo objetivo fue examinar dicha evidencia de dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  y dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$  en el Mercado Mayorista desarrollada bajo un enfoque cuantitativo que adoptó un diseño no experimental utilizando dispositivos de muestreo pasivo con mezclas de Trietanolamina que fueron colocados en 22 sitios seleccionados con anticipación y expuestos en periodos de siete días a lo largo de siete semanas de forma exacta. Los datos mostraron una concentración máxima de  $41.460 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$  un valor que permanece dentro del umbral de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la normativa vigente se determinó que estos niveles guardan una relación directa con el flujo vehicular considerando que la zona corresponde a un sector comercial con gran concurrencia de personas y automóviles.

### **A nivel nacional**

Céliz y Chura (2024), obtuvo el principal propósito la evaluación de los niveles de CO y  $\text{NO}_2$  asociados al tránsito vehicular en el área específico de los centros educativos y alrededores. El enfoque metodológico empleó un tipo de investigación cuantitativa con un diseño no experimental, y se basó en monitoreos realizados los días 12, 13, 18, 19, 24 y 25 de octubre de 2023. Se seleccionaron dos instituciones educativas asimismo se empleó un tren de muestreo para medir los gases monóxido de carbono (CO) y dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), además de efectuarse el conteo vehicular por hora. Dicha vinculación observada entre ambas variables mostró que, conforme aumenta el flujo vehicular, igualmente aumentan los niveles de concentración de CO y  $\text{NO}_2$ . Sin embargo, los análisis de laboratorio evidenciaron que estos valores se mantienen inferiores a los valores fijados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.

Esteban (2021), desarrolló una investigación cuyo propósito fue analizar cómo el tránsito vehicular influye en la calidad del aire, específicamente en los niveles de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). El estudio se llevó a cabo en dos vías principales de la ciudad: la avenida Próceres de la Independencia (tramo comprendido entre las cuadras 28 y 30) y la avenida Las Flores (tramo de las cuadras 4 a 7), durante los

meses de noviembre y diciembre del 2019. El enfoque metodológico fue de tipo cuantitativo, aplicando un diseño no experimental de carácter correlacional. Para el levantamiento de datos se establecieron tres puntos de monitoreo en cada avenida, sumando un total de seis estaciones de muestreo. En cada punto se instalaron tubos pasivos con doce filtros de difusión y, de manera complementaria, se efectuó un registro sistemático del flujo vehicular mediante observación directa del desplazamiento de automóviles. Los resultados mostraron que en la avenida Próceres de la Independencia se registró una menor promedio de vehículos, en contraste con la avenida Las Flores, donde la circulación fue considerablemente menor durante el mismo periodo de observación. Estos hallazgos permitieron concluir que el tránsito vehicular constituye un factor determinante en la calidad del aire, al estar directamente asociado con las concentraciones de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$  detectadas en las avenidas evaluadas en los meses de noviembre y diciembre de 2019.

Vásquez (2023), planteó como propósito analizar cómo la disminución en la magnitud del flujo vehicular incide en la calidad del aire registrada en el distrito de Tarapoto. El estudio equivale a un estudio de tipo aplicado con un diseño experimental. La investigación tomó en cuenta cuatro ubicaciones estratégicas caracterizadas por un tránsito vehicular notablemente elevado, y la obtención de datos se efectuó mediante observación directa en el área de estudio durante un periodo continuo de 24 horas, conforme a lo establecido en la normativa, utilizando para ello un tren de muestreo de gases ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), equipos HI-VOL para la medición de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ . Los resultados evidenciaron que los cuatro puntos de estudio registraron mayor presencia de tránsito vehicular; además, los registros de partículas en suspensión ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ) y los gases analizados se situaron por encima de los límites establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA).

Justo (2021), llevó a cabo un estudio cuyo propósito fue analizar la calidad del aire a partir de las concentraciones de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{O}_3$  en zonas críticas de la ciudad. El

estudio se llevó a cabo con un enfoque cuantitativo y un diseño de carácter no experimental, aplicando lo acordado en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire (D.S. N° 010-2019-MINAM). Para la toma de datos se consideraron nueve puntos estratégicos de muestreo, utilizando el tren de muestreo EYLECS TM03, con el cual se efectuaron dos campañas de monitoreo entre enero y marzo de 2021. Los resultados evidenciaron que los valores promedio obtenidos fueron de 20.523  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{SO}_2$ , 36.690  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{NO}_2$ , 2459.157  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para CO y 2.953  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para  $\text{O}_3$ . En términos de calidad del aire, se determinó que  $\text{NO}_2$ , CO y  $\text{O}_3$  se ubicaron en el intervalo de “0-50” (buena calidad), mientras que el  $\text{SO}_2$  se encontró en el rango “101- 625”, correspondiente a mala calidad según los criterios del INCA.

Vivanco (2024) llevó a cabo una investigación orientada a examinar cómo el tránsito vehicular influye en la calidad del aire, en particular en relación con los niveles de dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), en dos avenidas de la ciudad: Morales Duárez (cuadras 27 y 30) y Universitaria (cuadras 1-2). El trabajo se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño de tipo no experimental, utilizando dispositivos de captura pasiva a lo largo de un lapso de dos meses. En cuanto al registro del flujo vehicular, se contabilizó un máximo de 2388 automóviles por hora durante junio en la avenida Universitaria, mientras que el menor valor se observó en mayo en la avenida Morales Duárez, con 1676 vehículos por hora. Los resultados señalaron que el promedio de  $\text{NO}_2$  fue de 77.8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , alcanzando el valor más elevado durante mayo en la avenida Universitaria, mientras que en junio descendió a 42.7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Con respecto al  $\text{SO}_2$ , se obtuvo un valor máximo de 1.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en mayo, y el resto de las mediciones permanecieron inferior al umbral de detección.

### **A nivel regional**

Holguín (2022), Realizó un estudio cuyo objetivo fue analizar hasta qué punto la administración del tránsito vehicular incide en la calidad del aire del Centro Histórico de Cusco. La investigación se desarrolló aplicando un enfoque cuantitativo sustentado en un

diseño no experimental. Para la medición del  $\text{NO}_2$  se emplearon el método de tubo pasivos, mientras que para el  $\text{PM}_{10}$  se dispusieron varias estaciones de monitoreo: tres destinadas a la detección del primero y dos al segundo, abarcando los periodos 2013-2016 y 2021. Los resultados mostraron que en el caso del  $\text{NO}_2$ , los valores anuales no superaron los  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cifra que se encuentra por debajo de los valores permitidos de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  establecido por la normativa. En cambio, para el  $\text{PM}_{10}$  se evidenció un incremento progresivo de las concentraciones entre los años 2015, 2016 y 2021, La máxima lectura registrada alcanzó los  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  al año, superando el límite de referencia de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Trelles (2018), llevó a cabo un estudio cuyo objetivo fue analizar el material particulado ( $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y monóxido de carbono (CO) en el distrito de Ocoruro. La metodología contempló la instalación de tres estaciones de monitoreo, en las cuales se utilizó un equipo Hi-Vol para la medición de  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ , lo que permitió evaluar el material particulado presente en el aire. De manera complementaria, se empleó un tren de muestreo de gases con soluciones absorbentes, que facilitó el análisis y la cuantificación de las concentraciones de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y CO. También se consideró la información de un centro de monitoreo meteorológico para registrar datos de dirección y velocidad del viento, además de otras variables climáticas de la zona. Los resultados indicaron que en las estaciones CA-18 y CA-13, durante el mes de julio, el  $\text{PM}_{2.5}$  superó los límites establecidos en las ECA de calidad del aire. Sin embargo, durante el lapso que abarca desde octubre de 2017 y febrero de 2018, las concentraciones registradas en las tres estaciones estuvieron por debajo de lo estipulado en la normativa para el material particulado y los gases analizados.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Flujo vehicular**

Es la circulación y la cantidad de transporte automotor que transitan en una zona determinada en un lapso determinado, abarcando la densidad vehicular (número de unidades que circula en un punto en un tiempo dado) como la rapidez y la dinámica del

tránsito automotor (Honorio y Salas, 2020). Numerosos modelos matemáticos intentan explicar el comportamiento del flujo vehicular considerando diferentes atributos. Cada uno de ellos refleja, con mayor o menor precisión, aspectos reales al cuantificar ciertas propiedades del tránsito vehicular (Coraspe y Marsiglia, 2011).

En la misma línea (Honorio y Salas, 2020), los registros de tránsito pueden efectuarse tanto de forma manual como con sistemas automáticos. Dichos volúmenes siempre se expresan en relación con una escala temporal expresada en minutos, horas días e incluso años para facilitar la comparación. El movimiento de vehículos en la vías constituye lo que se denomina tránsito vehicular, el cual se rige por normas, señalizaciones y disposiciones que buscan asegurar la protección tanto de los peatones como de los conductores (Muñoz et al. , 2021).

El cálculo del volumen vehicular constituye uno de los procedimientos más comunes de describir el tránsito, ya que permite identificar tanto la composición del parque automotor como los tipos de maniobras desarrolladas por los vehículos. Dicho proceso suele aplicarse durante jornadas laborales considerando también los fines de semana con el fin de obtener resultados fiables que sirvan para caracterizar el movimiento de automóviles en un sector concreto en periodos específicos (Blair y Guevara, 2012).

**3.2.1.1. Congestión de flujo vehicular.** La congestión de medios motorizados se caracteriza por un estado cuando la densidad del transporte automotor supera la capacidad de las carreteras existentes. Este desequilibrio provoca un tránsito vehicular pausado y desigual (Thomson y Bull, 2001). Del mismo modo, en áreas donde el tránsito vehicular es muy elevado se genera un deterioro de los ecosistemas. No obstante, el transporte automotor es indispensable en la vida cotidiana de la población, por lo que se vuelve necesario examinar los problemas asociados a su utilización, cobrando relevancia aspectos relacionados con la seguridad vial, la protección de los usuarios, entre otros (Sánchez et al., 2019). El aforo vehicular se mide generalmente cuantificada en relación a la cantidad de

vehículos por hora (veh/h) y se emplea con el fin de estimar la disponibilidad operativa de una vía ya existente (Surichaqui et al., 2023)

**3.2.1.2. Parque automotor en Ollantaytambo.** El parque automotor está experimentando un incremento acelerado en todo el mundo; son múltiples los factores que favorecen esta expansión, entre los más relevantes se encuentran el crecimiento urbano y las diversas actividades socioeconómicas.

Considerando el ámbito en el que se desarrolla la investigación, se trata de un territorio cuya economía está fuertemente influenciada por el turismo. En este sentido, Ollantaytambo representa un destacado destino de turismo cultural y natural, debido principalmente a los vestigios arqueológicos que alberga, motivo por el cual ha sido reconocida como la “Ciudad inca viviente”. Esto se debe a que gran parte de la ocupación colonial se asentó sobre las estructuras originales de la ciudad inca, aspecto que incide de manera importante en la alza del flujo turístico en cada año.

En el ámbito turístico, los visitantes representan una parte considerable del aumento del tránsito del tránsito automotor a causa de su incremento anual; del mismo modo, su necesidad de abastecimiento alimentario aporta de manera importante a la economía local, lo que a su vez incrementa la demanda de transporte. En la zona pueden apreciarse desde unidades de gran tonelaje hasta vehículos livianos. El comercio mayorista y minorista concentra el 47.2% de las unidades empresariales, seguido por los servicios de hospedaje y restaurantes con un 40%. Por su parte, el 12.3% representa a otras actividades económicas (Municipalidad Distrital de Ollantaytambo, 2022)

**3.2.1.3. Tipos de flujo vehicular.** Las modalidades de flujo de vehículos son:

- ✓ Flujo continuo: Describe un tipo de circulación en el que el tránsito se mantiene constante, sin verse afectado por barreras físicas ni señales que produzcan pausas, como semáforos o señales de alto (Angaspilco, 2014)

- ✓ Flujo discontinuo: Se caracteriza por la incorporación de componentes permanentes que generan cortes periódicos en la circulación vehicular. Entre estos mecanismos se encuentran los dispositivos de señalización y diversos instrumentos de regulación vehicular, los cuales ocasionan detenciones del tránsito sin importar el número de automóviles de vehículos en la vía (Angaspilco, 2014).

**3.2.1.4. Clasificación según tipo de motores.** Los tipos de los motores se presenta de la siguiente manera:

- ✓ **Motores a gasolina:** Constituyen el tipo de motor más común en los vehículos de pasajeros, debido a su fácil disponibilidad y a que resultan relativamente más limpios en comparación con otros combustibles (Autoland, 2024).
- ✓ **Motores diésel:** Son los destacados en virtud de su destacada economía de combustible y par de giro, lo que los vuelve idóneos para unidades de carga pesada y trayectos de larga distancia (Autoland, 2024).
- ✓ **Motores eléctricos:** Este tipo de motor presenta un rápido incremento en su uso actualmente. No funciona a través de combustión, ya que la energía que requiere proviene de una batería de reserva energética que se recarga de manera continua (Mimowi, 2023).
- ✓ **Híbridos o motores combinados:** en este caso se emplea un sistema que integra motores de combustión con motores eléctricos, lo que permite aprovechar las ventajas de las baterías sin que estas no se queden sin suministro energético en ningún instante. Los motores híbridos se clasifican según el grado de participación que tiene el motor eléctrico en el desempeño del vehículo (Mimowi, 2023).
- ✓ **Motores a gas:** este tipo de propulsor emplea gas natural vehicular (GNV) o gas licuado de petróleo (GLP) para su funcionamiento, constituyéndose en una opción más accesible y sostenible frente al uso de gasolina o diésel, ya que genera menores emisiones contaminantes (Autoland, 2024).

**3.2.1.5. La clasificación de la combustión.** La eficiencia del proceso de combustión está directamente condicionada por el nivel de oxidación que alcanza el combustible, lo cual depende de factores como la disponibilidad de oxígeno, su calidad y pureza, el grado de humedad, la temperatura a la que se lleva a cabo la combustión, entre otras variables.

La combustión completa: Este proceso ocurre cuando el combustible quemado se transforma por completo, siempre bajo condiciones óptimas, produciendo energía y originando compuestos como dióxido de carbono y agua (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016).

Si el proceso de oxidación del combustible es pleno, los compuestos presentes en los gases resultantes son  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  y  $SO_2$ .

Reacción:  $C_4H_{10(g)} + 13/2O_{2(g)} \rightarrow 4CO_{2(g)} + 5H_2O_{(g)}$ ,  $\Delta H = -2877 \text{ kJ/mol}$

La combustión incompleta: se presenta donde el carburante no consigue oxidarse por completo debido a la falta de oxígeno o a condiciones de combustión poco favorables, lo que da lugar a la formación de subproductos contaminantes que liberan diversos compuestos, entre ellos monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos de azufre, dióxido de carbono, vapor de agua, hollín, residuos de hidrocarburos y otras sustancias adicionales (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016).

La combustión incompleta del combustible origina emisiones con compuestos inquemados tales como  $CO$ ,  $H_2$ ,  $C$ ,  $CO_2$  y  $H_2S$ , considerados contaminantes que pueden continuar su proceso de oxidación.

Reacción:  $2C_4H_{10(g)} + 5O_{2(g)} \rightarrow 8CO_{(g)} + CO_{2(g)} + 10H_2O_{(g)}$ ,  $\Delta H = -3446.1 \text{ kJ/mol}$

### **3.2.2. Emisiones vehiculares**

Las descargas generadas por el transporte motorizados los cuales resultan producidos durante la reacción de combustión del carburante y conformados por diversos gases y partículas que alteran las condiciones atmosféricas, dentro de las que se incluyen

sustancias contaminantes de riesgo tales como los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y las partículas en suspensión (Saavedra, 2014).

En esta categoría de emisiones sobresalen los agentes tóxicos más relevantes, entre ellos los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), los compuestos orgánicos volátiles COV el monóxido de carbono CO y las partículas suspendidas PM (Lara et al., 2009).

Las emisiones, producidas por los vehículos que utilizan combustibles fósiles, fueron analizadas determinándose que son parte esencial del proceso de combustión interna, el cual genera la energía necesaria para su movimiento. La mayoría de estos motores emplean gasolina o diésel, lo que provoca la liberación de diversos compuestos gaseosos que deterioran la calidad del aire, alteran su composición natural y desencadenan reacciones químicas y físicas que afectan su pureza (Sanchez, y otros, 2019).

Los motores que funcionan mediante combustión interna producen una elevada emisión de diferentes gases nocivos, por lo que se pueden mencionar el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). De acuerdo con lo señalado por Ovando (2010), estas descargas equivalen a cerca del 5 % del total de  $\text{SO}_2$ , el 25 % de  $\text{CO}_2$ , el 87 % de CO y el 66 % de  $\text{NO}_x$  que están en el ambiente aéreo.

**3.2.2.1. Tipos de Emisiones Vehiculares.** Según el ámbito de acción, se distinguen las categorías de emisiones que se presentan a continuación:

- ✓ **Emisiones evaporativas del motor caliente:** Esta clase de contaminantes cobra importancia cuando el motor no está encendido, ya que el calor residual ocasiona la evaporación del combustible; durante este proceso se liberan emanaciones de vapores al entorno aun cuando el vehículo no se encuentra en operación, constituyendo así un foco extra de polución atmosférica. Estos compuestos gaseosos no solo aportan al deterioro de la pureza del aire sino que además intervienen en reacciones fotoquímicas que impulsan la generación de ozono

troposférico clasificado como uno de los agentes nocivos de mayor impacto negativo en la salud y el ambiente (Lara et al., 2009).

- ✓ **Emisiones diurnas:** Se generan en el depósito del carburante de un vehículo a causa del incremento de la temperatura del carburante y a la presión producida por el vapor, y estas pérdidas tienden a incrementarse, estas pérdidas suelen intensificarse aún más cuando el sistema de escape está muy caliente o cuando la radiación reflejada en la superficie de las vías es elevada, lo que provoca la expulsión de compuestos volátiles que aportan a la polución fotoquímica atmosférica (Lara et al., 2009)
- ✓ **Emisiones evaporativas en reposo:** Consisten en emisores que aparecen cuando el automotor permanece inactivo, situación que las diferencia de aquellas generadas durante la operación del motor, y que se originan por pequeñas filtraciones del carburante en el sistema de suministro o por la permeabilidad de las conducciones, permitiendo así la salida de vapores hacia el entorno, en este caso al ambiente, y aunque estas emisiones suelen ocurrir sin ser percibidas, aportan de manera continua a la polución del aire en zonas urbanas a causa de la existencia de sustancias orgánicas volátiles (Lara et al., 2009).
- ✓ **Emisiones de frenos y neumáticos:** Las micropartículas derivadas del uso de frenos y neumáticos presentan una composición y un tamaño distintos a los provenientes de la combustión. Aunque estas emisiones suelen considerarse de menor relevancia frente a las del escape y las evaporativas, no deben pasarse por alto, ya que también pueden aportar a la liberación de compuestos tóxicos (Facio, 2010). Estas emisiones están vinculadas al deterioro que se produce con el tiempo en los frenos y en los neumáticos debido a su uso continuo. El contaminante producido corresponde a material particulado, el cual varía según la categoría del vehículo y la intensidad de uso que tenga. En cuanto a las emisiones derivadas del desgaste de los neumáticos, estas se relacionan directamente con la cantidad de llantas que posea la unidad.

- ✓ **Emisiones por tubo de escape:** se liberan a partir de la combustión del motor y la quema de combustible, proceso que genera contaminantes como los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, las partículas, el dióxido de carbono y el dióxido de azufre (Sanchez et al ., 2019).

### **3.2.3. Tipos de combustible**

Nacionalmente, la disponibilidad de combustibles abarca los sectores de transporte, generación eléctrica y los usos industriales y residenciales; asimismo, entre los más empleados destacan el gas natural, el gas licuado de petróleo, los gasoholes en diversas clasificaciones de octanaje (84, 90, 95, 97 y 98), asimismo del diésel de bajo y alto contenido de azufre, el combustible turbo A1 y otros procedentes del petróleo y de los carbones minerales, evidenciando esta diversidad la marcada dependencia energética del país en relación con recursos fósiles convencionales (MINAM, 2014)

### **3.2.4. Contaminación Atmosférica**

El MINAM (2014) informa que con respecto a la afectación atmosférica esta corresponde a el deterioro de los componentes de la composición atmosférica, generada sobre todo por emisiones contaminantes provenientes de fuentes estacionarias y móviles. Se entiende como la existencia de compuestos en el aire, en una determinada cantidad y permanencia, que puedan causar molestias o representar un impacto negativo para el bienestar de los individuos.

El manual de calidad del aire y educación ambiental (2016) señala que la degradación de la calidad del aire consiste en la existencia de uno o más compuestos contaminantes en suspensión dentro del aire, o de sus combinaciones, en concentraciones que constituyen una amenaza para la salud pública. Asimismo, en áreas urbanas la contaminación del aire se intensifica y afecta de forma considerable la limpieza del aire que se inhala en viviendas, oficinas y espacios cerrados en general.

Los contaminantes presentes en la atmósfera están conformados en una extensa variedad de gases, vapores y partículas que actúan en distintos rangos de concentración; además, estos elementos afectan la salud humana, la vegetación, la fauna silvestre y

también diversos materiales. Su origen se relaciona con el crecimiento descontrolado de la actividad industrial, incremento de las unidades vehiculares y el uso de combustibles como la leña empleada para calefacción. La combinación de estos factores intensifica el deterioro de la calidad del aire y agrava los problemas ambientales tanto en zonas urbanas como rurales (Spiegel y Maystre, 2013)

### **3.2.5. Calidad del aire**

El MINAM señala que garantizar un adecuado nivel de calidad del aire se presenta directamente vinculada con el derecho de residir en un ambiente sano y balanceado, tal como lo reconoce la Constitución Política del Perú. Conservar un aire puro aporta a mejorar la calidad de vida de la población, lo que demanda la intervención de todos los actores sociales, incluidas las empresas públicas y privadas, además del Estado. Para ello se han definido diferentes pautas y mecanismos de gestión ambiental, entre los que destacan el ECA, los LMP y distintos planes de acción dirigidos a la protección del aire (MINAM, 2014). Es importante indicar que, aun bajo factores físico naturales, la atmósfera posee partículas y diversos componentes procedentes de fuentes como polen, esporas, sales, humo y polvo derivados de procesos forestales o fenómenos volcánicos. En relación con ello, las normas de calidad del aire determinan los estándares de referencia reconocidos para conservar un entorno ambiental óptimo y contrarrestar el impacto de los agentes contaminantes (Masters y Ela, 2008).

### **3.2.6. Contaminación del aire**

Se refiere al acoplo de diversas partículas y elementos a la presencia de material particulado, gases y compuestos volátiles, presentes en concentraciones elevadas y por periodos prolongados, ocasiona modificaciones que ocasionan daños tanto para el bienestar del individuo como para los ecosistemas y los materiales, fenómeno que recibe el nombre de contaminación del aire (Contreras et al., 2013). A esto se añaden múltiples acciones humanas, como el uso de combustibles fósiles para el transporte, la calefacción, los procesos industriales, la cocción de alimentos, la generación de energía y la

incineración de residuos, las cuales elevan de forma significativa la cantidad de contaminantes presentes en la atmósfera (Arrellano y Guzman, 2011)

La influencia de esta problemática difiere según el tipo de fuente emisora y se evidencian, sobre todo, en el estado de salud de la población y en el deterioro del ambiente natural, lo que afecta el equilibrio ecológico a escala mundial, Gil (2024). Los cambios con el tiempo, alcanzan concentraciones perjudiciales, produciendo impactos más graves en la salubridad de las personas y en el equilibrio ambiental del planeta.

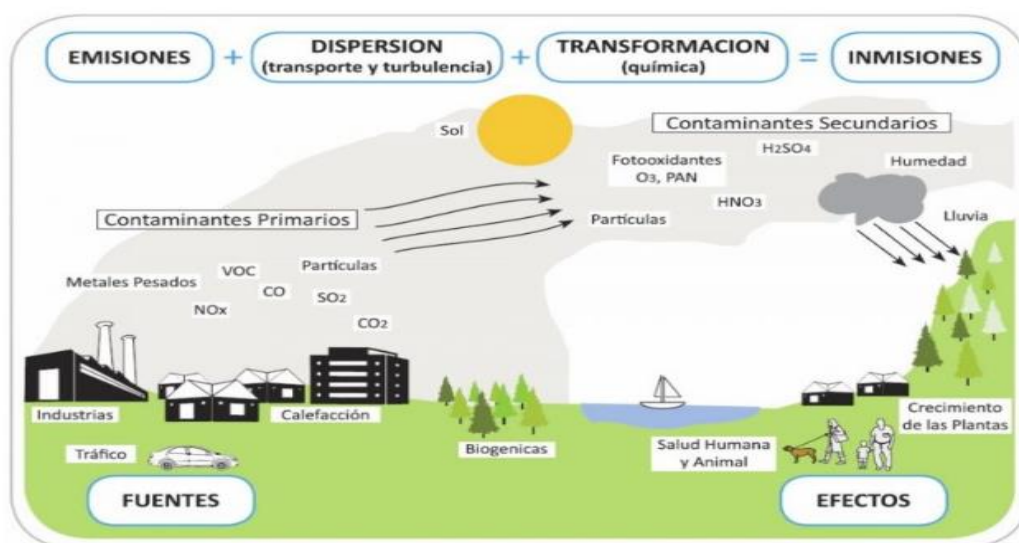
**3.2.6.1. Dispersión de los contaminantes del aire.** El desplazamiento y la dispersión de las diferentes sustancias nocivas expuestas a la atmósfera por diversos orígenes están determinados por varios elementos de naturaleza propia. Donde los más influyentes se prevalecen los regímenes climáticos particulares de cada región, como la velocidad e intensidad del viento, el lugar, la aparición de turbulencias y el grado de estabilidad del aire. Asimismo, la configuración geográfica y la topografía del territorio cumplen un rol fundamental, pues facilitan la aglomeración de estas sustancias (Skiba y Parra, 2011).

- ✓ **Emisión:** Proceso mediante a través del cual los contaminantes son liberados a la atmósfera en forma de residuos gaseosos, partículas sólidas y/o gases, ya sea de manera aislada o combinada, originados en una fuente estacionaria o móvil.
- ✓ **Difusión:** Proceso de transporte dispersión de contaminantes, lo cual está influenciado por las condiciones geográficas del lugar y la dirección de los vientos, además de la estabilidad de la atmósfera.
- ✓ **Transformación:** Dinámica por la cual los agentes primarios se combinan debido a reacciones de tipo químico y fotoquímicas, dando origen a sustancias contaminantes resultantes.
- ✓ **Inmisión:** Se comprende como la evidencia y acumulación de factores contaminantes que pueden alcanzar niveles perjudiciales en un punto específico donde estos se concentran, denominado punto receptor. Cierta elemento de dichas las sustancias regresan y se depositan nuevamente sobre la superficie

terrestre, llegando a incorporarse tanto al agua como al suelo, lo que provoca efectos añadidos al ambiente. Del mismo modo, la inmisión alude directamente a la fracción de agentes perjudiciales que compenetran la atmosfera respirable y que incide de manera inmediata en la salud de las personas. Su valoración se realiza empleando el vínculo masa–volumen del aire ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), lo que permite determinar con mayor exactitud el nivel de sustentación del ambiente (Gil , 2024).

**Figura 1**

*Dispersión de la contaminación en el aire*



*Nota:* Contaminación ambiental evaluación y control (2024)

**3.2.6.2. Tipos de contaminación del aire.** Las sustancias nocivas del aire se clasifican en distintas categorías según varios criterios, entre ellos corresponde a las fuentes de origen de los agentes perjudiciales, su composición química y la forma física en el que se hallan; dicha clasificación es fundamental puesto que posibilita entender con mayor precisión los factores que influyen en la calidad del aire y, al mismo tiempo, identificar cuáles son los más adecuados para seleccionar los indicadores necesarios en un proceso de evaluación.

**3.2.6.3. Clasificación de los contaminantes.** Dichos agentes tóxicos se categorizan:

- ✓ **Contaminante primario:** Son aquellos elementos o compuestos que se emiten directamente al medio atmosférico desde una salida emisora. Este grupo está constituido principalmente por gases y partículas que se originan resultantes de la combustión y de operaciones industriales. Ejemplos de ello son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), diversos hidrocarburos (HC), así como las partículas atmosféricas en suspensión (OEFA, 2015). Del mismo modo, se consideran contaminantes primarios aquellos que se originan directamente de la combustión de combustibles fósiles, como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el monóxido de carbono (CO), así como sustancias tóxicas tales como vapores de solventes, plomo (Pb) y partículas en suspensión, las cuales afectan de manera directa la calidad del aire y, por ende, la salud humana y del ambiente (Lara, y otros, 2009).
- ✓ **Contaminante secundario:** Su origen proviene de las reacciones fisicoquímicas que experimentan los contaminantes primarios dentro de la atmósfera. De igual manera, los principales elementos contaminantes secundarios suelen depositarse sobre la superficie terrestre, lo cual puede ocurrir en condiciones de sequedad o humedad y también a través de la precipitación, ocasionando diversos daños (Gil, 2024). Los contaminantes secundarios se forman como resultado de distintas reacciones y reacciones que atraviesan los agentes tóxicos iniciales cuando se incorporan en la atmósfera, dando lugar a sustancias como el ozono (O<sub>3</sub>), el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y determinados tipos de partículas (Lara et al., 2009).

**3.2.6.4. Causas de la contaminación atmosférica.** Se determinan como causas las siguientes:

- ✓ **Fuentes naturales:** Sustancias tóxicas por el mismo ambiente, la misma que se subdivide en la erosión del suelo, los incendios en áreas boscosas, las erupciones volcánicas, la degradación u oxidación de la cobertura vegetal y las tormentas de polvo (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016)

- ✓ **Fuentes antropogénicas:** Actividades desarrolladas por la sociedad lo que conlleva a la quema de sustancias contaminantes y materiales, cuya causa principal proviene en gran medida de las actividades industriales, del tránsito vehicular o de las propias acciones realizadas en el hogar (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016)

#### **3.2.6.5. Fuentes de Contaminación del Aire.**

- ✓ **Las fuentes fijas:** Hace referencia respecto a un sitio físico específico, delimitado y fijo, de modo que la contaminación generada tiende a mantenerse por más tiempo en ese espacio. Se destaca la liberación de gases mismos que son de procedencia de la incineración de combustible mismas que son producidas por acciones industriales y del mismo entorno residencial (Gil, 2024)
- ✓ **Las fuentes móviles:** Se refiere a las emisiones contaminantes que se desplazan a las cuales se vincula estrechamente las emisiones generadas por el parque automotor y las distintas modalidades de transporte motorizado tales como los vehículos particulares, camiones, transporte público ciudadano y las motocicletas. Por ello se estima que a medida que sube la cantidad de estas fuentes en circulación también se verá incrementada la concentración de los contaminantes los cuales están presentes en la atmosfera y lo cual genera un incremento en la concentración de polución (Gil, 2024).
- ✓ **Las fuentes fugitivas:** Este concepto hace referencia a las emisiones atmosféricas que no atraviesan un método de conducción o chimeneas antes de su expulsión al medio atmosférico. liberadas, lo que dificulta su control y monitoreo. Este tipo de emisiones suele generarse en procesos difusos o a cielo abierto, como el tránsito vehicular en vías no pavimentadas, las actividades de construcción civil, la remoción y manipulación de suelos, las demoliciones y el almacenamiento o manejo de materiales, entre otros. A diferencia de las emisiones de un punto fijo, las emisiones de fuentes esparcidas presentan una mayor complejidad regulatoria, ya que se emiten directamente en el ambiente de

manera aleatoria, lo que contribuye de manera importante al desgaste de la calidad del aire en áreas urbanas (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016)

**3.2.6.6. Por su Composición Química.** Los agentes nocivos tanto de origen primario como secundario, de acuerdo con su estructura química, se categorizan en orgánicos o no orgánicos:

- ✓ **Sustancias contaminantes de origen orgánico:** Este grupo está constituido por distintos compuestos mismo que comprenden elementos químicos esenciales tales como (C, H, O, N, P y S). Dentro de esta clasificación se hallan muchas sustancias de relevancia ambiental, tales como compuestos hidrocarbonados, aldehídicos y cetónicos los cuales suelen estar vinculados a métodos de combustión a medias, a descargas provenientes de actividades empresariales y al empleo de envases del petróleo (Arrellano y Guzman, 2011).
- ✓ **Los compuestos inorgánicos:** Dentro de esta clasificación destacan de manera significativa las emisiones de dióxido y monóxido de carbono, compuestos sulfurosos en forma de carbono, tanto como elementos halogenados de relevancia del ambiente, donde se destacan el fluoruro y el cloruro de hidrógeno; estos agentes nocivos presentan alta reactividad y participan en procesos como la formación de lluvia ácida y el smog fotoquímico produce efectos nocivos en la salud los mismos que afectan la salud respiratoria de la población al incrementar el número de enfermedades ya sean crónica so agudas las mismas que están vinculadas al sistema pulmonar (Arrellano y Guzman, 2011).

**3.2.6.7. Por su Estado de Agregación Molecular.** Según (Arrellano y Guzmán, 2011), se establecen 2 divisiones en la presente clasificación:

- ✓ **Partículas:** se entiende por partículas a todas aquellas que pueden ser encontradas en fases sólidas o líquidas, tales como polvo, humo, neblina y la ceniza.

- ✓ **Gases:** se les denomina gases dado que se encuentran en su condición estándar de presión y temperatura, los gases incluyen sustancias como los óxidos de nitrógeno, de carbono y azufre.

### **3.2.7. Principales contaminantes del aire**

Según el MINAM (2014), se reconocen algunas sustancias tóxicas considerados de referencia o "criterio", los cuales funcionan como parámetros esenciales para definir los estándares de calidad del aire. En este conjunto se encuentran el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y el material particulado en sus distintas fracciones (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>). A esta clasificación también pertenecen el plomo (Pb), el benceno, los hidrocarburos totales (HT) y el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), todos ellos identificados por su peligrosidad debido a los efectos perjudiciales que generan tanto en la salud de la población y a los ecosistemas.

Por su parte, Gil (2024) plantea que los contaminantes atmosféricos pueden interpretarse como la aparición detectable de compuestos y sustancias químicas, gases o incluso formas de energía que no se originan presentes de forma natural en el ambiente atmosférico. Su aparición se debe, por lo general, a actividades humanas, y el nivel de proporción que alcanzan en el entorno determina el nivel de impacto sobre el estado de la atmósfera y por consiguiente sobre la salud de la población.

**3.2.7.1. Efectos en la Salud.** La contaminación atmosférica es la causante de diversas enfermedades cuando las permanecen expuestas durante periodos prolongados a contaminantes como el CO, de azufre y el óxido de azufre. Según la OMS (2024) una de las principales causas provocadas al bienestar es la quema de combustibles fósiles en el transporte.

(SO<sub>2</sub>): El dióxido de azufre ocasiona irritación en las vías respiratorias cuando las concentraciones son demasiado elevadas por ello esto puede desencadenar problemas como bronquitis y traqueítis, asimismo estas provocan alteraciones en el funcionamiento de los bronquios y las vías respiratorias, además de generar irritación

en los ojos, asimismo como la alteración pulmonar y las detenciones cardíacas en individuos.

(CO): El monóxido de carbono se considera uno de los compuestos más riesgosos debido a la capacidad de unirse a la hemoglobina lo cual genera asfixia química al disminuir la cantidad de oxígeno que llega al corazón y a cerebro (División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana, 2016).

(NO<sub>2</sub>): El dióxido de nitrógeno ocasiona inflamación en los correspondientes canales respiratorios las mismas que cuando se encuentran en concentraciones elevadas puede desencadenar enfermedades como los bronquios o en el peor de los casos la neumonía (Hernández et al., 2022). El dióxido de nitrógeno puede causar diversas afecciones respiratorias y lesiones en los pulmones, incrementando la vulnerabilidad a infecciones pulmonares y bronquiales, además de favorecer la aparición de otras enfermedades.

**3.2.7.2. Efectos sobre los Ecosistemas.** Las consecuencias observadas incluyen los siguientes gases:

(SO<sub>2</sub>): El dióxido de azufre en altos niveles de concentración puede afectar a la flora, ocasionando deterioro del follaje y una disminución en su crecimiento. El SO<sub>2</sub> y otros óxidos de azufre son responsables en parte de la lluvia ácida, que afecta a entornos ecológicos vulnerables (EPA, 2024). Estas concentraciones pueden ocasionar daños crónicos en la vegetación las cuales tienen consecuencias negativas en el ecosistema dado que frenan el desarrollo normal de las plantas asimismo limitar su crecimiento.

(CO): Respecto al monóxido de carbono no genera deterioro en la superficie de los diferentes materiales, los estudios realizados evidencian que este gas no solo ocasiona impactos negativos en las plantas (Guía de calidad del aire y educación ambiental, 2016)

(NO<sub>2</sub>): El dióxido de nitrógeno son los compuestos de nitrato derivados de los NO<sub>x</sub> contribuyen a que el aire adquiera un aspecto opaco, generando dificultades

en la visibilidad. Cuando entra en contacto con el agua, el oxígeno y otras sustancias presentes en la atmósfera, puede originar procesos que favorecen la formación de lluvia ácida, lo que impacta de manera negativa en ecosistemas frágiles como lagos y bosques (EPA, 2024). Asimismo, el  $\text{NO}_2$  al reaccionar con la humedad atmosférica produce ácido nítrico, el cual acelera la corrosión en materiales metálicos y afecta el desarrollo normal de la vegetación.

### **3.2.8. Estándar de Calidad de Aire D.S N° 003-2017 MINAM**

La ECA representan parámetros establecidos técnicamente que determinan los límites máximos permitidos de contaminación en el aire, con el fin de asegurar que su presencia no genere un riesgo elevado para el bienestar de la comunidad ni para los ecosistemas (OMS, 2021) establece que corresponden al nivel de concentración de los contaminantes del aire que debe mantenerse por debajo de ciertos límites, la sustentación no evidencia una amenaza para la salud humana, como se evidencia en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Estándares de Calidad Ambiental para Aire para  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y CO*

<b>Parámetros</b>	<b>Período</b>	<b>Valor [<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	250
Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	1 hora	200
	Anual	100
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000
	8 horas	10000

*Nota:* Decreto supremo N° 003-2017-MINAM

### **3.2.9. Monitoreo Ambiental**

El monitoreo ambiental constituye una herramienta fundamental en el desarrollo de técnicas de supervisión, puesto que hace posible identificar la existencia de factores contaminantes en el ambiente y determinar con exactitud sus concentraciones en periodos definidos. Este procedimiento no se limita solo a recopilar datos específicos, asimismo se incorpora exámenes sistemáticas y de estructura más compleja, orientadas a lograr una comprensión más completa del estado actual de la calidad ambiental. De esta forma

permite examinar el total de los cambios a lo largo del tiempo como la distribución geográfica de los insumos contaminantes, lo cual facilita en cierta medida la detección de nuevas fuentes emisoras, lo que permite, en cierta medida, reconocer nuevas fuentes de emisión que posteriormente serán analizadas para determinar los efectos que generan sobre diversos componentes del ambiente, como el agua, el suelo, el aire, la flora y la fauna (OEFA, 2015).

### **3.2.10. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire**

Se utiliza el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, establecido por el D.S. N° 010-2019-MINAM, cuyo propósito es unificar los criterios técnicos que tenga aplicados para la guía ambiental de las condiciones de la atmosfera en el territorio peruano. Este instrumento busca garantizar que los procedimientos empleados sean homogéneos y permitan la obtención de los datos.

**3.2.10.1. Métodos de Monitoreo de la Calidad del Aire según su Tecnología.** Conforme a lo señalado por las guías de la OMS (2018), la medición de los contaminantes atmosféricos puede realizarse mediante distintas metodologías con apoyo tecnológico, reconociéndose así cuatro categorías principales de sistemas de monitoreo: los manuales pasivos, que permiten recoger contaminantes a través de soportes específicos durante periodos determinados, y dispositivos de activación manual, que requieren el empleo de equipos de bombeo para capturar de manera directa las material particulado en la atmosfera.

**3.2.10.2. Comparación de Métodos de Medición de la Calidad del Aire.** Para para describirlo con mayor claridad la tabla 3, donde se los puntos fuertes y las debilidades de los métodos empleados para determinar la calidad del aire.

**Tabla 3**

*Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de monitoreo de calidad de aire*

Método	Ventajas	Desventajas
Muestreadores pasivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio reducido</li> <li>• Uso simple</li> <li>• Independencia de electricidad y cables</li> <li>• Colocación en grandes cantidades</li> <li>• Útiles para sondeos y mapeos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Únicamente entregan valores promediados por semana y por mes</li> <li>• No se cuenta con un método estandarizado para la evaluación del cumplimiento</li> </ul>
Muestreadores activos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimiento factible</li> <li>▪ Información de valores históricos</li> <li>▪ Manejo simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Suministran promedios diarios</li> <li>▪ Requieren análisis de laboratorio</li> </ul>
Analizadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprobadas debidamente</li> <li>• Desempeño elevado</li> <li>• Mediciones horarias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• costosos</li> <li>• sofisticados</li> <li>• Demandan alta calificación</li> </ul>
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ofrece mediciones vinculadas al recorrido y a las concentraciones registradas</li> <li>○ Funcionales en zonas próximas a focos emisores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Muy sofisticados y costosos</li> <li>○ soporte, operación, calibración y validación difíciles</li> </ul>

*Nota:* Resolución Directoral N°1404/2005/DIGESA/SA

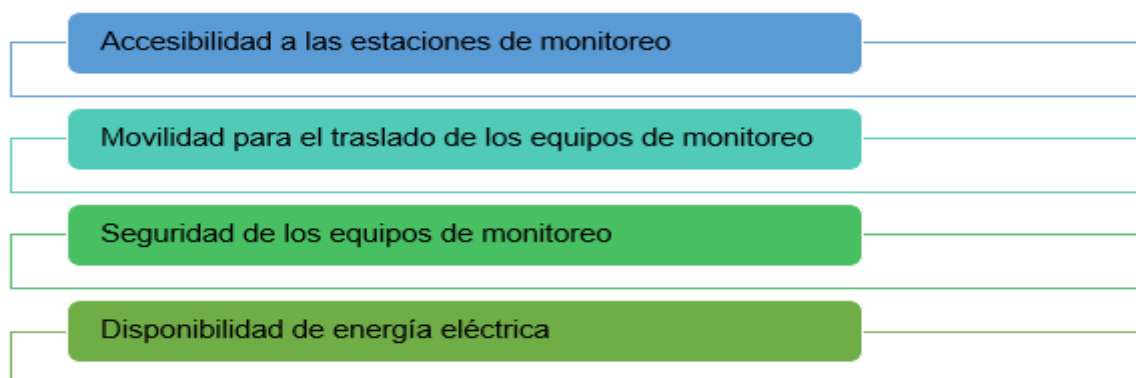
**3.2.10.3. Método de Muestreo.** Se aplicó la técnica activa para captar los gases presentes en el ambiente, empleando un sistema de muestreo integrado por impingers o recipientes recolectores, asignados a la captura de cada gas en particular. En estos recipientes se incorporaron soluciones absorbentes específicas para cada parámetro analizado, según lo indicado en la tabla 4.

**Tabla 4***Soluciones captadoras para CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>*

Parámetros	Solución
Monóxido de carbono ( CO)	Acido p-sulfoaminobenzoico
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Cloruro de potasio
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	Ácido Sulfanilico Anhidro

*Nota:* D.S. N°10 – 2019 - MINAM

**3.2.10.4. Condiciones y Requerimiento para el Monitoreo.** Las especificaciones y los requisitos indispensables para llevar a cabo el control de calidad del aire atmosférico los cuales se evidencia en la figura 2.

**Figura 2***Condiciones y requerimientos*

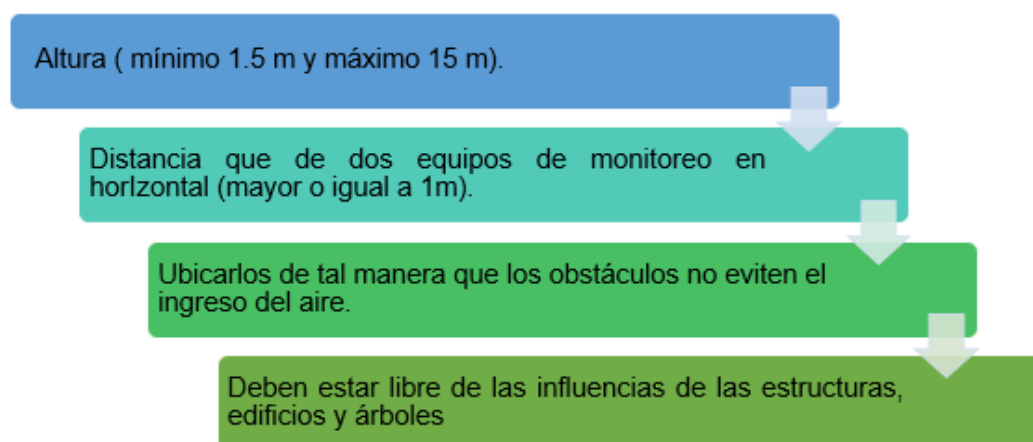
*Nota:* Decreto supremo N° 003-2017-MINAM

**3.2.10.5. Criterios Técnicos para la Instalación de los Equipos de Monitoreo.**

Siguiendo las disposiciones del Protocolo Nacional de Control de la Calidad del Aire (D.S. N° 010-2019-MINAM), se puede visualizar en la figura 3.

**Figura 3**

*Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo*



*Nota:* D.S. N° 010-2019-MINAM

**3.2.10.6. Equipos de monitoreo.** Son los siguientes:

✓ **Tren de muestreo**

Su propósito es la recolección de gases, siguiendo parámetros establecidos en los procedimientos de ensayo. Entre los compuestos medidos se encuentran el CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, O<sub>3</sub> y benceno (OEFA, 2015, p.18). Para este proceso se emplean impingers, recipientes o frascos de menor tamaño con sustancias absorbentes específicas para cada parámetro, además de un rotámetro previamente calibrado que garantice el flujo correcto del aire.

✓ **Estación meteorológica**

Este instrumento se utiliza para recopilar información destinada a la evaluación de la calidad del aire, ya que es indispensable contar con datos iniciales sobre las condiciones ambientales que permitan identificar con mayor precisión las concentraciones de los gases contaminantes, según el OEFA (2015), integrada por los sensores tales como: anemómetro, método para medir de forma eficiente la velocidad y la dirección del viento psicrómetro, es el dispositivo utilizado con la finalidad de registrar la humedad relativa del aire, mientras que el termómetro de bulbo seco permite obtener la temperatura ambiental con precisión. Finalmente, se

emplea el pluviómetro, destinado a recolectar y cuantificar las precipitaciones. En la figura 4 se presenta el esquema del equipo.

**Figura 4**

*Estación meteorológica en el punto de Monitoreo*



*Nota:* Davis internacional Perú, S.A., 2010

### 3.3. Definición de Términos

**Concentración:** Es la totalidad relativa de un elemento específico la cual se halla dispersa dentro de otra sustancia en una cantidad específica. La concentración puede expresarse mediante distintas unidades de medida, cuya magnitud se relaciona con la proporción de masa por unidad de volumen (SEMARNAT, 2017)

**ECA:** El Estándar de Calidad Ambiental constituye una herramienta de gestión que permite evaluar el nivel de calidad del ambiente en el ámbito nacional, aplicándose a distintos componentes ambientales como el aire, el agua y el suelo (MINAM, 2019).

**ECA del aire:** Instrumento especificado para la gestión ambiental el cual es prioritario con el fin de anticipar y organizar las acciones destinadas al control de la contaminación atmosférica. Se trata de los límites máximos permitidos de concentración de contaminantes en el aire, y exceder dichos niveles puede representar un riesgo tanto para el ambiente como para la salud humana (OEFA, 2015)

**Combustible:** Es una sustancia que puede producir energía al quemarse o al reaccionar con el oxígeno y asimismo se le suministra energía de activación, posibilita la generación de energía térmica, más representando como la quema de biomasa para calefacción doméstica y/o aspecto comercial (AAP, 2018)

**Contaminantes criterio:** Son especies químicas que se emplean como referencia para la evaluación de la calidad del aire. En este sentido, las normativas nacionales y globales contemplan una clasificación basada en dichas formas químicas (OEFA, 2015).

**Tasa de flujo:** Habitualmente se expresa en vehículos por hora (veh/h) y sirve para estimar la capacidad y el grado de servicio de una rotonda. Dichas tasas pueden modificarse en función de la hora del día, el día de la semana y las particularidades del tránsito (Surichaqui et al., 2023)

**Impingers:** La bomba para muestreo personal y ambiental consiste en pequeños frascos que se emplean junto con una bomba de muestreo de aire para capturar sustancias peligrosas presentes en la atmósfera y transferirlas a líquidos específicos de recolección destinados a su posterior análisis (Martí, 1982)

**Absorción:** Es el proceso mediante el cual átomos, iones o moléculas presentes en gases, líquidos o soluciones son incorporados por otro medio y se dispersan de manera uniforme en su interior, permitiendo que dichas sustancias penetren dentro del material absorbente (Carbotecnia, 2023)

**Microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ):** Es una unidad de medición empleada para indicar la concentración de una sustancia, por lo general un contaminante, en el aire u otro medio gaseoso; representa la cantidad de masa de un compuesto determinado contenida en un metro cúbico del ambiente, expresándose dicha masa en microgramos (OIZOM, 2017)

**Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ):** Es un gas incoloro y no inflamable, caracterizado por su olor asfixiante e irritante. Más del 50 % de sus emisiones se originan en actividades humanas, principalmente derivadas de la quema de carbón y petróleo. Asimismo, este compuesto favorece la formación de otros óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), (MINAM, 2014).

**Monóxido de carbono (CO):** Se trata de un gas que carece de color y olor, formado como resultado de la combustión incompleta de distintos materiales, principalmente en los escapes de los vehículos automotores. Sus concentraciones más altas suelen registrarse en zonas con elevado flujo vehicular y, en tales condiciones, resulta tóxico cuando se presenta en niveles altos, incluso en exposiciones de corta duración (Arellano y Guzmán, 2011).

**Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ):** Es un gas tóxico, irritante y de olor sofocante, químicamente estable, que disminuye la visibilidad del ambiente y forma parte del conjunto de gases de alta reactividad denominados óxidos de nitrógeno; además, interactúa con la radiación solar para generar ozono troposférico y smog fotoquímico presentes en la masa de aire inhalado (EPA, 2024).

## IV. Metodología

### 4.1. Tipo y Nivel de Investigación

El estudio adopta un enfoque cuantitativo, debido a que el enfoque está basado en un diseño analítico, el cual recolecta y analiza datos numéricos y estadísticos para entender fenómenos y probar las hipótesis (Hernández y Mendoza , 2018)

#### **Nivel o la profundidad:**

La investigación corresponde al nivel correlacional, cuyo propósito es identificar cómo una variable se comporta en función de otra vinculada. Este tipo de alcance se centra en medir la relación existente entre dos variables (Ríos, 2017)

### 4.2. Ámbito Temporal y Espacial

#### **4.2.1. Temporal**

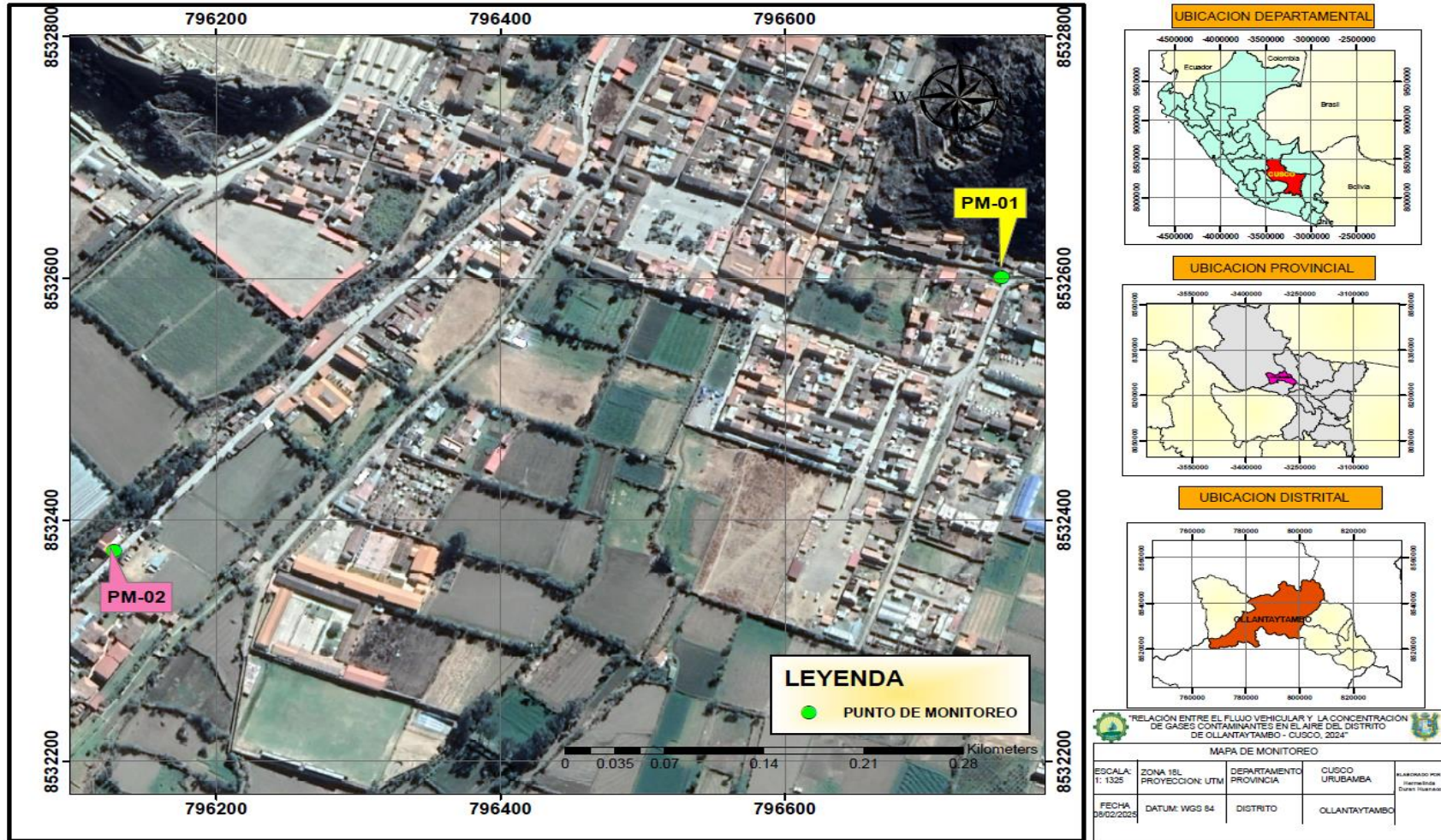
La investigación, considerando el periodo destinado a su desarrollo, abarca desde la identificación del tema hasta la redacción e interpretación de las conclusiones, comprendiendo el tiempo transcurrido entre diciembre del 2024 y agosto del 2025.

#### **4.2.2. Espacial**

El alcance espacial de esta investigación se centra en la Avenida Alameda de las Cien Ventanas designado como el punto de monitoreo uno y la Avenida Ferrocarril el punto de monitoreo dos, ambas avenida son reconocidas por su alto volumen de tráfico vehicular dentro del área urbana del distrito de Ollantaytambo, provincia Urubamba y departamento Cusco tal como se ilustra en la figura 5 Ubicación política.

Figura 5

Lugar del estudio los dos puntos de monitoreos en el casco urbano del distrito de Ollantaytambo



### 4.3. Población y Muestra

#### 4.3.1. Población

La población de este estudio corresponde a la cuenca atmosférica del distrito de Ollantaytambo, situada en la provincia de Urubamba, región Cusco, con una extensión aproximada de 81 km<sup>2</sup>.

#### 4.3.2. Muestra

La muestra incluye dos sitios de monitoreos en la zona urbana del distrito, los cuales se llevaron a cabo durante los meses de febrero y marzo del 2025. Se ejecutó el monitoreo tanto del flujo vehicular como de las concentraciones de los gases contaminantes en particular monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). De acuerdo con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire (D.S. N° 010-2019-MINAM), el número mínimo de estaciones de medición debe definirse en función del criterio poblacional del distrito de Ollantaytambo, el cual cuenta con una población de 10,165 habitantes (INEI, 2017). No obstante, para garantizar resultados confiables y representativos se realizó con dos repeticiones en cada avenida. Se estableció un tamaño muestral de dos sitios de monitoreo, las cuales se pueden observar de manera detallada en la figura 6.

#### **Figura 6**

*Ubicación de los puntos de muestra*

Estaciones	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte	Altitud msnm
•Av. Alameda de las Cien Ventanas	•796751.9	•8532601.0	•2890
•Av. Ferrocarril	•796128.5	•8532373.8	•2869.6

### 4.4. Instrumentos

- ✓ Formulario de registro de datos (ver anexo N° 04)

- ✓ Documentó del manejo de las muestras la cadena de custodia (proporcionado por el laboratorio ITS “Inspection & Testing services del Peru S.A.C.”),(ver anexo N° 4.2 y 4.3)
- ✓ **Equipos:** en la siguiente figura se detalla los equipos utilizados para las investigación se puede visualizar en la figura 7.

### **Figura 7**

*Equipos utilizados para la investigación*

Equipo para la toma de muestra (Tren de muestro,marca Lymesol y modelo TM.BS01LMP)

Medidor de flujo (Rotámetro, marca DWYER, modelo RMA-13, y código T21AA)

Estación meteorológica (marca DAVIS INSTRUMENT, modelo VANTAGE PRO 2 y número de serie A70508D14D)

GPS (celular de marca OPPO Reno 7 y modelo CPH2363)

Ordenador portátil (marca Lenovo y modelo Intel core i7)

Cámara (celular de marca OPPO Reno 7 y modelo CPH2363)

#### **4.4.1. Validez de los Instrumentos**

Para asegurar la fiabilidad del instrumento utilizado para el conteo de vehículos, este fue sometido a un proceso de validación y aprobación por dos expertos, cuyos detalles se encuentran en el anexo N° 03 y tabla 5.

**Tabla 5**

*Validación de instrumentos*

<b>especialista</b>	<b>Cargo/profesión</b>	<b>% de validación</b>
Vega Villafuerte Baltazar Wilfredo	Economista	75 %
Vargas Meza Gerardo Paul	Ingeniero civil	70%
Promedio total de validación 72.5 %		

*Nota:* Ficha de validación de instrumento fue proporcionada por UTEA.

#### 4.4.2. Validez de los Equipos de Monitoreo

El rotámetro y la estación meteorológica requieren un proceso de calibración, para esta investigación, se tomaron en cuenta los certificados correspondientes (ver los anexos N.º 03.1 y 03.2). Es importante destacar que en el tren de muestreo solo precisa de un rotámetro calibrado, lo que garantiza el ingreso adecuado del caudal de aire, tal como se muestra en la figura 8.

#### Figura 8

Validación de los equipos de monitoreo

Tren de muestreo	Rotámetro	Estación meteorológica
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Marca: Lymesol</li> <li>•Modelo: TM.BS01LMP</li> <li>•parámetros: CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Marca: DWYER</li> <li>•Modelo: RMA-13</li> <li>•Código: T21AA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Marca: Davis Instruments</li> <li>•Modelo: Vantage Pro 2</li> <li>•Número de serie: A70508D14D</li> <li>•Parámetros: Variables meteorológicas</li> </ul>

#### 4.4.3. Laboratorio de Ensayo

Para obtener los resultados de las concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO, las muestras fueron enviadas al laboratorio ITS Inspection & Testing Services del Perú S.A.C., el cual cuenta con la acreditación del Instituto Nacional de Calidad – INACAL (ver el anexo N.º 03.3).

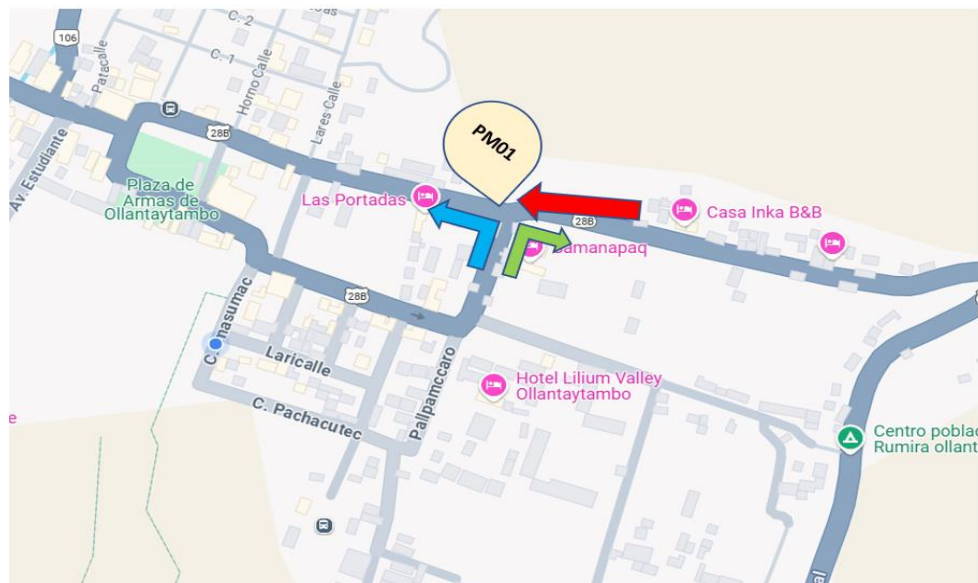
### 4.5. Procedimientos

#### 4.5.1. Para la tasa del flujo vehicular

**4.5.1.1. Elección de Punto de Conteo Vehicular.** Se eligieron dos avenidas con mayor circulación vehicular, para contabilizar la cantidad de unidades vehiculares que transitan en cada avenida, se aplicó la técnica de observación del desplazamiento vehicular. Se establecieron puntos de registro en la Av. Alameda de las Cien Ventanas (figura 9) y en la Av. Ferrocarril (figura 10).

## Figura 9

### Avenida Alameda de las cien ventanas - Punto de monitoreo uno



Nota: La flecha verde indica la salida de cada vehículo, el flecha celeste indica el giro del vehículo y la flecha de color rojo indica el ingreso de cada vehículo al área urbano.

## Figura 10

### Avenida Ferrocarril - Punto de monitoreo dos



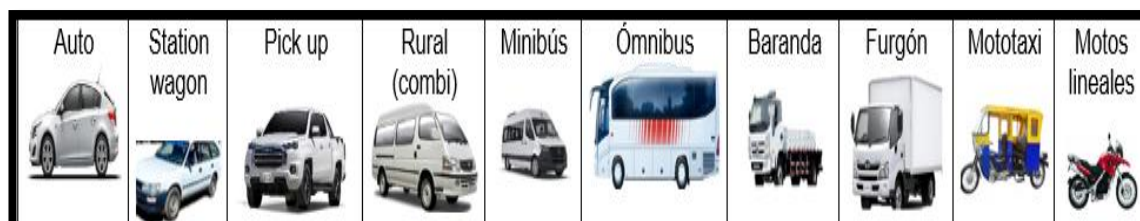
Nota: La flecha verde indica el ingreso de los vehículos para la estación ferroviaria y la flecha naranja indica la salida de los vehículos de las estación ferroviaria.

**4.5.1.2. Formato para el Conteo Vehicular.** Se empleo el formato de conteo que se sigue los lineamientos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, los tipos de vehículos fueron categorizados según la Ordenanza Municipal N°004-2020-MDO del distrito de Ollantaytambo, los registros elaborados para el conteo del punto 01 y 02 se pueden consultarse en el anexo N° 04.

- Posteriormente se determinó la cantidad de vehículos según la Ordenanza municipal que se da a conocer en el artículo cinco donde especifica las categorías de vehículos permitidos en el área urbana.
- La clasificación vehicular utilizada para el conteo de las unidades vehiculares se muestra en la figura 11.
- No se consideró la vida Útil de los vehículos debido a que esta investigación utilizó el instrumentó de gestión ambiental que es el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para el aire.

**Figura 11**

*La Clasificación de las unidades vehiculares*



*Nota:* La clasificación de las unidades vehiculares se realizaron de acuerdo a la OM N°004-2020-MDO de Ollantaytambo, donde indica que tipos se permiten en la zona urbana.

- No se considera los vehículos de carga pesada, debido a que estas tienen que pasar por la trocha carrozable llamado la Vía de evitamiento, así mismo también se tiene la ordenanza Municipal N°016-2024-MDO, donde prohíbe el ingreso de vehículos con mayor de 6,500 kg.

#### **4.5.1.3. Conteo vehicular por cada avenida.**

- ✓ Se realizó el conteo manual en ambas avenidas, verificando las direcciones y los distintos tipos de vehículos.
- ✓ Para obtener mayor exactitud, se solicitó información al gerente del hotel Tunupa Lodge y Samanapaq, con el fin de validar la información (ver anexos 02 y 02.1)
- ✓ En febrero, el conteo del flujo vehicular se llevó a cabo en la Av. Alameda de las Cien Ventanas y la Av. Ferrocarril, de 8:00 de la mañana hasta 2:00 de la mañana del día siguiente,
- ✓ En marzo, el conteo del flujo vehicular también se realizó en la Av. Alameda de las Cien Ventanas y en la Av. Ferrocarril, de 8:00 de la mañana hasta las 2:00 de la mañana del día siguiente.
- ✓ El conteo del flujo vehicular también se realizó cumpliendo las horas, esto dependiendo de cada gas y cada uno con dos repeticiones para el CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.
- ✓ El conteo vehicular se realizó de acuerdo a lo establecido en cada punto en las siguientes fechas: en febrero 7 y 8 y en marzo 17 y 18 del 2025, los conteos se realizaron sin ningún impedimento en cada avenida.

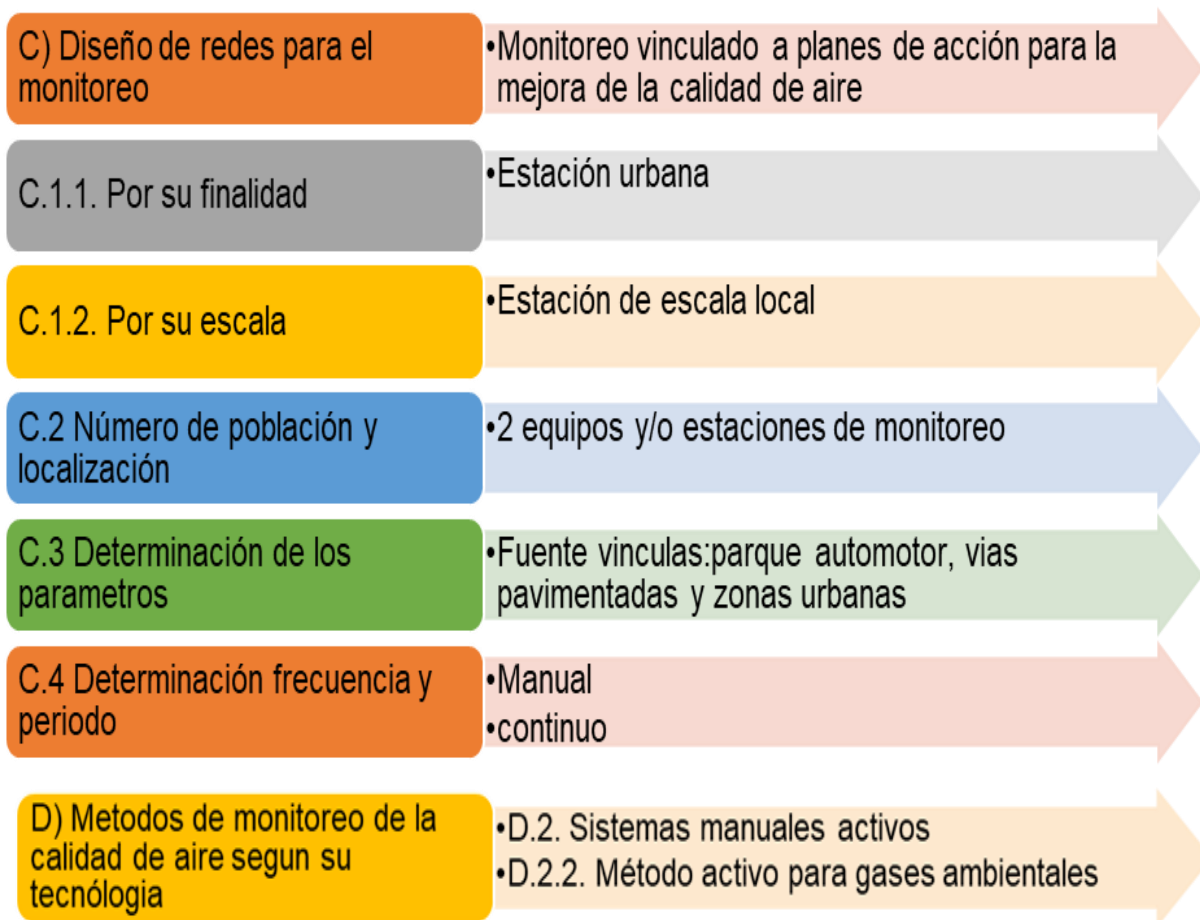
**4.5.1.4. Para el procesamiento de datos.** Todos los datos se registraron en hojas de cálculo de Excel, organizada por punto de conteo. Se cuantificó el número de unidades vehiculares por cada intersección, considerando los puntos de conteo por cada mes los datos de la cantidad vehicular se puede observar en el anexo N° 04.1.

#### **4.5.2. La Concentración de los gases contaminantes.**

Para la determinación de las concentraciones de gases, se siguieron los procedimientos establecidos en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire (D.S. N.° 010-2019-MINAM), tal como se ilustra en la figura 12.

**Figura 12**

*Procedimiento según el D.S. N°10-2019-MINAM*



**4.5.2.1. Las Estaciones de los monitoreos.** En el marco de la presente investigación, se realizaron dos evaluaciones de la calidad del aire en ambos meses de febrero y marzo de 2025, cuyos resultados se muestran en las figuras 13 y 14.

**Figura 13**

*Avenida Alameda de las Cien Ventanas – PM 01*

**Figura 14**

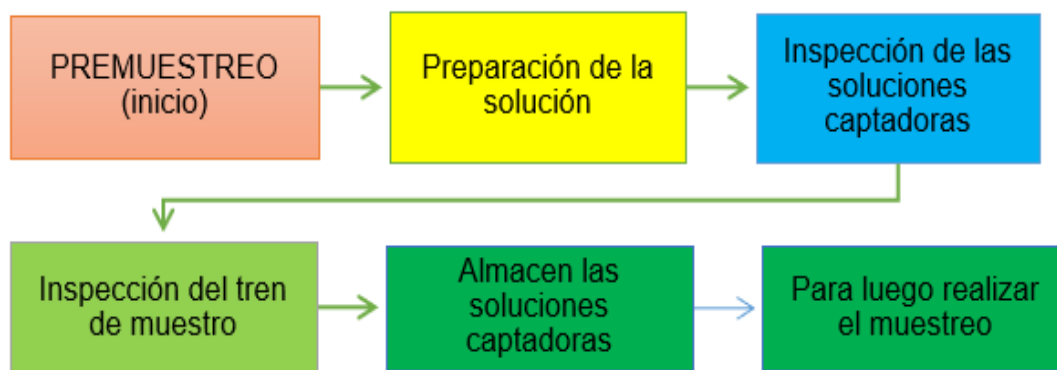
*Avenida Ferrocarril – PM02*



**4.5.2.2. Procedimiento en el pre-muestreo.** Se tiene en la figura 15 el procedimiento que se aplicó.

**Figura 15**

*Procedimiento en el Pre-muestreo*



**4.5.2.3. Procedimiento en el muestreo.** El muestreo de los gases (CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>) se llevó a cabo de la siguiente manera, se detallan en figura 16.

**Figura 16**

*Procedimiento del Muestreo*



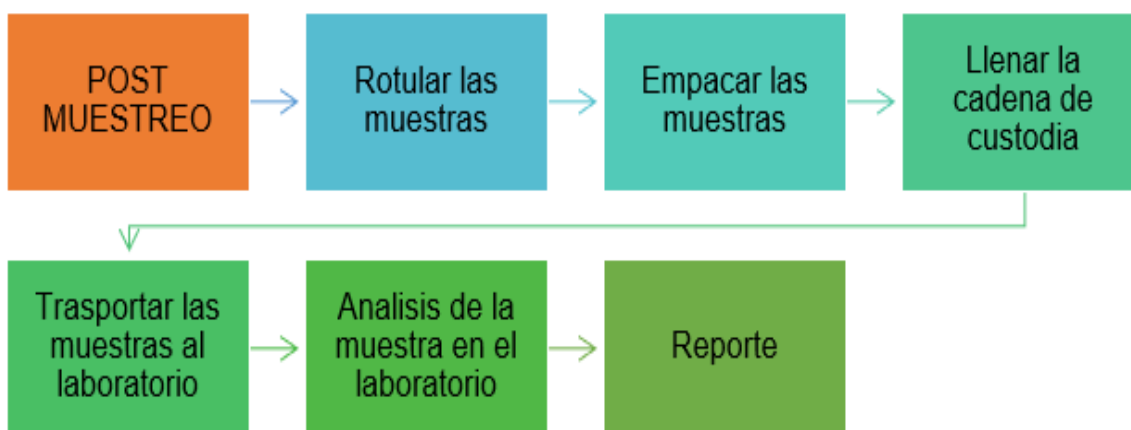
✓ El monitoreo del gas monóxido de carbono (CO), se efectuó en dos fases: la primera comenzó a las 9:00 am hasta 17:00 pm; la segunda de 18:00 pm hasta 2:00 am del día siguiente, resultando una duración de 8 horas en ambas avenidas de la zona urbana.

- ✓ El monitoreo del dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), comprendió dos lapsos de una hora el primero monitoreo 9:00 am hasta 10:00 am, el segundo 20:00 pm hasta 21:00 pm, totalizando una hora en ambas avenidas de la zona urbana.
- ✓ El monitoreo de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), se extendió continuamente desde las 9:00 de la mañana hasta 9:00 de la mañana del día siguiente, abarcando un periodo de 24 horas, en ambas avenidas.

**4.5.2.4. Procedimiento para el post *muestreo*.** Los procedimientos seguidos para la fase de post muestreo se detallan en la figura 17.

**Figura 17**

*Procedimiento para el post muestreo*



**4.5.2.5. Equipo de estación meteorológica.** Para el monitoreo se utilizó el equipo Davis durante 24 horas, siendo fundamental el registro inicial de las condiciones ambientales. Mediante este procedimiento se recopilaron registros relacionados con la dirección e intensidad del viento, el nivel de humedad relativa, la presión atmosférica, la temperatura ambiental y el índice de precipitación estos con sus respectivas unidades de medida.

#### **4.5. Análisis de datos**

En la ejecución del presente estudio, se recurrió a herramientas de análisis estadístico con el propósito de asegurar un monitoreo riguroso y sistemático de los datos. En particular, se utilizaron los programas SPSS, versión 25, Microsoft Excel y utilizó R-

Studio, implementando la prueba de normalidad Shapiro–Wilk los cuales facilitaron la organizar, procesamiento y representación visual de la información recopilada de manera eficiente. Seguidamente para la comprobación de la hipótesis general se aplicó el método estadístico correlacional e Pearson. Para las hipótesis específicos 01 se aplicó el modelo estadístico de t-student de dos muestras. Para a hipótesis específico 03 se empleó pruebas de t- student independiente para una muestra.

En fase preliminar se efectuó un análisis descriptivo con el objetivo de singularizar la muestra y sintetizar los atributos primordiales de las variables bajo estudio, se procedió a la aplicación de estadística inferencial con el fin de establecer interconexiones entre las variables y ratificar las hipótesis planteadas en la investigación. En el contexto del análisis inferencial, se utilizaron técnicas de regresión y correlación. De manera específica, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para cuantificar el grado y dirección de la relación lineal de las variables cuantitativas.

#### **4.6. Consideraciones éticas**

La presente investigación se desarrolló bajo principios de respeto a la autoría y validez de las contribuciones bibliográficas, las cuales constituyeron referencias teóricas y metodológicas. Se aplicó el formato APA de manera adecuada y se efectuó una revisión rigurosa, con monitoreo y control permanente, garantizando la objetividad de los análisis y precisión en la confección de las tablas y figuras. En la etapa experimental, los procedimientos de conteo de volumen vehicular y muestreo de gases mediante el sistemas de muestreadores activos, sin que estos procesos representaran riesgos para la flora, fauna o población del área de estudio. Asimismo, en todo momento se adoptaron los lineamientos del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire. La información generada tiene fines académicos y busca aportar a la formación de nuevo conocimiento y servir de base para futuras investigaciones.

## V. Resultados y discusiones

### 5.1. Resultados

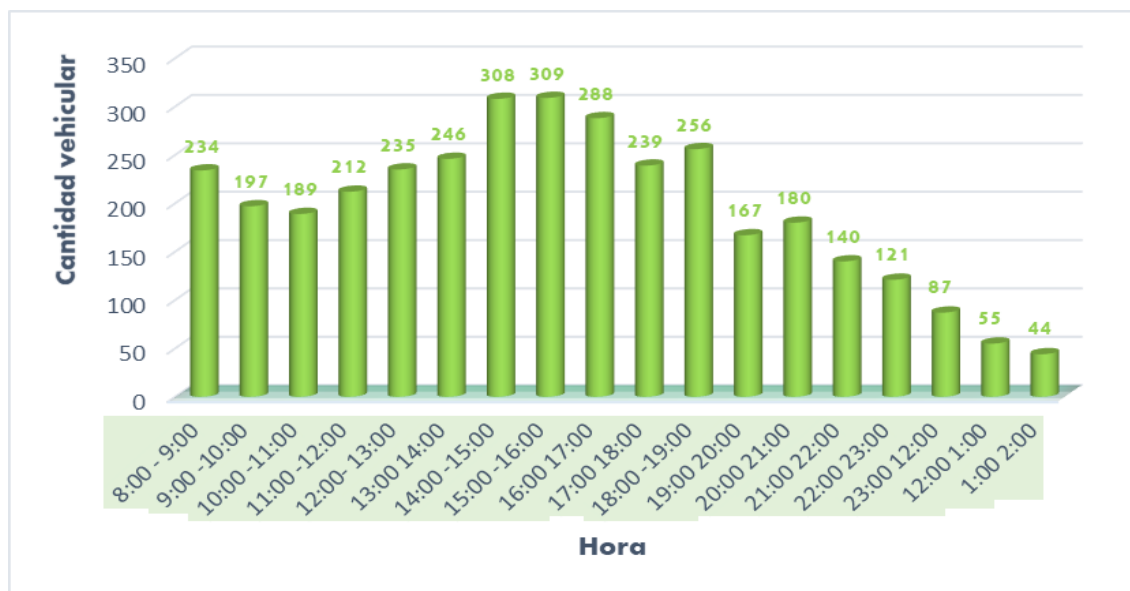
#### 5.1.1. Resultados del flujo vehicular en los puntos estratégicos

##### 5.1.1.1. Flujo Vehicular en la avenida Alameda de las Cien Ventanas en febrero.

En la figura 18, se observa el conteo de vehículos en la Av. Alameda de las Cien Ventanas el punto uno de conteo en febrero. Se constata que la densidad del tráfico rodado en el horario matinal es sensiblemente inferior en comparación con el horario vespertino. Se evidenciaron tres elevaciones notables en los rangos temporales en primero de 14:00 a 15:00, el segundo de 15:00 a 16:00 y el tercero de 16:00 a 17:00, dichos intervalos temporales se corresponden con la llegada de los contingentes turísticos, canalizados por las operadoras turística, al enclave arqueológico de Ollantaytambo, tras la conclusión del circuito por el valle sagrado.

**Figura 18**

Conteo del flujo vehicular en el punto uno



Se realizó a cabo un análisis descriptivo del conteo vehicular en la av. Alameda de las Cien ventanas en el mes de febrero, cuyos resultados se detallan en la tabla 6.

**Tabla 6***Medidas descriptivas del conteo vehicular en el mes de febrero*

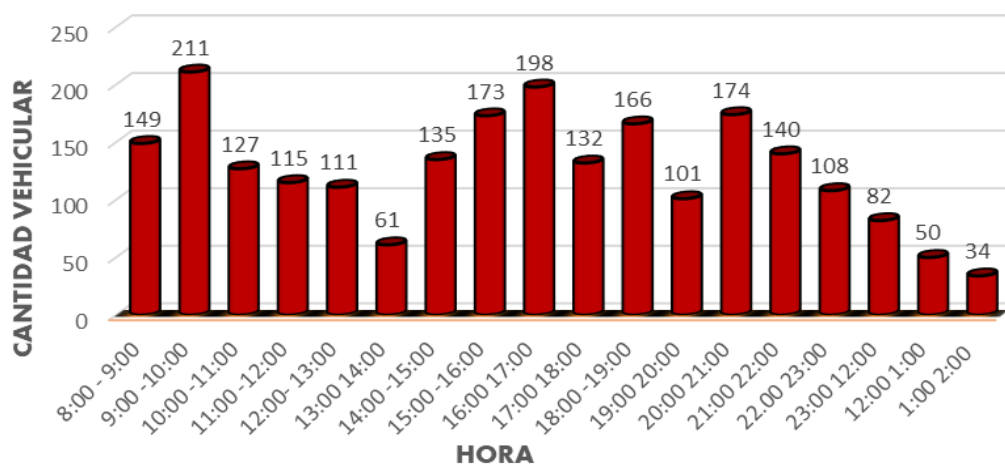
Número de vehículos en el punto uno	
Número de horas	18
Coefficiente de variación	41
Media	195
Mediana	205
Desviación estándar	80
Mínimo	44
Máximo	309

Se recopilaron 18 mediciones u observaciones del número de vehículos en el punto uno. En promedio, se registraron 195 vehículos. La mediana excede ligeramente al promedio, lo que sugiere una ligera asimetría negativa en la distribución de la frecuencia del volumen vehicular, es decir que presentan valores atípicamente bajos que están influyendo en la media. Con una desviación estándar de 80 indica una variabilidad considerable en los datos como se ilustra en la Figura 16. En términos generales, las observaciones individuales difieren en alrededor de 80 vehículos con respecto al promedio. El coeficiente de variación exhibiendo un valor alto superior al 30% refuerza la noción de una alta dispersión relativa, evidenciando la heterogeneidad de los datos en relación con el promedio, adicionalmente la identificación de los valores extremos (minio de 44 y máximo de 309) y la amplitud del rango observado consolidan la interpretación de un anotable variabilidad. En momentos específicos el conteo descendió hasta 44 vehículos, mientras que en otras ascendió hasta 309. La fluctuación en el número de vehículos en el punto 1 de interés exhibe una variabilidad significativa entre mediciones. A pesar de que el promedio se aproxima a 195, la magnitud de la desviación estándar y el coeficiente de variación sugieren una marcada dispersión de los datos, con registros que se sitúan considerablemente por debajo o por encima el valor promedio. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Alameda de las Cien ventanas.

**5.1.1.2. Flujo vehicular en la avenida Ferrocarril en febrero.** En la figura 19 muestra, a través de las barreras, la cantidad de vehículos que pasaron en diferentes momentos del día. La mayor cantidad de números vehiculares se observaron desde las 9:00 am hasta 10:00 am. Esto se relación con la salida del tren de Ollantaytambo para el distrito de Machupicchu, igualmente se observa en la tarde un aumento de número de vehículos de 16:00 pm hasta 17:00 pm , y en la noche se asocia a la llegada del tren a la estación ferroviaria de Ollantaytambo en los horarios de 20:00 pm hasta 21:00 pm.

**Figura 19**

*Conteo del flujo vehicular en el punto dos*



Se llevó a cabo un análisis descriptivo de la cantidad de vehículos en la avenida Ferrocarril en febrero , cuyos resultados se detallan en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Medidas descriptivas del conteo vehicular en el mes de febrero*

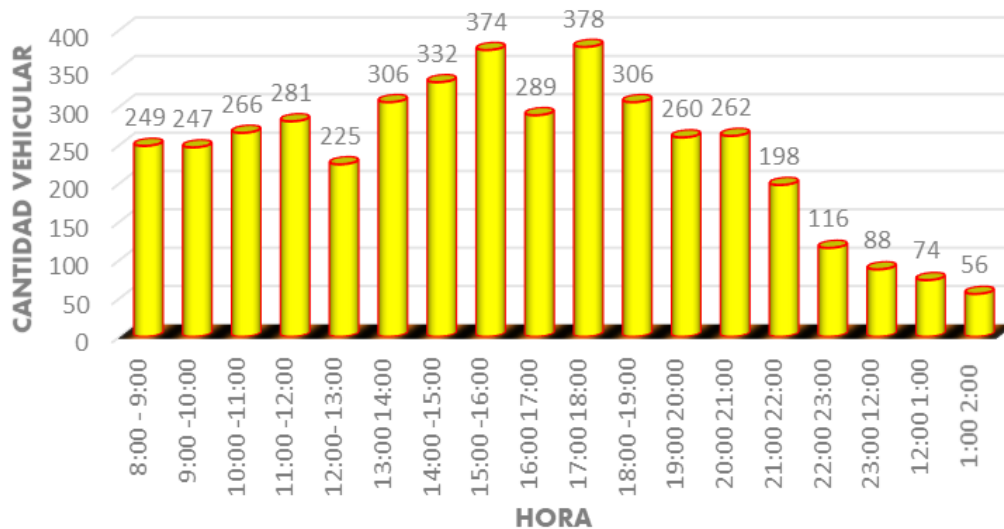
Número de vehículos en el punto dos	
Número de horas	18
Coefficiente de Variación	39
Media	126
Mediana	130
Desviación estándar	49
Mínimo	34
Máximo	211

Se tomaron 18 observaciones del flujo vehicular por hora. El coeficiente de Variación, un 39.02% nos revela una notable heterogeneidad en el conteo de vehículos. Un coeficiente elevado sugiere que los datos se distribuyan ampliamente en torno al promedio. La media aritmética del conteo es de 126 vehículos, mientras que la median se sitúa en el valor de 130. Esta ligera asimetría negativa donde la media podría indicar una distribución sesgada con una cola más pronunciada hacia valores inferiores. La Desviación Estándar es aproximadamente de 49, cuantifica la dispersión de los datos respecto a la media. En términos prácticos, esto implica una variabilidad considerable en el flujo vehicular horario. La cantidad mínimo de vehículos es de 34 y máximo 211 vehículos. Los datos de la Av. Ferrocarril en febrero muestran una variabilidad sustancial en el tráfico. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Ferrocarril. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Ferrocarril.

Flujo vehicular en la avenida Alameda de las cien Ventanas en marzo. En la figura 20, ilustra el flujo vehicular registrado en la Av. Alameda de las Cien Ventanas en marzo. Los datos relevan una dinámica horaria de distinta durante la mañana, entre las 8:00 de la mañana hasta las 12:00 de la tarde, se observa un flujo vehicular que oscilan desde 249 unidades hasta 281 unidades vehiculares. Por la tarde de las 13:00 de la tarde hasta 16:00 de la tarde, se identifica un incremento en el flujo, correlacionado con la llegada de los visitantes mediante los operadores turísticos al complejo arqueológico. El periodo de mayor intensidad en la noches se presentó entre 20:00 de la noches hasta 21:00, coincidiendo con el arribo del tren que sale del distrito de Machupichu llegando a la estación de trenes del distrito Ollantaytambo, posteriormente, se aprecia una disminución gradual del flujo vehicular a un mínimo de 56 unidades por hora.

**Figura 20**

Coteo del flujo vehicular en el punto uno



Se llevó a cabo un análisis descriptivo de la cantidad vehicular en el punto uno en marzo las cuales se puede visualizar en la tabla 8.

**Tabla 8**

Medidas descriptivas del conteo vehicular en marzo

Número de vehículos en el punto uno	
Número de horas	18
Coefficiente de Variación	41
Media	239
Mediana	261
Desviación estándar	98
Mínimo	56
Máximo	378

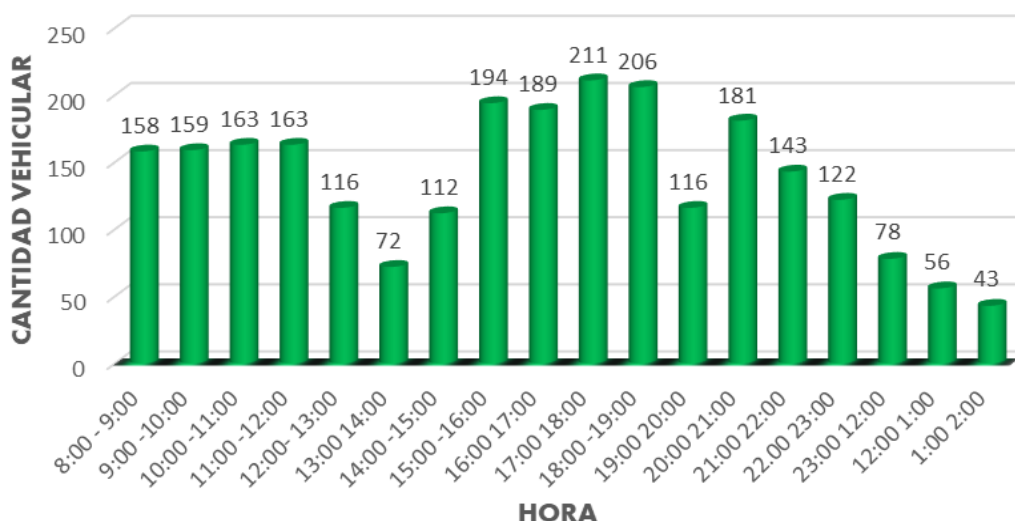
Se efectuaron 18 horas de conteo del flujo vehicular. El coeficiente de Variación resultante fue de 41 % lo que denota una alta dispersión en los datos registrados. La media aritmética del número de vehículos observados durante las dieciocho otras fue de 239 mientras que la mediana resulto 261, esta diferencia sugiere una posible asimetría negativa en la distribución de los datos, caracterizada por una cola larga hacia la izquierda. La desviación estándar, con un valor de 98, confirma la considerable dispersión de los datos en torno a la media. El valor mínimo

registrado fue de 56 vehículos, contrastando con un máximo de 378. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Alameda de las Cien Ventanas.

**5.1.1.3. Flujo vehicular avenida Ferrocarril en marzo.** La figura 21, presenta el comportamiento del flujo vehicular en el punto dos en marzo, los datos obtenidos revelan una dinámica diferenciada por franjas horarias, en el horario matutino comprende entre 8:00 de la mañana con 158 unidades vehiculares hasta las 12:00 de la tarde con 163. Durante la tarde a partir de la 15:00 de la tarde hasta las 19:00 de la noche, se observa un incremento en el flujo vehicular asociado al arribo y salida de los servicios de trenes en la estación. El periodo de mayor afluencia se identificó entre las 20:00 de la noche hasta 21:00 de la noche, coincidiendo con el arribo de los servicios de la empresa Perú Rail, del distrito de Machupicchu hacia la estación de Ollantaytambo. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Alameda de las Cien Ventanas.

**Figura 21**

*Conteo del flujo vehicular en el punto dos*



Se llevó a cabo un análisis descriptivo del conteo de unidades vehiculares en el punto dos en marzo los cuales están descritos en la tabla 9.

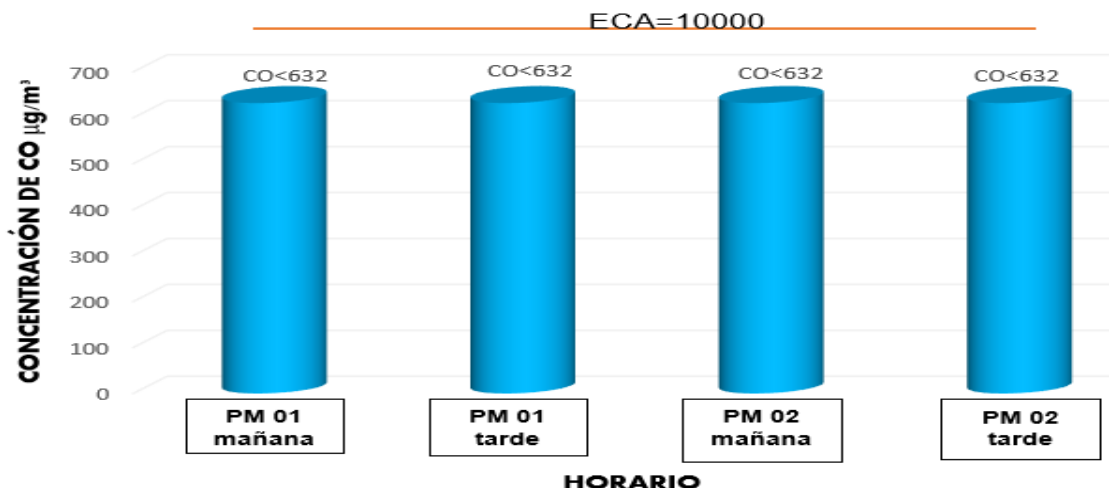
**Tabla 9***Medidas descriptivas del conteo en marzo*

Número de vehículos en el punto dos	
Número de horas	18
Coefficiente de Variación	37
Media	138
Mediana	151
Desviación estándar	52
Mínimo	43
Máximo	211

Se registraron 18 mediciones. El Coeficiente de Variación fue de 37%, lo que señala una variabilidad significativa en la cantidad de unidades vehiculares observados. La media se calculó en 138 vehículos mientras que el valor de la mediana fue de 151, lo que sugiere una ligera asimetría negativa en la distribución de frecuencias del conjunto de datos. La desviación estándar estimada en 52, corrobora una dispersión apreciable en torno al valor medio, el mínimo número de vehículos contabilizados fue de 43 en contraste con un máximo de 211 unidades vehiculares. Estos resultados muestran una condición representativa del flujo vehicular para la avenida Ferrocarril.

### 5.1.2. La Concentración de los gases contaminantes en el casco urbano

#### 5.1.2.1. Concentraciones del gas monóxido de carbono

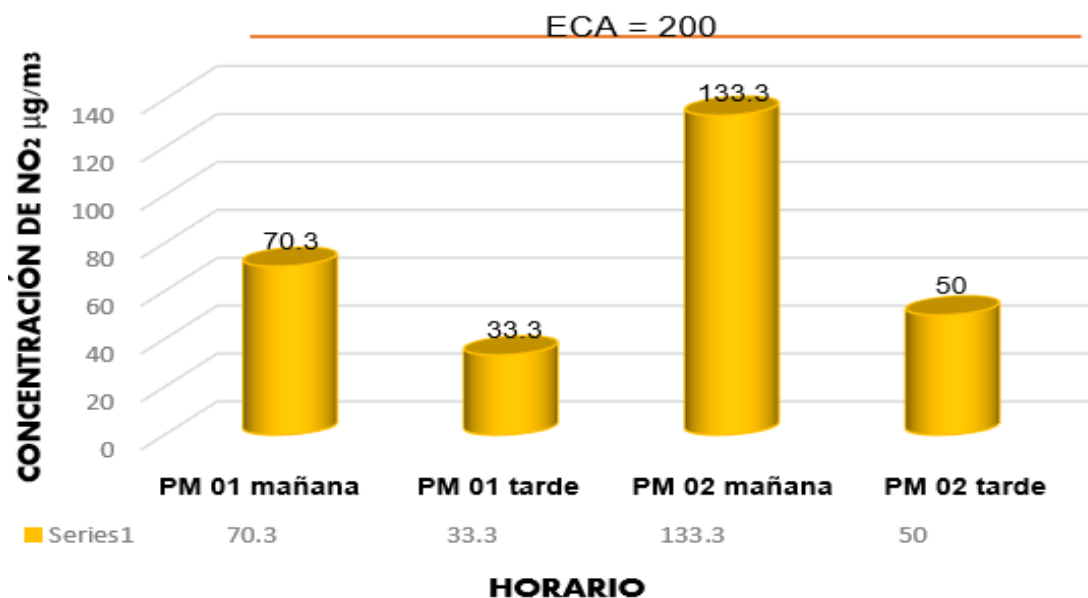
**Figura 22***Concentración de CO en febrero*

La figura 22, se presentan las concentraciones del CO obtenidas en el mes de febrero, en la mañana los monitoreos se realizaron desde las 9:00 de la mañana hasta 17:00 de la tarde en ambos puntos de monitoreo, en la tarde el monitoreo se realizó desde las 18:00 de la tarde hasta las 2:00 de la mañana del día siguiente, en ambos puntos de monitoreo. De acuerdo con los datos obtenidos representados en la figura, los niveles de CO registrados se encuentran significativamente por debajo de los límites establecidos por la reglamentación nacional (D.S. 003-2017 MINAM).

### 5.1.2.2. Concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en febrero

**Figura 23**

Concentración de NO<sub>2</sub> en febrero



En la figura 23, se presenta el análisis comparativo de la concentración NO<sub>2</sub> en dos estaciones de monitoreo, diferenciando los turnos matutino y vespertino, en la estación ubicada en la Av. Alameda de las Cien Ventanas, en el primer muestreo revelo una concentración de 70.8 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en el segundo muestreo evidencio una disminución en la concentración, registrada 33.3 µg/m<sup>3</sup>.

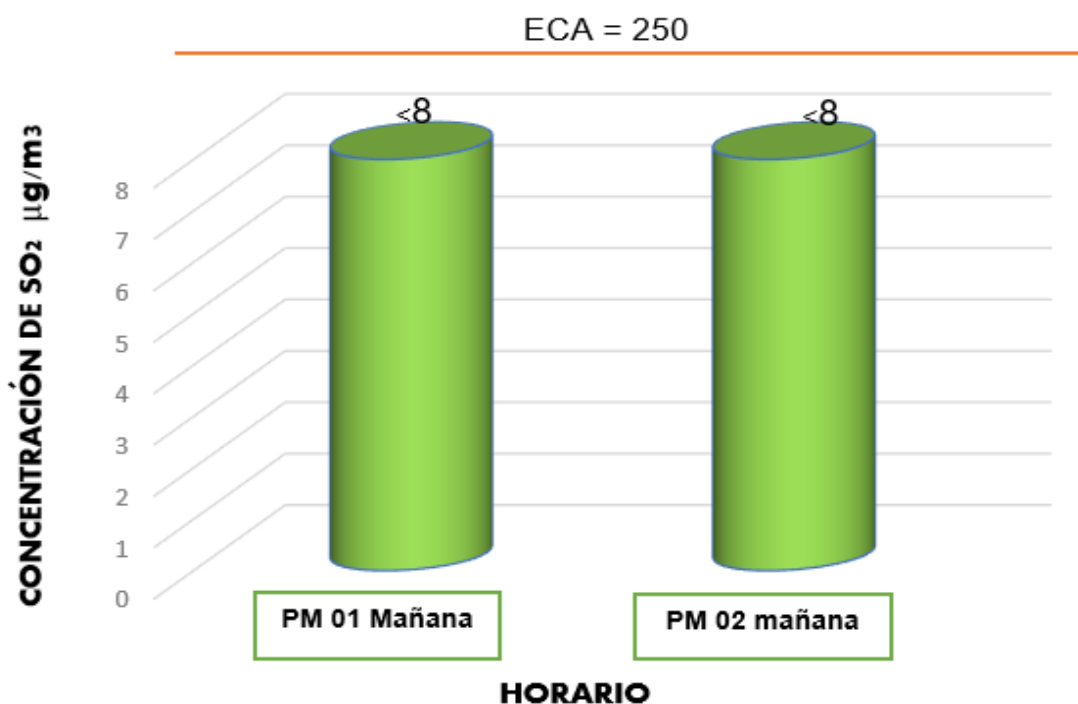
En contraste, la estación en la Av. Ferrocarril exhibió una mayor concentración de NO<sub>2</sub>, en el primer muestreo alcanzando 133.3 µg/m<sup>3</sup>. El segundo muestreo en la estación mostro una reducción en la concentración, con un valor 50

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Es importante destacar que en ambos puntos de monitoreo no sobrepasan los valores establecidos por el ECA, los hallazgos muestran que las concentraciones se ubican por debajo de los parámetros establecidos en la reglamentación nacional sobre calidad del aire (D.S. 003-2017 MINAM).

### 5.1.2.3. Concentración de dióxido de azufre $\text{SO}_2$ en febrero

**Figura 24**

*Concentración del  $\text{SO}_2$  en febrero*

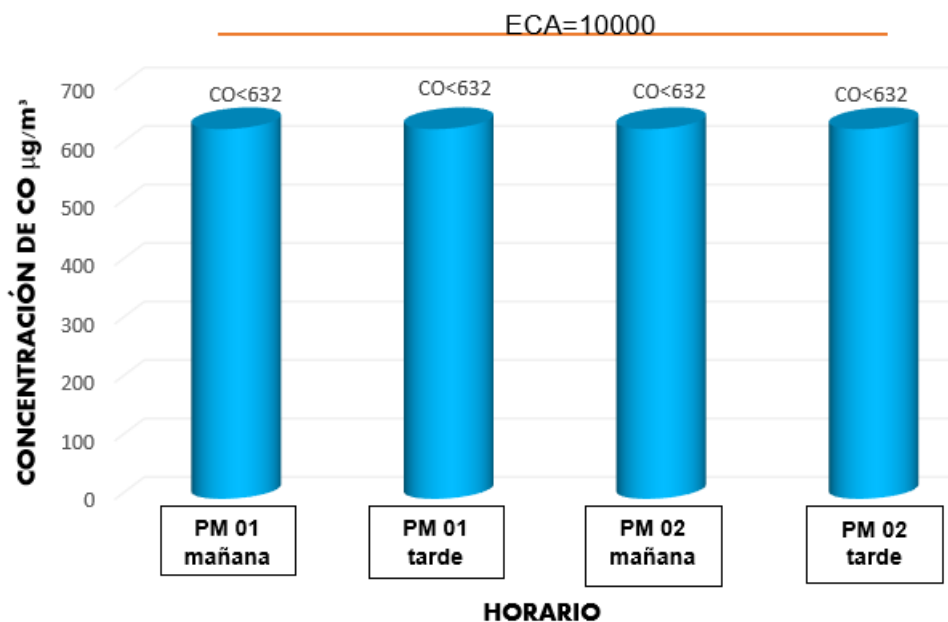


En la figura 24, ilustra los valores de concentración de  $\text{SO}_2$  obtenidos en diversos puntos de monitoreo. El monitoreo en la Avenida Alameda de las Cien Ventanas, se realizó desde las 9:00 de la mañana hasta las 9:00 de la mañana del día, como resultado se obtuvo una concentración menor a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De manera similar en el monitoreo de la avenida Ferrocarril se realizó desde las 9:00 de la mañana hasta las 9:00 de la mañana del día siguiente, como resultado la concentración menor a 8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en ambas avenidas los valores no exceden los parámetros contemplados en la regulación nacional para la calidad del aire (D.S. 003-2017 MINAM).

#### 5.1.2.4. Concentraciones de monóxido de carbono CO en marzo

**Figura 25**

Concentración del CO en marzo

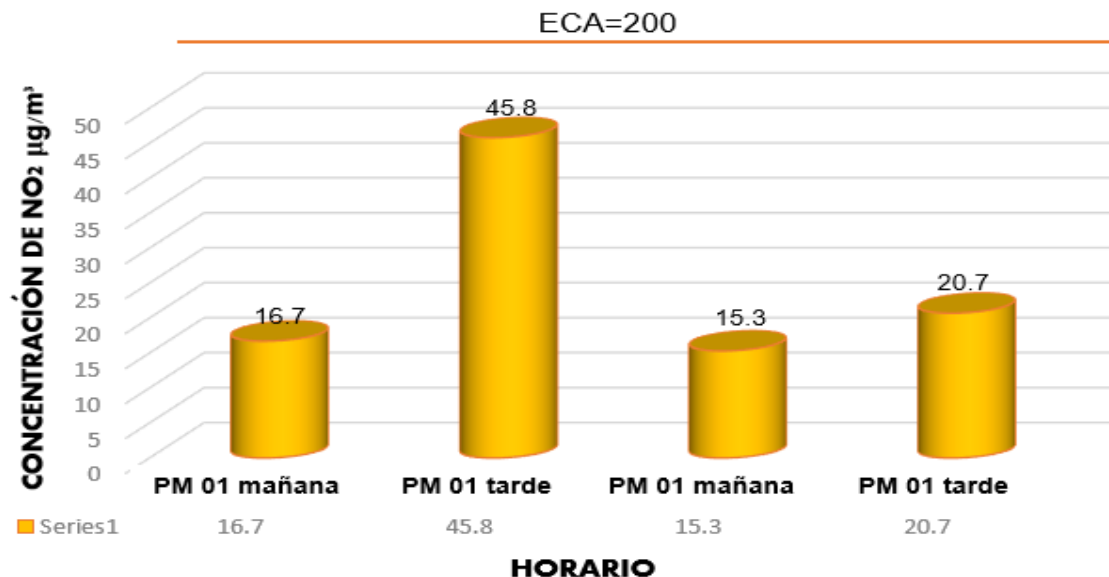


En la figura 25, se presentan los niveles de concentración del CO detectados en cada punto de monitoreo dentro de la zona urbana. En la Avenida Alameda de las Cien Ventanas, durante el primer muestreo durante el primer muestreo matutino (09:00 a 17:00), se cuantificó un valor inferior a 632 µg/m<sup>3</sup> similarmente, en el segundo muestreo vespertino (18:00 a 2:00 del día siguiente), se registró un valor también menor a 632 µg/m<sup>3</sup>. En la Avenida Ferrocarril, en el primer muestre matutino (09:00 a 17:00) resultó una valor inferior a 632 µg/m<sup>3</sup>, al igual que el segundo muestreo (18:00 pm hasta 2:00 am del día siguiente), se registró el valor inferior a 632 µg/m<sup>3</sup>. Se constato que los puntos de monitoreos no exceden los límites del Estándar de Calidad Ambiental. Los resultados indican que se mantienen por debajo de los parámetros fijados en la regulación peruana sobre calidad del aire (D.S. 003-2017 MINAM).

### 5.1.2.5. Concentraciones de dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> en marzo

**Figura 26**

Concentración de NO<sub>2</sub> en marzo



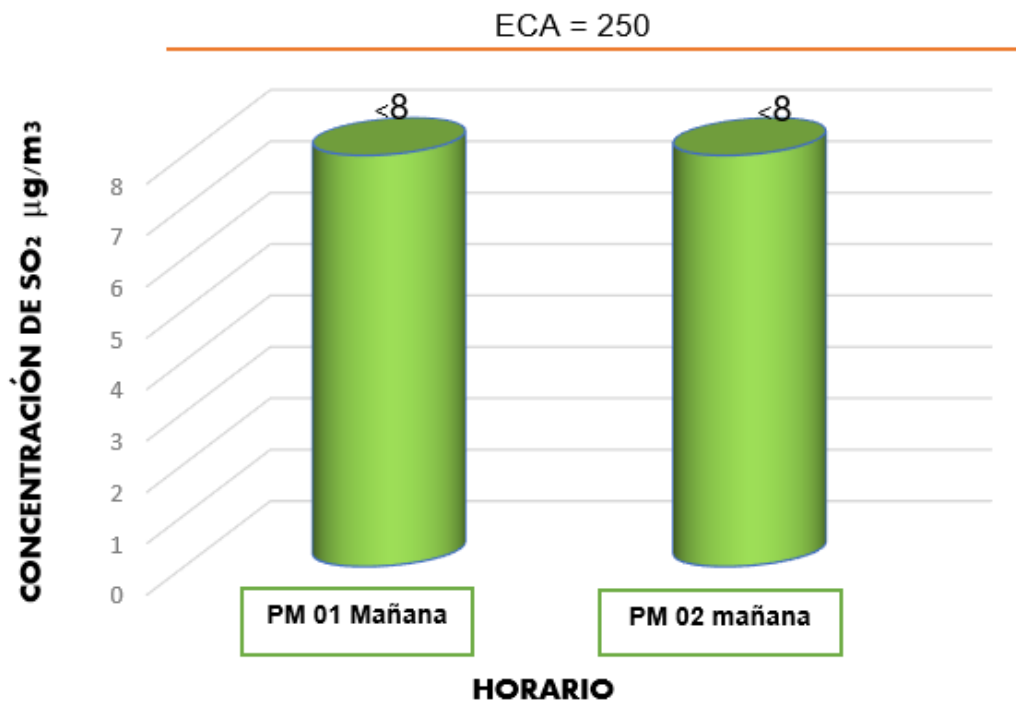
La figura 26, presenta un análisis comparativo de los análisis de las concentraciones del NO<sub>2</sub>. En la Avenida Alameda de las Cien Ventanas el punto de monitoreo uno se realizó en dos horarios, en el primer muestreo matutino de (9:00 am a 10:00 am) es de 16.7 µg/m<sup>3</sup>, mientras que en el horario nocturno de (20:00 pm a 21:00 pm) es de 45,8 µg/m<sup>3</sup>.

En la avenida Ferrocarril el punto de monitoreo dos, en el muestreo matutino de (9:00 am a 10:00 am) es de 15.3 µg/m<sup>3</sup>, y la concentración en el horario nocturno de (20:00 pm a 21:00 pm) se sitúa en 20.7 µg/m<sup>3</sup>. Estos resultados muestran variaciones en los niveles de NO<sub>2</sub> a lo largo del día, con un incremento notable durante la noche en el punto de monitoreo uno.

### 5.1.2.6. Concentraciones de dióxido de azufre SO<sub>2</sub> en marzo

**Figura 27**

Concentración del SO<sub>2</sub> en marzo



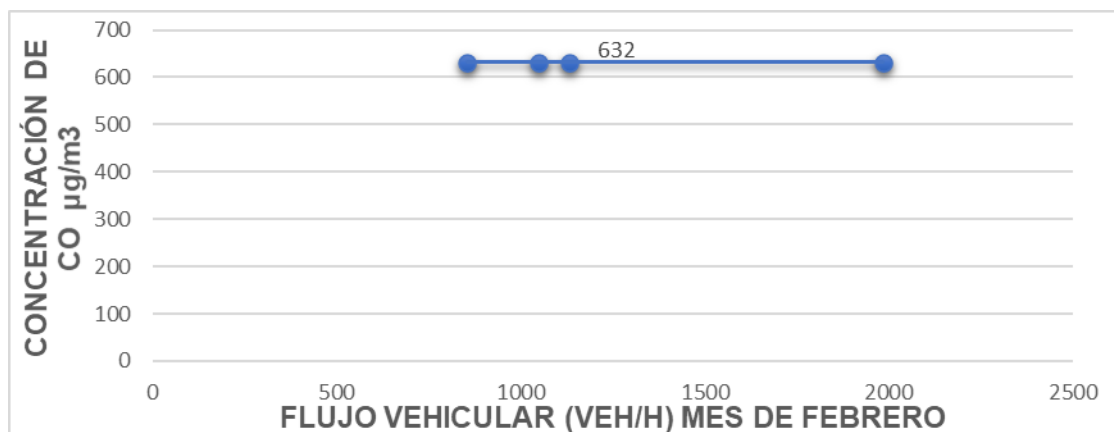
La figura 27, presenta los resultados de las evaluaciones de los niveles de SO<sub>2</sub> en las dos avenidas con mayor flujo vehicular en el distrito de Ollantaytambo. En la Avenida Alameda de las Cien Ventanas el punto de monitoreo uno. Comenzando en el horario de (9:00 am hasta 9:00 am del día siguiente), se detectó una concentración inferior a 8 µg/m<sup>3</sup>. En la Avenida Ferrocarril el punto de monitoreo, comenzó a las (9:00 am a 9:00 am del día siguiente), se registró una valor inferior a 8 µg/m<sup>3</sup>, en ambas avenidas del distrito los niveles de SO<sub>2</sub> se mantienen dentro de los valores dispuestos en la normativa vigente de calidad del aire (D.S. 003-2017 MINAM).

### 5.1.3. Relación del flujo vehicular y el nivel de concentración de los gases

#### 5.1.3.1. La concentración de CO y el flujo vehicular en febrero

**Figura 28**

*Relación de la concentración CO y el flujo vehicular*



En la Figura 28 presenta la comparación entre el flujo vehicular y los niveles de monóxido de carbono en los horarios de la matutino y vespertino en los puntos de monitoreos. Los resultados indican que no existe una asociación directa entre ambas variables, ya que la concentración de CO resulto inferior a 632 µg/m<sup>3</sup>.

#### 5.1.3.2. La concentración de NO<sub>2</sub> y el flujo vehicular en febrero

**Tabla 10**

*Valores numéricos de la concentración de NO<sub>2</sub> y flujo vehicular en febrero*

<b>Medida Numéricas de la relación en febrero</b>			
	Media	Desv. Desviación	N
Concentración de NO <sub>2</sub>	72	44	4
Flujo vehicular	191	17	4

Tabla 10, el análisis descriptivo revela en el mes de febrero, la concentración media del dióxido de nitrógeno alcanzo los 72 µg/m<sup>3</sup>, acompañada de un desviación estándar de 44, este valor sugiere un considerable dispersión en las mediciones obtenidas a los largo de las cuatro observaciones realizadas. En contraposición, el

flujo vehicular promedio fue de 191 vehículos, con una desviación estándar de 17, lo cual denota una mayor heterogeneidad en los datos vehiculares respecto a la concentración del dióxido de nitrógeno.

***Demostración de normalidad*** . En el presente análisis se evalúa la relación entre dos variables medidas durante el mes de febrero.

X: Número de vehículos monitoreados.

Y: Concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el ambiente.

Para ello utilizaremos R-Studio, implementando la prueba de normalidad Shapiro–Wilk, la cual es apropiada para muestras pequeñas.

**mes de febrero:**

```
X <- c(197, 180, 211, 174)
```

```
Y <- c(70.8, 33.3, 133.3, 50)
```

```
shapiro.test(X)
```

```
data: X
```

```
W = 0.94489, p-value = 0.6843
```

```
shapiro.test(Y)
```

```
data: Y
```

```
W = 0.9077, p-value = 0.4703
```

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk aplicada a ambas variables en R estudio, se obtuvo un p-valor mayor a 0.05 tanto para el número de vehículos monitoreados (X) como para la concentración de NO<sub>2</sub> (Y). Esto indica que no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis de normalidad en ninguno de los conjuntos de datos analizados.

**Tabla 11**

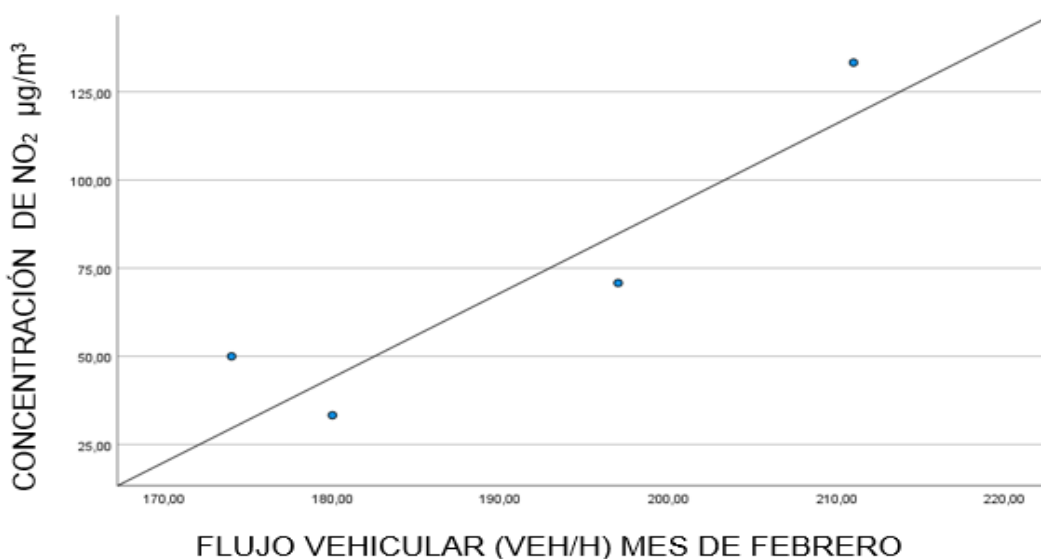
*Matriz de correlaciones de la concentración de NO<sub>2</sub> en el mes de febrero*

<b>Correlación estadística</b>			
		Concentración del dióxido de nitrógeno	Flujo vehicular
Correlación de Pearson	Concentración del dióxido de nitrógeno	1.000	0.916
	Flujo vehicular	0.916	1.000
Sig. (unilateral)	Concentración de NO <sub>2</sub>		0.042
	Flujo vehicular	0.042	
N	Concentración de NO <sub>2</sub>	4	4
	Flujo vehicular	4	4

La tabla 11 muestra el análisis de correlación de Pearson entre la concentración de NO<sub>2</sub> y el volumen de flujo vehicular, donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.916, evidenciando una relación lineal positiva de magnitud muy elevada entre ambas variables. Asimismo, el valor de significancia unilateral ( $p = 0.042$ ) se encuentra por debajo del umbral de 0.05, lo que confirma que la relación es estadísticamente válida. Estos hallazgos, son basados en los datos de 4 observaciones muestrales, se concluye que el aumento en el volumen del flujo vehicular está vinculado con un incremento en la concentración de NO<sub>2</sub> en dicho

**Figura 29**

*Relación entre concentración de dióxido de nitrógeno y el flujo vehicular*



periodo analizado.

**Tabla 12**

*Coefficiente de correlación de la concentración de NO<sub>2</sub> en febrero*

<b>Resumen</b>				
Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Error estándar de la estimación
1	,916 <sup>a</sup>	0.840	0.759	8.23060

*Nota:* \*a. Predictores: (Constante), Flujo vehicular en el mes de febrero

Tabla 12, presenta un resumen de los modelos de regresión lineal. Se observa una correlación significativa  $R = 0.916$ , la concentración del dióxido de nitrógeno y el flujo vehicular en febrero. El coeficiente de  $R^2$  es de 0.840 sugiere que el 84% de la varianza en la concentración de NO<sub>2</sub> puede ser explicada por las variaciones en el volumen del flujo vehicular. Adicionalmente el  $R^2$  ajustado, con un valor de 0.759, que toma en cuenta el tamaño muestral, confirma un ajuste adecuado del modelo.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza de la concentración de NO<sub>2</sub>*

<b>Análisis de varianza ANOVA</b>					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	710	1	710	10.8	,084 <sup>b</sup>
<sup>1</sup> Residuo	135	2	68		
Total	845	3			

En la tabla 13, exhibe el análisis ANOVA aplicando el modelo de regresión, revelando un estadístico F calculado es 10.8, lo que sugiere una capacidad explicativa considerable del modelo. No obstante el valor de significancia  $p = 0.084$  excede el umbral de 0.05, lo que implica que, la relación no alcanza significancia estadística al nivel convencional del 5%, posiblemente condicionado por las limitaciones inherente al tamaño muestral.

**Tabla 14**

*Coefficientes del modelo de regresión de la concentración de NO<sub>2</sub>*

<b>Coefficientes del modelo de regresión</b>					
Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desv. Error	Beta		
(Constante)	165	8.824		18.727	0.003
1 Flujo vehicular en febrero	0.352	0.109	0.916	3.236	0.084

En la tabla 14, se presenta los parámetros del modelo regresión, específicamente la constante del modelo es 165. Por otro lado, el coeficiente de la variable flujo vehicular es de 0.352, lo que sugiere que por cada incremento unitario en el flujo vehicular se observa un aumento de 0.352 unidades en la concentración del dióxido de nitrógeno.

El modelo planteado para describir la relación entre la concentración de NO<sub>2</sub> (variable dependiente Y) y el número de vehículos monitoreados (variable independiente X) es el siguiente:

$$Y = a + bX$$

A partir de los datos analizados, se obtuvo la siguiente ecuación de regresión:

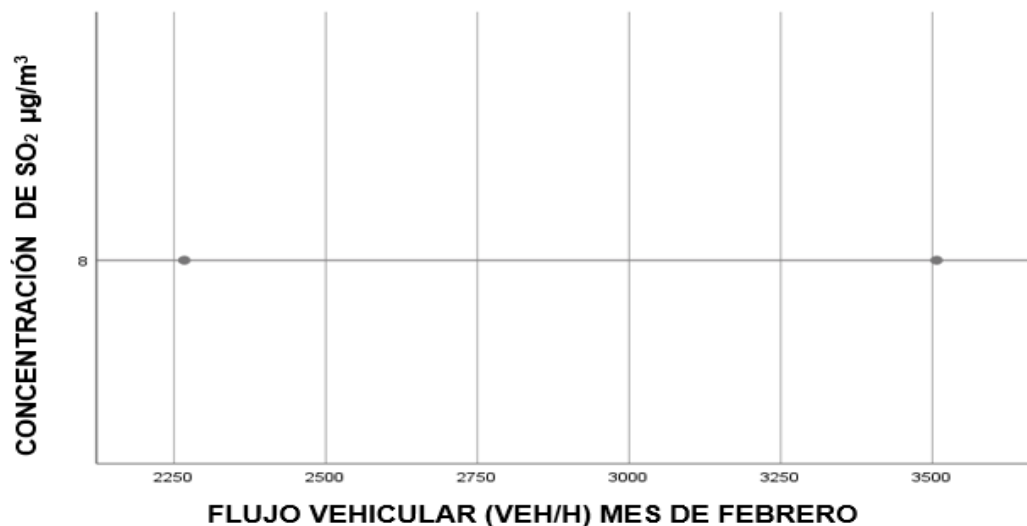
$$y = 165 + 0.352x \dots\dots\dots (1)$$

Esta expresión indica que, según el modelo ajustado, por cada unidad adicional en el número de vehículos, la concentración estimada de NO<sub>2</sub> aumenta en 0.352 unidades, manteniéndose constante el resto de factores.

### 5.1.3.3. La Concentración de SO<sub>2</sub> y el flujo vehicular en febrero

**Figura 30**

*Relación entre la concentración del SO<sub>2</sub> y el flujo vehicular*

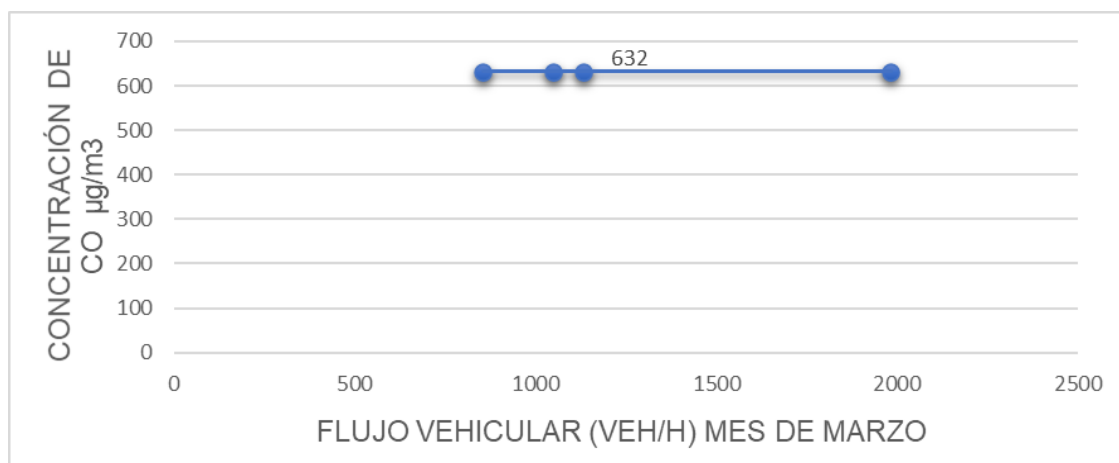


En la figura 30 se observa la relación entre el flujo vehicular y las concentraciones de SO<sub>2</sub> en ambos puntos de muestreo. Los resultados no evidencian una correlación significativa, debido a que los valores de dióxido de azufre no pudieron ser calculables.

### 5.1.3.4. La Concentración de CO y el flujo vehicular en marzo

**Figura 31**

*Relación entre la concentración del CO y el flujo vehicular*



La figura 31 presenta la relación entre el tránsito vehicular y los niveles de monóxido de carbono durante los horarios de matutino y vespertino en los dos puntos

de muestreo. Los resultados indican que no se identificó una correlación directa, ya que las concentraciones de CO no fueron calculables.

### 5.1.3.5. La concentración de NO<sub>2</sub> y el flujo vehicular en marzo

**Tabla 15**

*Estadísticos descriptivos de la concentración de NO<sub>2</sub> en marzo*

<b>Estadísticos descriptivos</b>			
	Media	Desv. Desviación	N
Concentración de NO <sub>2</sub>	25	14	4
Flujo vehicular	212	50	4

En la tabla 15, se observa el análisis descriptivo correspondiente de marzo, revelando que concentración media del dióxido de nitrógeno es de 25 µg/m<sup>3</sup>, con una desviación estándar de 14 µg/m<sup>3</sup>, este indicador estadístico evidencia una elevada variabilidad niveles registrados. Con respecto al volumen del flujo vehicular, se determinó un promedio de 212 vehículos, y la desviación estándar de 50, reflejando una dispersión en el número de vehículos.

**Demostración de Normalidad.** En el presente análisis se evalúa la relación entre dos variables medidas durante el mes de marzo:

X: Número de vehículos monitoreados.

Y: Concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el ambiente.

Para ello utilizaremos R-Studio, implementando la prueba de normalidad Shapiro–Wilk, la cual es apropiada para muestras pequeñas.

**mes de marzo:**

```
X <- c(247, 262, 159, 181)
```

```
Y<- c(16.7, 45.8, 15.3, 20.7)
```

```
shapiro.test (X)
```

```
data: X
```

W = 0.89206, p-value = 0.3927

shapiro.test (Y)

data: Y

W = 0.76233, p-value = 0.05004

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk aplicada a ambas variables en R estudio, se obtuvo un p-valor mayor a 0.05 tanto para el número de vehículos monitoreados (X) como para la concentración de NO<sub>2</sub> (Y). Esto indica que no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis de normalidad en ninguno de los conjuntos de datos analizados.

### **Tabla 16**

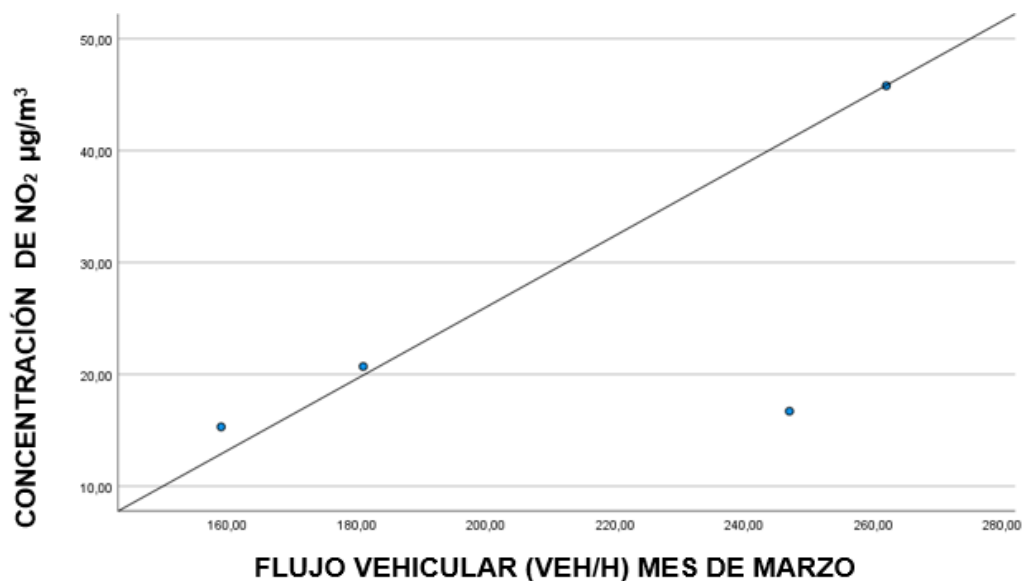
*Matriz de correlaciones de la concentración de NO<sub>2</sub> en el mes de marzo*

<b>Correlaciones</b>			
		Concentración de NO <sub>2</sub> en el mes de marzo	Flujo vehicular en el mes de marzo
Correlación de Pearson	Concentración del dióxido de nitrógeno	1.000	0.652
	Flujo vehicular	0.652	1.000
Sig. (unilateral)	Concentración del dióxido de nitrógeno		0.174
	Flujo vehicular en el mes de marzo	0.174	
N	Concentración del dióxido de nitrógeno	4	4
	Flujo vehicular	4	4

La tabla 16 muestra la correlación de Pearson entre la concentración de NO<sub>2</sub> y el flujo vehicular en marzo que se analizó, obteniéndose un coeficiente de 0.652, lo que refleja una correlación positiva de carácter moderado entre las dos variables. No obstante, el valor de significancia unilateral ( $p = 0.174$ ) supera el umbral de 0.05, indicando que la relación no alcanza significancia estadística al 95% de confianza. En consecuencia, aunque se observa una correlación moderada, no es posible afirmar que el flujo vehicular tenga una influencia significativa sobre la concentración de NO<sub>2</sub> durante marzo.

**Figura 32**

Relación entre la concentración de dióxido de nitrógeno y el flujo vehicular

**Tabla 17**

Coefficiente de correlación de la concentración de NO<sub>2</sub> en el mes de marzo

Resumen				
Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Error estándar de la estimación
1	,652 <sup>a</sup>	0.425	0.137	46.43618

Nota: a. Predictores: (Constante), Flujo vehicular en marzo

En la tabla 17, resumen los resultados del modelo de regresión, donde se puede ver el coeficiente de correlación  $R = 0.652$  indica una asociación moderada y positiva entre la concentración del dióxido de nitrógeno y el volumen del flujo vehicular en marzo. El coeficiente de determinación  $R^2 = 0.425$  revela que aproximadamente el 42.5% de la variabilidad observada en la concentración del dióxido de nitrógeno puede ser atribuida por el volumen del flujo vehicular.

**Tabla 18**

*Análisis de varianza de la concentración de NO<sub>2</sub> en marzo*

<b>Análisis de varianza ANOVA</b>					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	3182	1	3182	1.48	,348 <sup>b</sup>
1 Residuo	4313	2	2156		
Total	7495	3			

En la Tabla 18, se observa el análisis de varianza ANOVA del modelo de regresión, cuyo valor de significancia ( $p = 0.348$ ) es superior al umbral de 0.05, lo cual indica que el flujo vehicular no ejerce un efecto estadístico significativo sobre la concentración del dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> en marzo.

**Tabla 19**

*Coefficientes del modelo de regresión de la concentración de NO<sub>2</sub>*

<b>Coefficientes</b>					
Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Desviación . Error	Beta		
1 (Constante)	156	52		3.022	0.094
Flujo vehicular	2.3	1.9	0.652	1.22	0.348

En La Tabla 19, se exhibe los coeficientes del modelo de regresión lineal, donde el intercepto es de 156 y la pendiente es de 2.3. Esto indica que, a medida que el flujo vehicular se incrementa, la concentración del dióxido de nitrógeno experimentara un aumento de 2.3 unidades por cada unidad adicional en el flujo vehicular.

El modelo planteado para describir la relación entre la concentración de NO<sub>2</sub> (variable dependiente Y) y el número de vehículos monitoreados (variable independiente X) es el siguiente:

$$Y = a + bX$$

A partir de los datos analizados, se obtuvo la siguiente ecuación de regresión:

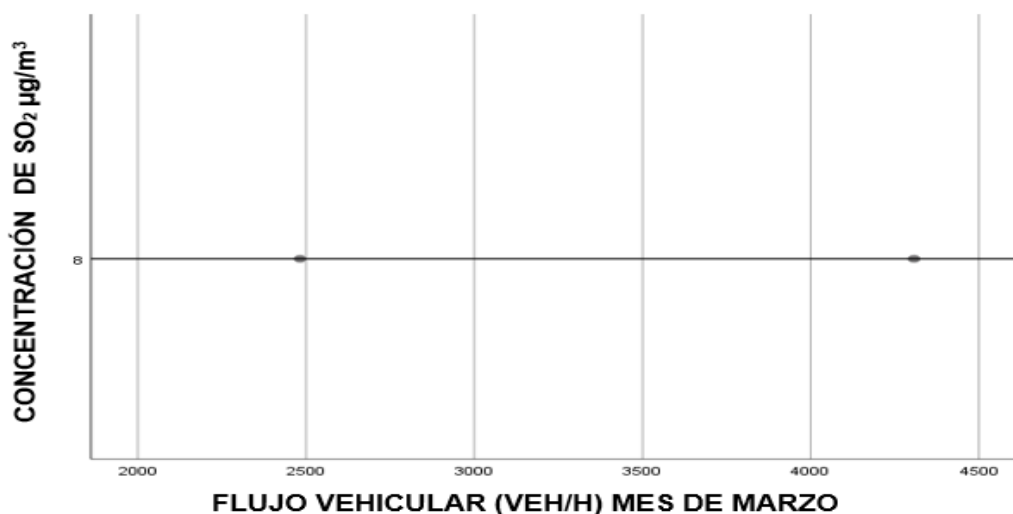
$$y = 156 + 2.3x \dots\dots\dots (2)$$

Esta expresión indica que, según el modelo ajustado, por cada unidad adicional en el número de vehículos, la concentración estimada de NO<sub>2</sub> aumenta en 2.3 unidades, manteniéndose constante el resto de factores.

#### 5.1.3.6. La Concentración de SO<sub>2</sub> y el flujo vehicular en marzo

**Figura 33**

*Relación entre la concentración del SO<sub>2</sub> y el flujo vehicular*



En la figura 33, se examina la relación entre el flujo vehicular y las concentraciones de SO<sub>2</sub> en los puntos de monitoreo considerados. No se encontró evidencia de asociación, puesto que los valores de dióxido de azufre no pudieron ser calculables.

#### 5.1.4. Prueba de hipótesis

**5.1.4.1. Conteo del Flujo Vehicular en el Punto de Monitoreo uno.** Antes de comparar las concentraciones de PM1 entre febrero y marzo mediante un t-test de dos muestras, es importante verificar si los datos de cada mes siguen una distribución aproximadamente normal.

PM01\_febr<c(234,197,189,212,235,246,308,309,288,239,256,167,180,140,121,87,55,44)

PM01\_marz<c(249,247,266,281,225,306,332,374,289,378,306,260,262,198,116,88,74,56)

Shapiro. Test (PM1\_febr)

data: PM 01\_febr

W = 0.95082, p-value = 0.4381

Shapiro. Test (PM01\_marz)

data: PM 01\_marz

W = 0.91217, p-value = 0.09397

Se evaluó la normalidad de los datos de concentraciones de PM 01 en febrero y marzo mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados indicaron que ambos conjuntos de datos cumplen con el supuesto de normalidad.

Var.Test (PM1\_FEBR, PM 01\_marz)

F test to compare two variances

data: PM1\_febr and PM 01\_marz

F = 0.67789, num df = 17, denom df = 17, p-value = 0.4311

Esto significa que no hay evidencia suficiente para decir que las varianzas sean diferentes, por lo que puedes asumir que las varianzas son iguales y usar la t de Student con varianzas iguales (var.equal = TRUE). Con todo ello realizamos la prueba de T de estuden de dos poblaciones

t.test (PM1\_febr, PM1\_marz, var.equal = TRUE)

Two Sample t-test

data: PM1\_febr and PM 01\_marz

t = -1.492, df = 34, p-value = 0.1449

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval:

-104.98035 16.09146

sample estimates:

mean of x mean of y

194.8333 239.2778

Como el p-valor obtenido (0.1449) es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que no hay evidencia estadísticamente significativa de que el número de vehículos en febrero sea diferente al de marzo en el punto de monitoreo 01.

**5.1.4.2. Conteo del Flujo Vehicular en el Punto de Monitoreo dos.** Antes de comparar las concentraciones de PM 02 entre febrero y marzo mediante un t-test de dos muestras, es importante verificar si los datos de cada mes siguen una distribución aproximadamente normal.

```
PM 02_febr <- c(149, 211, 127, 115, 111, 61, 135, 173, 198, 132, 166, 101, 174, 140,
108, 82, 50, 34)
```

```
PM 02_marz <- c(158, 159, 163, 163, 116, 72, 112, 194, 189, 211, 206, 116, 181,
143, 122, 78, 56, 43)
```

Shapiro - Test (PM2\_febr)

data: PM 02\_febr

W = 0.98033, p-value = 0.9533

Shapiro - Test(PM 02\_marz)

data: PM 02\_marz

W = 0.94767, p-value = 0.3896

Se evaluó la normalidad de los datos de concentraciones de PM 01 en febrero y marzo mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados indicaron que ambos conjuntos de datos cumplen con el supuesto de normalidad.

Se observa la homogeneidad de varianzas

```
var.test(PM 02_febr, PM 02_marz)
```

F test to compare two variances

data: PM2\_febr and PM 02\_marz

F = 0.90723, num df = 17, denom df = 17, p-value = 0.8432

Esto significa que no hay evidencia suficiente para decir que las varianzas sean diferentes, por lo que puedes asumir que las varianzas son iguales y usar la t de Student con varianzas iguales (var.equal = TRUE). Con todo ello realizamos la prueba de T de student de dos poblaciones

```
t.test(PM 02_febr, PM2_marz, alternative = "two.sided", var.equal = TRUE)
```

Two Sample t-test

data: PM 02\_febr and PM2\_marz

t = -0.71116, df = 34, p-value = 0.4818

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0 95 percent

confidence interval: -46.07731 22.18842

sample estimates: mean of x mean of y

125.9444 137.8889

Como el p-valor obtenido (0.4818) es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que no hay evidencia estadísticamente significativa de que el número de vehículos en febrero sea diferente al de marzo en el punto de monitoreo 02.

**5.1.4.3. La concentración del Dióxido de Nitrógeno.** Se llevaron a cabo inferencias estadísticas concernientes a la concentración de NO<sub>2</sub>. Inicialmente, se empleó las pruebas t para muestra única, con el objetivo de comparar los niveles medios del contaminantes ,con los limites regulatorios establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental del aire (ECA). Posteriormente, se efectuaron pruebas de t para muestras independientes, destinadas a contrastar las medias de concentración del NO<sub>2</sub> , en febrero y marzo, este análisis busco identificar si existen variaciones estadísticamente relevantes en la concentración del gas entre ambos meses.

Adicionalmente, se efectuó una análisis estadístico específico focalizado en la concentración del dióxido de nitrógeno durante febrero, con el objetivo de establecer si presenta tendencias estadísticamente significativas al compararlos con los valores de referencia. Este ejercicio contribuye profundizar la comprensión de la

variabilidad de los contaminantes y su potencial vinculación con factores como el volumen vehicular en tránsito durante estos períodos. Las hipótesis formuladas son:  
 $H_0$ : el nivel promedio de dióxido de nitrógeno correspondiente al mes de febrero es igual a 200

$H_1$ : el nivel promedio de dióxido de nitrógeno correspondiente al mes de febrero es diferente a 200

Previo a la implementación de procedimientos estadísticos paramétricos, es requisito indispensable validar el cumplimiento con el supuesto de normalidad.

### **Tabla 20**

#### *Prueba de normalidad en febrero*

<b>Prueba de normalidad</b>			
	Estadístico	Shapiro-Wilk gl	Sig.
concentración de NO <sub>2</sub> en febrero	0.908	4	0.470
a. Corrección de Lilliefors para significancia.			

La tabla 20 exhibe los resultados del test de Shapiro-Wilk aplicado a los valores de NO<sub>2</sub> registrados en febrero, la cual arrojo un p-valor de 0.470, superando el umbral de significancia estadístico de 0.05. Este hallazgo implica que la hipótesis nula no puede ser rechazada, lo que sugiere que los datos se ajustan a una distribución normal y no se identifica evidencia estadística que indique una desviación respecto a la normalidad.

### **Tabla 21**

#### *Prueba para nivel del dióxido de nitrógeno en febrero*

<b>Prueba para una muestra</b>						
Valor de prueba = 200						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de NO <sub>2</sub> en febrero	-8.145	3	0.004	-178	-247.76	-108.54

Los resultados en la tabla 21, evidencian que el nivel promedio del dióxido de nitrógeno en febrero es significativamente inferior al valor de referencia de 200, con una diferencia media estimada de 178 unidades. El intervalo de confianza del 95 % no incluye el valor cero ni el umbral de referencia, lo que confirma la significancia de esta reducción. Este hallazgo indica una disminución en la concentración del contaminante, lo que sugiere una mejora en la calidad del aire para dicho periodo.

De manera consistente, se realizó el mismo procedimiento analítico para la concentración del dióxido de nitrógeno en el mes de marzo, con el fin de evaluar la existencia de la divergencia significativa respecto al valor de referencia 200. Este paso permitirá comparar con el mes de febrero.

las hipótesis planteadas son:

$H_0$ : el nivel promedio de  $\text{NO}_2$  en el mes de marzo es igual a 200

$H_1$ : el nivel promedio de  $\text{NO}_2$  en el mes de marzo es diferente a 200

Previa a la ejecución cualquier análisis estadístico paramétrico, se requiere constatar que los datos al nivel de dióxido de nitrógeno en marzo satisfacen el criterio de cumplen normalidad. En consecuencia, se aplicará la prueba de Shapiro-Wilk.

## Tabla 22

### *Prueba de normalidad en marzo*

<b>Prueba de normalidad</b>			
		Shapiro-Wilk	
	Estadístico	gl	Sig.
Nivel de $\text{NO}_2$ en marzo	0.762	4	0.050
a. Corrección de significación de Lilliefors			

La tabla 22 presenta los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk aplicada a los valores del dióxido de nitrógeno en marzo, la cual arrojó un p-valor de 0.050, situado en el umbral del nivel de significancia de 0.05. Este resultado sugiere que la evidencia para refutar la hipótesis nula de normalidad es limitada, por lo que no es posible asegurar que los datos se desvíen de una distribución normal. En

consecuencia, se puede inferir que los valores analizados se ajustan de manera aproximada al supuesto de normalidad.

**Tabla 23**

*Prueba para nivel del dióxido de nitrógeno en marzo*

Concentración del NO <sub>2</sub>	Prueba para una muestra				
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia entre medias	intervalo de confianza 95% para la diferencia L. Inferior    L. Superior
	-31.52	3	0.000	225.37	248.13    -202.62

En la tabla 23, la prueba t de Student, aplicada a la concentración del gas, reporto un estadístico de -31.52 con 3 grados de libertad y un valor p bilateral de 0.000, lo que muestra una diferencia estadísticamente alta significativa respecto al valor de referencial de 200. La diferencia media estimada fue -225.37, el intervalo de confianza del 95% para dicha diferencia se ubicó entre -248.13 y -202.62, dado que este intervalo no incluye el valor cero ni el umbral de 200, se confirma que la media poblacional de la concentración dióxido de nitrógeno en marzo es significativamente inferior al valor de referencia. Este hallazgo indica que la concentración promedio de contaminante durante el mes de marzo es sustancialmente menor relevante en la calidad del aire para el periodo analizado.

## 5.2. Discusión de Resultados

✓ Los hallazgos sobre la relación entre el flujo vehicular y la concentración de los gases CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire muestran que, en el primer monitoreo, se identificó una asociación significativa entre el flujo vehicular y el NO<sub>2</sub>, alcanzando un 84 %, mientras que para el CO y el SO<sub>2</sub> no se evidenció relación positiva. En el segundo monitoreo, la conexión del flujo vehicular con el NO<sub>2</sub> fue moderada, con un 42.5 %, los otros contaminantes (CO y SO<sub>2</sub>) no presentaron una relación con el flujo vehicular. Estos resultados coinciden con lo planteado por Esteban (2021), quien encontró que el flujo vehicular influye en la calidad del aire a través del NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, reportando correlaciones moderadas del 61.4 % en el primer monitoreo y del 82.6 % en el segundo. De manera similar, Limas (2016) señaló que el flujo vehicular impacta de forma directa en el contaminante NO<sub>2</sub>; sin embargo, en el caso del SO<sub>2</sub> no se halló evidencia de una relación significativa con la cantidad de vehículos.

✓ El resultado primario de la evaluación la tasa del flujo vehicular en los dos puntos de monitoreos comenzando con la Av. Alameda de las Cien Ventanas y segundo punto de monitoreo en la Av. Ferrocarril, durante los meses febrero y marzo, se registró la contabilización de las cantidad vehicular empezando a las desde las 8:00 am a 2:00 am del día siguiente, cumpliendo con las horas monitoreadas a los gases. Este estudio presenta similitud con (Celiz y Chura, 2024), quienes realizaron el conteo de las unidades vehiculares (v/h) en octubre. la avenida Industrial el punto de monitoreo uno y la Avenida Hipólito Unanue punto de monitoreo dos, los conteos realizados cumplieron las 8 horas al igual que el gas según normativa. La metodología utilizada es validada por los autores que de manera similar determinaron la cantidad del flujo vehicular y el gas monitoreado, cumpliendo con el horario del monóxido de carbono.

✓ En cuanto a los resultados del monóxido de carbono (CO), se registró un valor menor a 632 µg/m<sup>3</sup>, mintiéndose dentro de los rangos permisibles durante ambos meses de monitoreo que se realizó. Este hallazgo se alinea con el estudio de (Trelles, 2018) quien realizo la investigación del Monóxido de carbono y como resultado de la investigación resultado menor a 600 µg/m<sup>3</sup> en las tres (3) estaciones de monitoreo, en los dos estudios

resultaron por debajo de los valores permisibles por la normativa del D.S. 003-2017-MINAM.

✓ De manera similar los valores obtenidos para el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), en el punto de monitoreo, resultó una media de  $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el punto de monitoreo dos se obtuvo una media de  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Así mismo en los estudios realizados por (Celiz y Chura, 2024) quienes realizaron los monitoreos del dióxido de nitrógeno, los valores fueron de  $86.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el monitoreo uno,  $87.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el monitoreo dos, y  $86.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el monitoreo tres.

✓ Los resultados de la concentración del dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) obtenidos en los dos monitoreos se encontró los niveles inferiores a  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las mediciones se tomaron durante de veinticuatro horas, este estudio se relaciona con el estudio (Córdova, 2019) quien realizó un monitoreo de veinticuatro, donde se determinó un valor de  $12.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{SO}_2$ . Esta concentración del gas se encuentra por debajo de los límites establecidos en el D.S. N° 003-2017 del MINAM, la normativa peruana.

## VI. Conclusiones

**PRIMERO:** El análisis concluyó que en el mes de febrero, el flujo vehicular influyó en un 84% en la concentración del dióxido de nitrógeno. Esto sugiere una correlación positiva significativa, donde un incremento en el flujo vehicular se asocia con un aumento en la concentración del dióxido de nitrógeno. En el mes de marzo, el flujo vehicular influye en un 42.5% en la concentración del dióxido de nitrógeno, dando a conocer una relación moderada, esto influenciado por las condiciones meteorológicas. Sin embargo, la determinación del monóxido de carbono y dióxido de azufre no se identificó una correlación directa entre el flujo vehicular y las concentraciones de los gases, dado que no pudieron ser determinadas con precisión en los monitoreos.

**SEGUNDO:** Se determinó el flujo vehicular en el mes de febrero, en la Avenida Alameda de las Cien Ventanas, se registró un flujo vehicular en promedio de 195 vehículos por hora. En el segundo punto de medición, en la Avenida Ferrocarril, se registró un flujo vehicular de 126 vehículos por hora. En marzo, en promedio en la avenida Alameda de las Cien Ventanas, se obtuvo un flujo de 239 vehículos por hora y en el Avenida Ferrocarril, dando un resultado de 138 vehículos por hora. Concluyendo y validando la hipótesis específica 01.

**TERCERO:** Se determinaron las concentraciones de los gases en los meses de febrero y marzo, realizándose en la avenida Alameda de las Cien Ventanas y la avenida de Ferrocarril, la concentración del monóxido de carbono resultó inferior a  $632 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos valores no superan el ECA para el Aire. Validando la hipótesis alternativa a la hipótesis específica N° 02.

**CUARTO:** Se determinó que las concentraciones del dióxido de nitrógeno  $\text{NO}_2$  en el mes de febrero dan una concentración promedio de  $71.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el mes de marzo, dando una concentración promedio de  $24.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos valores no superan el ECA para el Aire. Validando la hipótesis alternativa a la hipótesis específica N° 03

**QUINTO:** Se determinó la concentración del dióxido de azufre  $\text{SO}_2$ , en los meses de febrero y marzo; en ambos meses resultó una concentración inferior a  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , estos

valores no superan el ECA para el Aire. Validando la hipótesis alternativa a la hipótesis específica N° 04.

## VII. Recomendaciones

**PRIMERO:** Se sugiere que el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en coordinación con la Municipalidad Distrital de Ollantaytambo, implemente estaciones de monitoreo con capacidad para registrar diversos contaminantes y facilitar el acceso público. Asimismo, la integración de los datos generados a la plataforma de visualización optimizará el seguimiento del aire por parte de la ciudadanía y público en general.

**SEGUNDO:** Se sugiere examinar los gases de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO en las diferentes épocas del año en las mismas avenidas con mayor flujo vehicular del distrito de Ollantaytambo. En la época seca serán cruciales para obtener información detallada sobre la calidad del aire en cada periodo estacional.

**TERCERO:** Para robustecer las evaluaciones, se deben integrar los indicadores de las emisiones vehiculares, incluyendo el material particulado (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), así como el ozono.

La Municipalidad Distrital de Ollantaytambo deberá promulgar una ordenanza municipal orientada al control y seguimiento exhaustivo de la calidad del aire. Se requiere, además, la implementación de políticas a la gestión del parque automotor en áreas de alta concurrencia. Esto implica fomentar la renovación de vehículos obsoletos por modelos más eficientes y con menores índices de contaminación, mediante un instrumento de gestión local, especialmente en la zona urbana de Ollantaytambo.

**CUARTO:** En consonancia con las regulaciones para la disminución de emisiones, el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Transportes y Comunicaciones deben coordinar acciones para impulsar tecnologías de transporte, utilizando incentivos como subvenciones o créditos fiscales para vehículos eléctricos y sistemas de transporte limpio.

## VIII. Referencias

- AAP. (16 de julio de 2018). *Asociación Automotriz del Perú-AAP*. Obtenido de Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares” directiva N° 002-2006- MTC/15, aprobada mediante R.D. N° 4848-2006-MTC.
- Adaku, O. (2024). *Emisiones de monóxido de carbono de los automóviles y sus efectos sobre el medio ambiente y la salud humana*. Obtenido de <https://www.longdom.org/open-access/automobile-carbon-monoxide-emissions-and-their-effects-on-the-environment-and-human-health-106679.html>
- Aguirre, M. (2021). “Determinación de la concentración de monóxido de carbono en zonas de alta congestión vehicular en el distrito de Ilo, 2019. *para optar el grado de Ingeniero Ambiental*. Universidad Nacional de Moquegua, Ilo.
- Alva, A. (2019). Concentración de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en la planta de producción de óxido de calcio Puyucana, Cajamarca, 2018. *Para optar el Grado Académico de maestro en ciencias*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Angaspilco, C. (2014). "Nivel de serviciabilidad en las avenidas; Atahualpa, Juan XXIII, Independencia, de los Heroes y San Martín de la ciudad de Cajamarca". (*tesis para optar el grado*). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL.
- Arrellano, J., & Guzmán, J. (2011). *Ingeniería Ambiental*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Asociación Automotriz del Perú. (2023). *Ranking calidad del aire*. Lima : Gerencia de Estudios Económicos y Estadísticos .
- Autoland. (26 de abril de 2024). *motors*. Obtenido de <https://autoland.com.pe/conoce-tipos-motores-auto-existen/>
- Autoridad de Transporte Urbano de Lima y Callao. (15 de Agosto de 2023). *parque automotor causa más de la mitad de la contaminación del aire en Lima y Callao*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/atu/noticias/818675-atu-parque-automotor-causa-mas-de-la-mitad-de-la-contaminacion-del-aire-en-lima-y-callao>
- Autoridad de Transporte Urbano para Lima y Callao . (Julio de 2023). *Red de Monitoreo de Calidad Ambiental del aire y el ruido de Lima y Callao*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://transparencia.atu.gob.pe/transparencia\\_atu/CalidadAmbiental/Boletin02.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://transparencia.atu.gob.pe/transparencia_atu/CalidadAmbiental/Boletin02.pdf)
- Blair, C., & Guevara, D. (2012). Evaluación del flujo vehicular en la intersección de la carrera 70 con la calle 9 por la construcción de una vía subterránea en el Aeropuerto Enrique Olaya Herrera. (*tesis de pre grado*). Escuela de ingeniería de Antioquia, Antioquia.
- Carbotecnia. (7 de febrero de 2023). Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/diferencia-entre-adsorcion-y-adsorcion/>

- Celiz, C., & Chura, C. (2024). Evaluación de la concentración de CO y NO<sub>2</sub> debido al tránsito vehicular, en la proximidad a centros educativos. *para optar: título profesional de ingeniero Ambiental*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2025). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/3-efectos-a-la-salud-por-la-contaminacion-del-aire-ambiente>
- Contreras, A., Garcia, G., & Icaza, B. (2013). *Calidad de aire: una practica de vida*. Mexico: SEMARNAT.
- Coraspe, L., & Marsiglia, O. (2011). Analisis del flujo vehicular en las avenidas que convergen en la plaza de las banderas(Avenida Republica,Avenida Menca de Leoni, Prologacion Paeo de Orinoco y Prolongacion paseo Orinoco y prolongacion Avenida Republica) ciudad Bolivar. *tesis para pre grado*. Universidad del Oriente, Venezuela.
- Córdova, M. (2019). Índice de la calidad de aire de combustión del monóxido de carbono y dióxido de azufre del flujo vehicular en Pariachi y Huaycan. *para optar el grado de Ingeniero Ambiental*. Universidad Peruana Union, Lima.
- Davis internacional Perú, S.A. (2010). *Estación Meteorológica Vantage Pro2™ Plus*. Obtenido de <https://davisperu.blogspot.com/2010/11/vantage-pro2-weather-stations.html>
- EPA. (21 de Junio de 2024). *U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de Monoxido de Carbono : <https://www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#What%20is%20CO>
- EPA. (16 de Julio de 2024). *U.S. Environmental Protection Agency*. Obtenido de Dioxido de Nitrógeno : <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#What%20is%20NO2>
- EPA. (21 de Enero de 2024). *U.S. Environmental Protection Agency.2024*. Obtenido de Dioxido de Azufre : <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>
- Esteban, J. O. (2021). Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en las avenidas de San Juan de Lurigancho. *Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Facio, M. (2010). Optimizacion del inventario de emisiones atmosfericas. *proyecto*. Universidad Pontificia Bolivariana, Valle de Aburra.
- Franco, P., & Iglesias, R. (2022). *Informe de calidad de aire Montevideo*. Montevideo: Servicio Evaluación de la Calidad y Control Ambiental.
- García, A. (2019). Evaluación de la concentración de CO, NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el aire por tráfico vehicular en el distrito de Morales, 2018. *Para optar el grado de ingeniero Ambiental*. UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN, Tarapoto.
- Gately, C., Hutyra, L., Peterson, S., & Wing, I. (2017). *Puntos críticos de emisiones urbanas: cuantificación de la congestión vehicular y la contaminación del aire mediante datos GPS de teléfonos móviles*. ELSEVIER. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117304001?via%3Dihub>

- Gil, E. (10 de Octubre de 2018). Calidad del aire en la Cuenca atmosférica del Cusco. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.*, 27-43.
- Gil, Educaro. (2024). Contaminación Ambiental Evaluación y Control. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Guía de calidad del aire y educación ambiental. (2016). *Guía de calidad del aire y educación ambiental, Ministerio del Ambiente de Chile.* Chile.
- Gutierrez, F. (2021). Monitoreo de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería. *para optar el Título de Ingeniero Ambiental.* Universidad de Córdoba, Colombia.
- Heising, K. (2020). *Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpccajpcgclcfefindmkaj/https://www.giz.de/en/downloads/Factsheet\_NAMA%20Support%20Project%20(TRANSPer%C3%BA)\_ES.pdf
- Hernández, C., Ávila, A., & Cerda, D. (2022). Impacto de la movilidad urbana en la calidad del aire. *Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 143-169.
- Hernández, R., & Mendoza, P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativas, Cualitativa y Mixta.* Mexico: Mcgraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V.
- Holguín, C. R. (2022). Gestión de tráfico vehicular y calidad del aire del Centro Histórico. *Para optar el grado de Maestría en Gestión Pública.* Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Honorio, J., & Salas, E. (2020). "Determinación del nivel de servicio y propuesta de mejora vial en la avenida Humboldt, tramo entre avenida collpa-avenida violeta, del distrito Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa -provincia y departamento de Tacna, año 2019". *para optar título profesional de Ingeniero Civil.* Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- INEI. (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.* Obtenido de <https://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- Jordan, D. (2022). Evaluación multitemporal de las emisiones atmosféricas de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> del tráfico vehicular mediante el uso de muestreadores pasivos en el terminal terrestre de baños de agua santa. *Para optar al grado académico de: Ingeniería en Biotecnología Ambiental.* Escuela superior politécnica de chimborazo, Riobamba – Ecuador.
- Justo, J. (2021). Evaluación de la calidad del aire según los niveles de concentración de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y O<sub>3</sub> en puntos críticos de la ciudad de Juliaca. *Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental y Forestal.* Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.
- Kunak. (28 de febrero de 2025). *Contaminación del transporte urbano: causas, efectos y soluciones.* Obtenido de <https://kunakair.com/es/contaminacion-del-transporte-urbano/>
- Lara, C., Mendoza, J., Lopez, M., Tellez, R., Martinez, W., & Alonso, E. (2009). *Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana.* Mexico: Sanfandila.

- Limas, D. (2016). Incidencia del flujo vehicular en la calidad de aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en las plazas historicas del centro de Lima. *Tesis para optar el Titulo Profesional de Ingeniero Ambiental*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Londoño, J., Correa, M., & Palacio, C. (2012). Estimacion de las emisiones de contaminantes atmosfericas provenientes de fuentes moviles en el area urbana de envigado. *Rev.EIA.*, 150 - 162. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/264886152\\_Estimacion\\_de\\_las\\_emisiones\\_de\\_contaminantes\\_Atmosfericos\\_provenientes\\_de\\_fuentes\\_moviles\\_en\\_el\\_area\\_urbana\\_de\\_Envigado\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/264886152_Estimacion_de_las_emisiones_de_contaminantes_Atmosfericos_provenientes_de_fuentes_moviles_en_el_area_urbana_de_Envigado_Colombia)
- Manotoa, E. (2022). Evaluacion de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> empleando muestreo pasivo en el mercado mayorista de la ciudad de Ambato. *para optar al grado académico de: Ingeniería en biotecnología Ambiental*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba – Ecuador.
- Martí, A. (1982). *Ministerio de Trabajo y Asuntos sociales España*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.insst.es/documents/94886/195574/NTP+22+Toma+de+muestras+de+contaminantes+con+soluciones+absorbentes.+Norma+general.pdf/0d4e1b5e-ed97-4ced-b63e-098394d8e026>
- Masters, G., & Ela, W. (2008). *Introducción a la ingeniería Ambiental*. Madrid: Pearson Educación, S.A.
- Mateos, A., Amarillo, A., Tavera, I., & González, C. (2018). Evaluación espacial y temporal de la contaminación por SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO en la ciudad de Córdoba. *FCEF y N*, 47 - 52.
- Mimowi. (16 de Marzo de 2023). *APKrenting*. Obtenido de <https://www.mimowi.com/blog/tipos-de-motores/>
- MINAM. (2014). *Gestion de la calidad del aire en el Perú*. Lima: Ministerio del Ambiente .
- MINAM. (2014). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de Informe Nacional de Calidad del Aire 2013-2014: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014>.
- MINAM. (30 de Mayo de 2016). *Glosario de terminos de sitios contaminados*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2650-glosario-de-terminos-sitios-contaminados>
- MINAM. (09 de Octubre de 2019). *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>
- MINCETUR. (2024). *Reporte regional de turismo*. Ministerio de Cultura - Dirección Desconcentrada de Cultura de Cusco.
- MINCETUR. (junio de 2025). *Reporte Regional de Turismo 2025*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7909726/6659083-report-regional-de-turismo-cusco-abril-2025.pdf?v=1751385866>

- Ministerio del interior direccion general de Trafico. (2014). *EL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL TRÁFICO*. Obtenido de <http://www.dgt.es/PEVI/documentos/>
- Municipalidad Distrital de Ollantaytambo. (2022). *Plan de desarrollo concertado local*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.muniollantaytambo.gob.pe/wp-content/uploads/2022/10/Plan-de-desarrollo-concertado-Local.pdf](https://www.muniollantaytambo.gob.pe/wp-content/uploads/2022/10/Plan-de-desarrollo-concertado-Local.pdf)
- Muñoz, S., Salcedo, J., & Sotomayor, A. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehiculos y sus efectos en la salud humana. *Corporación Universitaria Minuto*, 20-30.
- Muñoz, Socrates; Salcedo, Jose; Sotomayor, Arturo. (2021). Contaminación ambiental producida por el tránsito vehiculos y sus efectos en la salud humana. *Corporación Universitaria Minuto*, 20-30.
- NASA. (14 de Mayo de 2024). *Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio*. Obtenido de <https://www.nasa.gov/general/what-is-earths-atmosphere/>
- Obando, V., Castro, E., Cevallos, L., Bautista, R., Cabrera, O., & Cuello, M. (2022). Concentración de monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en Esmeraldas, Ecuador. *Revista Cumbres*, 35-46.
- OEFA. (2015). *Instrumentos basicos para la fislizacion ambiental*. Lima: Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental . Obtenido de [Instrumentos basicos para la fislizacion ambiental: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13978.8](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978.8)
- OIZOM. (24 de Agosto de 2017). *OIZOM Instruments PVT. LTD*. Obtenido de <https://oizom.com/glossary/microgram-m3/>
- OMS. (02 de mayo de 2018). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado: https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action](https://www.who.int/es/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action)
- OMS. (2021). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de [Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: materia particulada \(MP<sub>2.5</sub> y MP<sub>10</sub>\), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono: resumen ejecutivo: https://iris.who.int/handle/10665/346062](https://iris.who.int/handle/10665/346062)
- OMS. (2024). *Conferencia mundial sobre la contaminación del aire y salud*. Organización Mundial de la Salud .
- ONU. (04 de abril de 2022). *El 99% de la población mundial respira aire contaminado*. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2022/04/1506592>
- Ovando, R. (2010). *En contaminación atmosférica por bióxido de carbono emitido por vehículos automotores en la ciudad de Torreón*. Universidad Antonio Narro, Coahuila - México.
- Pedraza, L., Hernandez, C., & Alfonso, D. (2012). Control del tráfico vehicular mediante ANFIS. *Ingeniare. Rev.*, 79-88. Obtenido de

[https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052012000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052012000100008&lng=en&nrm=iso&tlng=en)

- Pinedo, C., Verano, J., & Barrantes, V. (2020). Análisis del control de emisiones atmosféricas vehiculares en Lima Metropolitana. *South Sustainability*, 1-7.
- Ríos, R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. España: Servicios Académicos Intercontinentales S.L.
- Saavedra, J. (2014). Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes de parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular. *Tesis Para Optar el Título Profesional de: Ingeniero Ambiental*. Universidad Agraria La Molina, Lima.
- Sanchez, L., Fabela, M. d., Flores, O., Hernandez, J., Vasquez, D., & Cruz, M. (2019). Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera. *Safandilla*, 83.
- SEMARNAT. (2017). *Recuperado el Agosto de 2018, de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Obtenido de [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_GLOS\\_AIRE&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_GLOS_AIRE&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- SENAMHI. (2021). *Informe de vigilancia de la calidad del aire*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú .
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología . (2024). *Vigilancia de la calidad del aire en el área Metropolitana de Lima y Callao (AMLC) – Enero*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Skiba, Y., & Parra, D. (2011). *Introducción a los métodos de dispersión y control de contaminantes*. Mexico: D.R. © 2011 Universidad Nacional Autónoma de México.
- Solís, J., Salazar, L., Violeta, R., & Solís, A. (2022). Congestión Vehicular y Contaminación Ambiental en Lima. *La Sallista*, 152 -164.
- Spiegel, J., & Maystre, L. (2013). *Control de la contaminación ambiental* . Guadalajara-Jalisco: Printing Arts Mexico S. de R.L. de C.V.
- Surichahui, M., Matamoros, F., Sillo, A., Manrique, A., Mayhua, W., & Surichahui, F. (2023). *Capacidad vehicular nivel de servicio con la metodología Highway Capacity Manual (HCM)*. Puno: Instituto Universitario de Innovación. Obtenido de <https://doi.org/10.35622/inudi.b.98>
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile: CEPAL - SERIE Recursos naturales e infraestructura.
- Trelles, R. C. (2018). "Determinación del material particulado (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2.5</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) en el distrito de Ocoruro - provincia Espinar". *Para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Uribe, S. (11 de junio de 2009). *Propuesta metodológica para el diseño de intersecciones urbanas*. Obtenido de <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/129/122>

- Vasquez, G. C. (2023). Efecto de la reducción de la intensidad del tráfico vehicular en la calidad del aire monitoreado en el distrito de Tarapoto, 2023. *para optar el título profesional de ingeniero Ambiental*. Universidad Cesar Vallejo, Tarapoto.
- Vintimilla, J. (2015). Análisis de resultados de la medición de emisiones de gases contaminantes de fuentes móviles a partir de la implementación de la revisión técnica vehicular en el cantón de Cuenca. *tesis para obtener el grado de ingeniero mecánico automotriz*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7647/1/UPS-CT004530>.
- Vivanco, V. A. (2024). "Impacto del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en las avenidas Morales Duárez y Universitaria del distrito Cercado de Lima". *Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Zegarra, J., Sulén, F., & Bautista, L. (2008). Conversión vehicular y limpieza del aire en el Centro Histórico de Trujillo. *Economía y Sociedad*, 72-83.

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