



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**FLUJO VEHÍCULAR Y SU INFLUENCIA SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE  
POR NO<sub>2</sub> Y SO<sub>2</sub> EN EL DISTRITO DE CERCADO DE LIMA - 2020**

Línea de investigación:  
Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar título de ingeniera ambiental

**AUTOR(A)**

Flores Vela, Liliam Susana

**ASESOR(A)**

Rojas León, Gladys

ORCID: 0000-0003-2961-9643

**JURADO**

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Ventura Barrera, Carmen Luz

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Lima – Perú

2023

## **Dedicatoria**

A mis padres Samuel Flores Egoavil y Karina Vela Ramirez;  
Ángel Conesa, abuelita Susana Egoavil Quispe.

A mis hermanos Josué Conesa y Jairo Flores; y a mi novio Shamir Llanos Saavedra, quienes fueron de gran apoyo incondicional, durante el tiempo en que desarrollaba la tesis, me apoyaron y alentaron, en todo momento.

A mis maestros, el Ing. Rubén Martínez e Ing. Gladys Rojas quienes nunca desistieron en enseñarme y dedicarme su tiempo en la revisión y mejora de la tesis.

A mis amigos y compañeros de trabajo; por su orientación, sugerencias y amistad, en la elaboración de la presente tesis. A todas las personas que de una u otra forma me apoyaron, en el desarrollo de la presente tesis.

## **Agradecimiento**

A Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, haciendo realidad mi sueño anhelado.

A mi alma mater, la “Universidad Nacional Federico Villarreal”, por darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional.

A mis padres Samuel Flores y Karina Vela; a mis hermanos Josué y Jairo; a mi novio Shamir Llanos y a todos mis familiares agradecerle por su apoyo, su enseñanza y más que todo por su confianza.

A mi asesor de tesis la Ing. Gladys Rojas y a mi revisor de tesis el Ing. Rubén Martínez, por su esfuerzo y dedicación, quienes, con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, he logrado terminar mis estudios con éxito.

Para finalizar agradezco al Equipo de Ejecución, Implementación y Mantenimiento de PROTRÁNSITO quienes me apoyaron y brindaron las facilidades para la instalación de los dispositivos para la medición de NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>, les debo mi total agradecimiento, por su apoyo.

## Índice

<b>I.</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>11</b>
1.1.	Descripción y formulación del problema .....	14
1.2.	Antecedentes .....	17
1.3.	Objetivos .....	20
1.4.	Justificación .....	21
1.5.	Hipótesis .....	23
<b>II.</b>	<b>Marco teórico.....</b>	<b>24</b>
2.1.	Bases teóricas.....	24
2.1.1	Bases teóricas de flujo vehicular .....	24
2.1.2	Bases teóricas de calidad del aire .....	35
2.2.	Normas legales .....	49
2.3.	Definición de términos .....	58
2.3.1.	Calidad del aire.....	58
2.3.2.	Caracterización de emisiones .....	59
2.3.3.	Contaminantes del aire .....	59
2.3.4.	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ).....	59
2.3.5.	Estrategias.....	59
2.3.6.	Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ).....	59
2.3.7.	Flujo vehicular .....	60
2.3.8.	Estándar de Calidad Ambiental .....	60

<b>III. Método.....</b>	<b>61</b>
<b>3.1. Tipo de investigación.....</b>	<b>61</b>
<b>3.2. Ámbito temporal y espacial.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3. Variables .....</b>	<b>64</b>
<b>3.4. Población y muestra .....</b>	<b>65</b>
<b>3.5. Instrumentos .....</b>	<b>67</b>
3.5.1. Técnica.....	67
3.5.2. Instrumentos documentales .....	68
3.5.3. Instrumentos mecánicos .....	70
<b>3.6. Procedimiento .....</b>	<b>70</b>
<b>3.7. Análisis de datos .....</b>	<b>82</b>
<b>3.8. Consideraciones éticas .....</b>	<b>83</b>
<b>IV. Resultados .....</b>	<b>84</b>
<b>4.1. Resultados sobre la cuantificación del flujo vehicular, considerando todo tipo de vehículo que circula por el distrito del Cercado de Lima:.....</b>	<b>84</b>
4.1.1. Flujo vehicular en la Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega .....	84
4.1.2. Flujo vehicular en la Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete .....	86
4.1.3. Flujo vehicular en la Av. Tingo María – Jr. Zorritos .....	87
4.1.4. Flujo vehicular en la Av. Argentina – Av. Universitaria.....	89
4.1.5. Flujo vehicular en la Av. Morales Duarez – Av. Universitaria.....	90
4.1.6. Comparación de total de vehículos en los 5 puntos de estudio .....	91

4.1.7. Comparación del flujo vehicular promedio en los 5 puntos de estudio...	93
<b>4.2. Resultados sobre la determinación de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor en comparación con los valores límite permisible nacional e internacional, en el Cercado de Lima.....</b>	<b>94</b>
4.2.1. Resultados de los análisis de laboratorio por puntos de estudio para las concentraciones de NO <sub>2</sub> .....	94
4.2.2. Resultados de los análisis de laboratorio por puntos de estudio para las concentraciones de SO <sub>2</sub> .....	95
4.2.3. Comparación de la concentración del NO <sub>2</sub> con el ECA aire, estándares de la OMS y de Suiza.....	96
4.2.4. Comparación de la concentración del SO <sub>2</sub> con el ECA.....	97
4.2.5. Relación y comparación de flujo vehicular Vs la concentración del NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> en los puntos de estudio. ....	98
4.2.6. Análisis con los datos de la estación meteorológica Campo de Marte – SENAMHI los vientos predominantes. ....	100
<b>4.3. Resultados de los aspectos operaciones de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito del Cercado de Lima .....</b>	<b>102</b>
<b>4.4. Resultados sobre la propuesta de estrategias, para reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el Cercado de Lima.....</b>	<b>108</b>
<b>V. Discusión de resultados.....</b>	<b>113</b>
<b>VI. Conclusiones .....</b>	<b>117</b>
<b>VII. Recomendaciones .....</b>	<b>119</b>

<b>VIII. Referencias.....</b>	<b>120</b>
<b>IX. Anexos .....</b>	<b>124</b>

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Categoría de vehículos</i>	27
<b>Figura 2</b> <i>Emisiones vehiculares (tubo de escape y evaporativas)</i>	31
<b>Figura 3</b> <i>Diagrama de muestreador de difusión pasiva</i>	46
<b>Figura 4</b> <i>Mapa de ubicación</i>	63
<b>Figura 5</b> <i>Puntos de conteo en Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega</i>	72
<b>Figura 6</b> <i>Puntos de conteo en Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete</i>	73
<b>Figura 7</b> <i>Puntos de conteo en Av. Tingo María - Jr. Zorritos</i>	74
<b>Figura 8</b> <i>Puntos de conteo en Av. Argentina - Av. Universitaria</i>	75
<b>Figura 9</b> <i>Puntos de conteo en Av. Morales Duarez - Av. Universitaria</i>	76
<b>Figura 10</b> <i>Conteo de vehículos</i>	77
<b>Figura 11</b> <i>Encuestas realizadas a conductores de los vehículos</i>	79
<b>Figura 12</b> <i>Muestreadores pasivos y porta tubos</i>	79
<b>Figura 13</b> <i>Escalera de aluminio y camioneta PROTRANSITO</i>	80
<b>Figura 14</b> <i>Muestreador pasivo combinado SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> instalados en el Porta tubo</i>	81
<b>Figura 15</b> <i>Flujo vehicular promedio de 07:00am – 09:00am /05:00pm – 07:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la vega (Punto 1)</i>	85
<b>Figura 16</b> <i>Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete (Punto 2)</i>	86
<b>Figura 17</b> <i>Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Tingo María – Zorritos (Punto 3)</i>	88
<b>Figura 18</b> <i>Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Argentina – Av. Universitaria (Punto 4)</i>	89
<b>Figura 19</b> <i>Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Morales Duarez – Av. Universitaria</i>	91

<b>Figura 20</b>	<i>Comparación del flujo vehicular total en los 5 puntos de estudio</i>	92
<b>Figura 21</b>	<i>Comparación del promedio flujo vehicular total en los 5 puntos de estudio</i>	93
<b>Figura 22</b>	<i>Resultados de Concentración del NO<sub>2</sub> en los Puntos de estudio</i>	94
<b>Figura 23</b>	<i>Resultados de Concentración del SO<sub>2</sub> en los puntos de estudio</i>	95
<b>Figura 24</b>	<i>Comparación de la concentración del NO<sub>2</sub> con el ECA, OMS y Suiza</i>	96
<b>Figura 25</b>	<i>Comparación de la concentración del SO<sub>2</sub> con OMS, Suiza</i>	97
<b>Figura 26</b>	<i>Relación del flujo vehicular vs concentración de NO<sub>2</sub></i>	98
<b>Figura 27</b>	<i>Relación del flujo vehicular vs concentración de SO<sub>2</sub></i>	99
<b>Figura 28</b>	<i>Rosa de vientos generado de la estación meteorológica</i>	101
<b>Figura 29</b>	<i>Distribución de frecuencia de la clase de viento – SENAMHI</i>	101
<b>Figura 30</b>	<i>Tipo de combustible usa su vehículo</i>	103
<b>Figura 31</b>	<i>¿Ha tenido problemas con el motor de su vehículo en el último mes?</i>	104
<b>Figura 32</b>	<i>¿Cuánto tiempo de antigüedad tiene su vehículo?</i>	105
<b>Figura 33</b>	<i>¿Su vehículo cuenta con la última revisión técnica vehicular favorable?</i>	106
<b>Figura 34</b>	<i>¿Su vehículo cuenta con alguna tecnología para el control de emisiones?</i>	107

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Composición de aire seco en la parte más baja de la troposfera (libre de vapor de agua)</i>	37
<b>Tabla 2</b> <i>Composición química del aire</i>	38
<b>Tabla 3</b> <i>Gases nobles</i>	39
<b>Tabla 4</b> <i>Estándares de calidad de aire por las normas peruanas</i>	40
<b>Tabla 5</b> <i>Calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el SO<sub>2</sub></i>	42
<b>Tabla 6</b> <i>Impactos en la salud y el ambiente de SO<sub>2</sub></i>	42
<b>Tabla 7</b> <i>Impactos en la salud y el ambiente de NO<sub>2</sub></i>	43
<b>Tabla 8</b> <i>Valores INCA, del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)</i>	49
<b>Tabla 9</b> <i>Valores INCA, del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)</i>	49
<b>Tabla 10</b> <i>Índices de Nocividad de Combustibles (INC) para el período 2018- 2019</i>	51
<b>Tabla 11</b> <i>Índices de nocividad de combustibles (INC) para el período 2020- 2021</i>	52
<b>Tabla 12</b> <i>Principales avenidas para el muestreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub></i>	67
<b>Tabla 13</b> <i>Equipos y materiales para registrar y administrar datos</i>	70
<b>Tabla 14</b> <i>Velocidad y dirección del viento en Jesús María</i>	100
<b>Tabla 15</b> <i>Propuesta de distintivo ecológico vehicular para determinar el nivel de contaminación del aire</i>	109
<b>Tabla 16</b> <i>Flujo vehicular y concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 5 puntos de estudio</i>	113
<b>Tabla 17</b> <i>Aspectos operacionales del de los medios de transporte del flujo vehicular y las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 5 puntos de estudio</i>	114

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo determinar la influencia del flujo vehicular sobre la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito de Cercado de Lima para proponer medidas de mitigación que mejoren la calidad del aire. Para ello, se realizó un estudio observacional para cuantificar el flujo vehicular en 5 puntos y encuestas a conductores para obtener información sobre las condiciones de los vehículos. Para el análisis de la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se aplicó el método de difusión pasiva, instalándose muestreadores pasivos en los puntos de estudio. Resultados, el mayor flujo vehicular promedio fue en la Av. Colón (P1) con 6,663 veh./h, el menor en la Av. Piérola (P2) con 3,834 veh./h. La mayor concentración de NO<sub>2</sub> se obtuvo en la Av. Duarez (P5) con 61.3ug/m<sup>3</sup>, y el menor en la Av. Tingo María (P3), con 34ug/m<sup>3</sup>. La mayor concentración de SO<sub>2</sub> se obtuvo en la Av. Duarez (P5) con 0.4ug/m<sup>3</sup> y el menor valor de <0.2ug/m<sup>3</sup> en los demás puntos. Del cuestionario se obtuvo que en la Av. Duarez (P5), el 54.44% usa combustible Diesel y 63.06% presenta una antigüedad mayor a 15 años. Se concluye que no existe un grado de asociación directa entre el flujo vehicular y la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>; sin embargo, de los datos obtenidos del cuestionario, se concluye que existe un grado de asociación directo entre la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> con el tipo de combustible (Diesel) y la antigüedad de vehículos (mayores a 15 años).

*Palabras clave: calidad del aire, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, flujo vehicular.*

## Abstract

The objective of this thesis was to determine the influence of vehicular flow on NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> air quality in the Cercado de Lima district in order to propose mitigation measures to improve air quality. To this end, an observational study was carried out to quantify vehicle flow at 5 points and to survey drivers to obtain information on vehicle conditions. For the analysis of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> concentration, the passive diffusion method was applied, installing passive samplers at the study points. Results, the highest average vehicle flow was on Colón Avenue (P1) with 6,663 vehicles/hour, the lowest on Piérola Avenue (P2) with 3,834 vehicles/hour. The highest NO<sub>2</sub> concentration was obtained on Duarez Avenue (P5) with 61.3ug/m<sup>3</sup>, and the lowest on Tingo Maria Avenue (P3), with 34ug/m<sup>3</sup>. The highest SO<sub>2</sub> concentration was obtained in Duarez Avenue (P5) with 0.4ug/m<sup>3</sup> and the lowest value of <0.2ug/m<sup>3</sup> in the other points. From the questionnaire, it was found that 54.44% of the vehicles on Duarez Avenue (P5) use diesel fuel and 63.06% are older than 15 years. It is concluded that there is no direct association between vehicle flow and the concentration of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>; however, from the data obtained from the questionnaire, it is concluded that there is a direct association between the concentration of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> with the type of fuel (diesel) and the age of the vehicles (older than 15 years).

*Keyword: air quality, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, vehicle flow.*

## I. INTRODUCCIÓN

Millones de automóviles, furgonetas y microbuses de mala calidad y usados son exportados desde Europa, Estados Unidos y Japón a países en desarrollo, contribuyendo representativamente a la contaminación del aire y dificultando así los esfuerzos para mitigar el cambio climático. Entre los años 2015 y 2018, se exportaron 14 millones de vehículos ligeros usados en todo el mundo; aproximadamente el 80%, fue destinado a países de ingresos bajos y medios, y más de la mitad a África (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020).

Cinco países de Latinoamérica se encuentran entre los 50 con los peores índices en contaminación del aire en el mundo. Perú lidera la lista situada en el puesto 21, seguido por Chile en el puesto 26, México en el puesto 33, Brasil en el puesto 44 y finalmente Colombia en el puesto 50; analizado este índice, la expectativa de vida de los Limeños en Perú, se han reducido en 4.7 años por la contaminación del aire (AirVisualyGreenpeace, 2018).

Las emisiones de los vehículos automotores son el resultado de la combustión o de la evaporación del combustible; las altas concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> generados por el parque automotor en Lima Metropolitana vienen generando efectos en la salud de las personas, siendo estos problemas cardíacos, alteraciones de la función pulmonar y otros síntomas; hasta un aumento del número de defunciones, ingresos hospitalarios y de visitas a urgencias, especialmente por causas respiratorias y cardiovasculares. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuanto más se reduzca la contaminación de aire, mejor salud cardiovascular y respiratoria tendrá la población. Asimismo, se reduciría la prevalencia de cáncer al pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma y accidentes cardiovasculares (Organización Mundial de la Salud, [OMS], 2019).

El objetivo de la presente investigación es, determinar el flujo vehicular y su influencia sobre la calidad del aire, por concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el Cercado de Lima, mediante la cuantificación del flujo vehicular en 5 puntos, determinando las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, para mejorar la calidad de aire, en cumplimiento a las normas ambientales vigentes; proponiendo estrategias que permitan la reducción el flujo vehicular y con ello mejorar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>; en esta importante zona de Lima Metropolitana.

La presente investigación se divide en 9 capítulos; el primero desarrolla la introducción, donde se esboza la problemática sobre la contaminación ambiental, que es un riesgo para la salud y los ecosistemas; se revisaron antecedentes nacionales e internacionales como el de Cocha (2017), en Riobamba-Ecuador y Berdugo y Ramírez (2016) en Colombia. En el Perú, Limas (2016), realizó un trabajo en el Cercado de Lima; se plantea los objetivos antes citados y se justifica teóricamente, en la práctica y social, porque favorecerá a las poblaciones; se plantea como hipótesis que, a mayor flujo vehicular, menor calidad de aire, por las altas concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el Cercado de Lima.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico de las variables y dimensiones del flujo vehicular y calidad de aire; se determinan las categorías por tipos de vehículos, los tipos de flujos y métodos de conteo; en relación con la variable calidad de aire, se desarrolla la teoría de la contaminación realizada por Juran (2012), y la regulación nacional, como Decreto Supremo N°003-2017-MINAM - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire; y, a nivel internacional los propuestos por la OMS; respecto a NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, el desarrollo de causas y consecuencias en la salud y ecosistemas urbanos, respecto a las altas concentración de estas sustancias; finalmente en este punto se desarrolla un diccionario de términos básicos.

El tercer capítulo desarrolla el método, donde se determina que la investigación es de tipo no experimental, transversal; de nivel descriptiva; se levantó información mediante la técnica de la encuesta a una muestra por conveniencia de 1,800 conductores de vehículos; y,

mediante la ficha de recopilación de datos, al flujo vehicular en 5 puntos de estudio correspondiente a las avenidas principales del distrito de Cercado de Lima; se desarrollaron los procedimientos para cada uno de los objetivos a lograr; se usa en los análisis la normativa nacional e internacional de calidad del aire, para la cartografía se utiliza el ArcGIS 10.2; los resultados se presentan en tablas y figuras; siguiendo los principios y valores de la ética profesional, para el citado de los autores.

El cuarto capítulo desarrolla los resultados, por cada objetivo; los hallazgos fueron que, se cuantificó el flujo vehicular en los 5 puntos de estudio; siendo la Av. Paseo Colón - Av. Garcilaso de la Vega el punto por donde circularon más vehículos con un total de 6663 vehículos / hora en promedio; en relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub>, en el punto 5 correspondiente a la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria se produjo 61.3ug/m<sup>3</sup>; la causa fueron que un 54.44% de los vehículos emplean combustible Diesel y más del 63.06% tienen más de 15 años de antigüedad; las estrategias propuestas se enfocaron en la reducción del flujo vehicular y mejorar la calidad de aire.

El quinto capítulo desarrolla la discusión, respecto a los resultados obtenidos; estos son descritos, analizados, interpretados, contrastados con las hipótesis y finalmente comparados y/o corroborados con los antecedentes por cada uno de los objetivos; para tal fin, Cocha (2017), en el estudio en Riobamba, caracteriza y cuantifica y propone alternativas de solución al problema de la contaminación por las altas concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> por los gases de vehículos automotores en la ciudad de Riobamba; Pariona (2018), es otro autor nacional que desarrolla una investigación con problemas similares a resolver; realiza una reflexión personal que responde a disminuir el flujo vehicular con el consecuente mejora en la calidad de aire por los contaminantes de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.

El sexto y séptimo capítulo se desarrollan, las conclusiones y recomendaciones, respondiendo a los objetivos y la hipótesis general de la investigación; en este sentido, se

concluye que el flujo vehicular en los 5 puntos de estudio fue mayor en la Av. Paseo Colón y Av. Garcilaso de la Vega; y el punto donde se dio la mayor concentración de NO<sub>2</sub> es entre la Avenida Morales Duarez y Universitaria con 61.3 µg/m<sup>3</sup>; luego, las causas son vehículos obsoletos y marco normativo; y las consecuencias se enfocaron en las personas y el ecosistema urbano, proponiéndose las estrategias de resolución; se recomienda monitorear otros puntos, medir el NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> constantemente y nuevos estudios.

El octavo y noveno capítulo se desarrollan las referencias y anexos, estas guardan relación con las citas, en la cual se citaron los títulos, autor, año de manera implícita, sin ser manipuladas; las referencias fueron definidas mediante el sistema APA 7.<sup>a</sup> edición; y en relación con los anexos, se han desarrollado la matriz de consistencia, planos y mapas, el panel de las fotos de las diferentes zonas de trabajo, los instrumentos de recolección de datos y finalmente la base de datos de flujo vehicular.

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

### **Descripción del problema**

La contaminación del aire es un importante riesgo medioambiental para la salud humana y los ecosistemas naturales. Con la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden disminuir la carga de morbilidad procedente de cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma, cuyas enfermedades son las más comunes y propensas para quienes se encuentran expuestos a dicha contaminación; cabe señalar que, cuanto más altos son los niveles de contaminación del aire, peor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, a largo y corto plazo (OPS, 2021).

Por su parte, la calidad del aire ofrece una evaluación de los efectos sanitarios procedentes de la contaminación del aire, así como de los niveles de contaminación perjudiciales para la salud. En el año 2016, el 91% de la población vivía en lugares donde no se consideraban y respetaban las directrices de la OMS sobre la calidad del aire; y, la

contaminación en las ciudades de todo el mundo provoca cada año 4,2 millones de defunciones; el 91% se producen en países de bajos y medianos ingresos, y las mayores tasas de morbilidad se registran en las regiones de Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental (OPS, 2021).

En el mundo, en el año 1950 un 6% de la población mundial vivía en grandes ciudades, en 2016 este porcentaje ya superaba el 54%, y en el 2020 está ya supera el 55.7%; la previsión es que en 2050 alcance el 66%; y con ello se incrementa contaminación del aire, por el parque automotor en estas grandes ciudades. 7 millones de personas mueren al año por la contaminación del aire. (OPS, 2021).

La disminución de la calidad del aire es un problema ecológico en muchos centros urbanos de América Latina; se sabe que, más de 100 millones de personas en América Latina y el Caribe, están expuestas a niveles de contaminantes del aire que exceden los límites máximos permisibles (OPS, 2021).

En el Perú; la contaminación del aire es producida en un 70% por el parque automotor, de acuerdo al estudio realizado por el Comité de Gestión de la iniciativa de Aire Limpio. El resto es producto de la actividad comercial, ciudadanos y algunas industrias. En Lima, el parque de vehículos va incrementándose de forma imprevista en el tiempo. Según datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), en Lima se aglomeran cerca el 40% de un total de 6 millones en todo el país. Asimismo, en doce distritos existen 45 puntos donde la concentración de vehículos se evidencia en mayor escala (Pariona, 2018).

En Lima Metropolitana, se observó un aumento de las emisiones de gases contaminantes producto de las mayores emisiones, a partir de la combustión de combustible del parque automotor. Las emisiones registradas fueron de dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, partículas PM10 y ozono troposférico; estas emisiones son perjudiciales para la salud de las personas y vegetación de la ciudad. Cada persona se transporta en promedio unas 2 o 3 veces al día entre distintos sitios de Lima; lo cual según estudios de hace siete y quince años ha

ido aumentando considerablemente respecto al 2019; otro aspecto a tomar en cuenta son que, los vehículos se trasladan a velocidad promedio de 12km/h, variando este dato los días viernes. (Pariona, 2018).

En el Cercado de Lima se desarrollaron algunos estudios parciales, en las que los registros de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en la estación del Congreso y Campo de Marte, no han cumplido con los estándares de calidad de aire, de acuerdo con la normativa nacional vigente para calidad del aire; sin embargo, los registros de estas concentraciones sobrepasan los valores dados por la Organización Mundial de la Salud (Ministerio del Medio Ambiente [MINAM], 2018).

El problema de la sobreexposición de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> que genera en la salud humana es dañar el sistema respiratorio en el caso del NO<sub>2</sub> porque es capaz de penetrar las zonas más profundas de los pulmones irritándolos y en el caso del SO<sub>2</sub> con exposiciones en periodos cortos a altas concentraciones pueden ocasionar en la población vulnerable irritación del tracto respiratorio, reacciones asmáticas y afecciones respiratorias. (MINAM, 2018).

### **Formulación del problema**

#### **Problema general**

¿Cómo el flujo vehicular influye sobre la calidad de aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima - 2020?

#### **Problemas específicos**

- ¿Cuánto es el flujo vehicular considerando todo tipo de vehículo que circula en los puntos de estudio en el distrito de Cercado de Lima?
- ¿Cuáles son las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor en comparación con los valores límite permisible nacionales e internaciones, en el distrito de Cercado de Lima?

- ¿Cómo analizo los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito del Cercado de Lima?
- ¿Qué estrategias reducirán el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito del Cercado de Lima?

## **1.2. Antecedentes**

### **Internacionales**

Cocha (2017), en su tesis titulada “Emisión de gases y su relación en la calidad del aire de la zona urbana de la ciudad de Riobamba”, de la Universidad Técnica de Ambato (Ecuador); teniendo como objetivo analizar la emisión de gases y su relación con la calidad del aire en la ciudad de Riobamba, a través de la cuantificación de las concentraciones de los gases dióxido SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, benceno, tolueno, etilbenceno, xilenos, (BTEX) y ozono (O<sub>3</sub>) registrados mediante el monitoreo pasivo desde el año 2008 al 2016 en tres estaciones ya existentes. Esta situación ameritó generar un plan de acción estratégico para la mitigación de los contaminantes por parte del municipio. Los resultados de la contaminación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, permitió establecer puntos de concentración de la contaminación, analizando las fuentes, donde el sector R-Ame-Norte, está influenciado por fuentes provenientes del lado Este y tráfico de vehículos; la contaminación del sector R-Centro, corresponde a la influencia de automóviles y buses, que circulan en el sector R-Emapar-Sur, y que corresponde a la influencia del elevado tráfico de vehículos a diésel. Los resultados de las consecuencias fueron arrojaron que sufren de irritaciones en los ojos, dificultades respiratorias y afectación pulmonar, un 65% de estos tuvieron algún tipo de estos efectos; en relación con el nivel de la concentración media anual de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, presenta una mayor concentración hacia el Noroeste de la estación R-Norte-AME, sector de gran afluencia vehicular.

Berdugo y Ramírez (2016), en la tesis titulada “Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en sitios críticos por población, movilidad y características geométricas de las vías en la ciudad de Cartagena - Colombia”, de la Universidad de Cartagena (Colombia); su objetivo fue evaluar la influencia del flujo vehicular en la calidad del aire en tres puntos de la ciudad de Cartagena de indias, empleando un analizador de partículas con diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM 2.5) y también un analizador de CO ambos automáticos. Se realizaron ocho aforos vehiculares por mes, registrando autos, buses, vehículos pesados y motos, y se tuvo como conclusión que la categoría vehicular que tiene mayor ajuste al comportamiento de las concentraciones en la mayoría de los puntos de monitoreo son las motos, y con respecto al PM2.5 en todos puntos se incumplen los límites establecidos en la resolución 610 de 2010 superando en la mayoría de los días la concentración de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , siendo la Carretera de la Cordialidad sector Bomba, el Amparo tiene las concentraciones más elevadas de PM2.5. por otra parte, las concentraciones de CO en los puntos son inferiores al límite de, 40000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  cada hora establecidos en la norma. Finalmente se concluye que la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en los puntos que escogieron, es alta.

Ochoa (2021), en la tesis denominada “*Monitoreo de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería*”, de la Universidad de Córdoba (Argentina), tuvo como objetivo fue monitorear la calidad del aire en la zona de influencia de la ciudad de Montería en el departamento de Córdoba, durante el 20.09.2019 al 20.10.2019; se definieron los métodos y análisis y se presentan las calibraciones y equipos, luego se muestran los resultados y conclusiones. Se midieron durante 30 días los  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ , los resultados fueron que: las concentraciones de los gases  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y CO, cumplen con el artículo 2° de la Resolución N°2254 de 01.11.2017; luego se compararon con lo estipulado por organismos como la OMS, que estuvo por encima del nivel máximo permisible, para los valores de CO, no

se encontraron niveles máximos permisibles según la OMS y para el NO<sub>2</sub> las medidas tomadas cubren los datos en 24 horas y; no existe un nivel máximo permisibles.

### **Nacionales**

Salazar, Solís y Rosales (2018), en su informe denominado *Causas de la congestión de tránsito en Lima Centro y sus consecuencias sobre la salud y el medio ambiente*; de la Universidad Nacional Federico Villarreal; teniendo como objetivo estimar en qué grado la congestión del transporte influye en la contaminación ambiental de Lima -Centro, sobre la salud y paisaje de la ciudad; considerando que, la contaminación atmosférica son por los gases de CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, plomo, etc. del parque automotor. Los contaminantes más importantes que las emisiones de gases de las industrias y de los residuos. La contaminación de las aguas producidas por el transporte al ser depuradas las calles por las lluvias o por efecto del hombre, ingresan al sistema de alcantarillas. Entre las causas de la congestión vehicular en Lima están los Proyectos de infraestructura que reducen los carriles existentes trasladando el tránsito a zonas adyacentes; otra de ellas es la inadecuada actuación de la policía al mantener el orden en transporte; El escaso respeto de las normas; Transporte organizado alrededor del vehículo particular; Flota vehicular inadecuada y obsoleta; entre otros factores. Las consecuencias y efectos estuvieron concentrados en la salud de los pobladores como problemas respiratorios, pulmonares, oculares y más de un 10% manifestó que tuvo algún tipo de enfisema y cáncer al pulmón. Finalmente, haciendo una comparación entre el diagnóstico en los puntos negros de los cruces del Cercado de Lima y Breña del 2012 con respecto al 2018 en los mismos puntos negros, se puede evidenciar que las mejoras solo han venido por el lado de la infraestructura y equipamiento, más no por los otros factores.

Limas (2016), en su tesis titulada *“Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en plazas históricas del Cercado de Lima”*; de la Universidad Nacional Federico Villarreal; el objetivo fue conocer la influencia del flujo vehicular en la calidad del

aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> mediante tubos pasivos en cuatro principales zonas del Cercado de Lima (plazas: Bolognesi, Dos de Mayo, San Martín y el Parque Universitario). Se empleó el estudio observacional para cuantificar el flujo vehicular y para analizar la concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se empleó el método de difusión pasiva, finalmente se concluyó la relación del flujo vehicular con respecto a la concentración de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, el mayor flujo vehicular promedio se dio en la plaza Dos de Mayo con, 8284 vehículos/hora y el menor flujo vehicular se dio en la plaza San Martín con, 3315 vehículos/hora. Respecto a la concentración de NO<sub>2</sub>, el mayor valor se obtuvo en la plaza Dos de Mayo, con 50,9 µg/m<sup>3</sup>, y el menor valor en la plaza San Martín, con 33,35 µg/m<sup>3</sup>.

Herrera (2019), en su tesis titulada *“Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad del aire de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín – 2014”*, de la Universidad Nacional de San Martín; que tuvo como objetivo evaluar la concentración de Material Particulado en suspensión (PM<sub>2.5</sub>) y gases SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO. Se desarrolló un programa de monitoreo de calidad del aire realizado en: verano, octubre de 2015 e invierno mayo 2016. En ambos casos se empleó un equipo de muestreo automático y se determinó la cantidad de partículas en suspensión PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO. Como resultado se obtuvieron valores promedios de PM<sub>2.5</sub>, con 17.96 µg/m<sup>3</sup> y 13.07 µg/m<sup>3</sup>, en verano e invierno, en cambio el estándar es 50µg/m<sup>3</sup> (24 horas) y para el gases CO, los valores promedios son (51.33 µg/m<sup>3</sup> y 49.83 µg/m<sup>3</sup>) y (48.50µg/m<sup>3</sup> y 40.83µg/m<sup>3</sup>) para ambas épocas de estudio, en cambio el estándar es 10000 µg/m<sup>3</sup> (8 horas), siendo constantes los valores de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> con >1.2 µg/m<sup>3</sup>.

### **1.3. Objetivos**

#### **General**

Determinar el flujo vehicular y su influencia sobre la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito de Cercado de Lima – 2020.

### **Específicos**

- Calcular el flujo vehicular considerando todo tipo de vehículo que circulan por los puntos de estudio en el distrito del Cercado de Lima.
- Determinar las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor y comparar con los valores límite permisible nacionales e internacionales, en el distrito del Cercado de Lima.
- Analizar los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima.
- Proponer las estrategias sobre el flujo vehicular y el mejoramiento de la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima.

### **1.4. Justificación**

#### **Teórica**

La tesis tuvo un valor teórico porque, contribuyó con las ciencias del ambiente en relación al flujo de vehículos y su influencia en la calidad de aire; dado a que se articulan y relacionaron ambas variables y sus dimensiones, cuyos conocimientos de estas, fueron determinadas por los autores y de importancia académica, aplicable al proceso de aprendizaje, susceptible de debate técnico y académico.

#### **Práctica**

La investigación se justifica en términos prácticos porque, se trata un problema cotidiano como es la contaminación por flujo vehicular con NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en una zona urbana, cuya aplicación y/o implementación de las estrategias de reducción del flujo vehicular, pretende mejorar la calidad de aire de Lima Cercado, ofreciendo a los habitantes y transeúntes la mejora de en sus condiciones y niveles de vida; con los resultados se vieron que, los acontecimientos y hechos se vincularon al problema, construyéndose en una propuesta de solución a los

problemas identificados; adecuando al sistema urbano y desarrollo de la zona urbana del Cercado de Lima.

### **Metodológica**

La investigación se justifica metodológicamente porque se propone un método con acciones encaminadas a reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire del Cercado de Lima, la estrategia que se traza inicia con la selección de 5 puntos de estudio a conveniencia y la recolección de la información del flujo vehicular que circula por los 5 puntos de estudio citados en la investigación, posterior a ello aplicación de la encuesta a choferes que circulan por los puntos de estudio, para conocer los aspectos operacionales del vehículo que conduce y cómo influye a la calidad de aire; en paralelo por método mecánico o manual determinamos el flujo vehicular clasificados en livianos, menores y pesados mediante fichas de campo y por método pasivo cuantificamos las concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> mediante muestreadores el cual captan un contaminante específico del aire durante un tiempo determinado, posterior a ello se traslada la muestra a un laboratorio para realizar la desorción de la sustancia y determinar la concentración promedio. Los resultados de la investigación son aplicables en cualquier contexto similar, en otras zonas urbanas.

### **Social**

La investigación se justifica en términos sociales porque, la relación del flujo vehicular y la calidad del aire, es un pacto social e institucional legal; y se acerca en todo momento a la población y a sus actores principales, que son parte del proceso del desarrollo y el medio ambiente de una ciudad; el tratamiento del flujo vehicular, las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, conocer las causas y efectos son importantes para lograr un ambiente saludable donde el espacio social construido, la movilidad, la vivienda, los servicios públicos son elemento que vincula a la población y a su desarrollo ambiental equilibrado y funcional.

### **1.5. Hipótesis**

H0= El flujo vehicular influye altamente en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima – 2020.

H1= El flujo vehicular no influye altamente en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima – 2020.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1 Bases teóricas de flujo vehicular

**Definición de flujo.** El flujo es acción y efecto de fluir. La palabra flujo proviene del origen latín *fluxus*. Asimismo, la palabra flujo tiene diversos significados todo depende de cómo sea empleada y en qué contexto se encuentra. Flujo es el movimiento de aumento de la marea por ejemplo “el flujo del agua fue imparable y destruyo todos los comercios que se encontraba a su alrededor”. El termino flujo son los diferentes compuestos que se emplean en los laboratorios con el fin de fundir minerales y aislar materiales (Pariona, 2018).

**Definición de vehículo automotor.** Es un vehículo de transporte terrestre de propulsión propia sobre dos o más ruedas y que no transita sobre rieles. Vehículos de emergencia autorizados: vehículos para combatir incendios, policiales, ambulancias y otros que cumplan con las condiciones reglamentarias correspondientes (DRTC-SM, s.f.).

**Definición de flujo vehicular.** El flujo vehicular es también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico, se define como el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle.

**Formula general:**  $Q=v*K$

El análisis del flujo vehicular describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el Nivel de eficiencia de la operación.

**Tipos.** Se clasificó a los distintos tipos de caminos en dos categorías o tipos de operación del flujo vehicular: continuo y discontinuo los términos “flujo Continuo” y “flujo discontinuo” solo describen el tipo de camino y no la calidad del flujo de tránsito que en un determinado momento circula por el mismo. (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015)

**Flujo continuo.** Es aquel en que el vehículo que va transitando por la vía sólo se ve forzado a detenerse por razones inherentes al tráfico. Es el tráfico de las carreteras. Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas intermedias. Otra definición para el flujo continuo es la circulación de vehículos donde no existen intersecciones con semáforos o con señales de alto. (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015)

**Flujo discontinuo.** Es el tipo de flujo característico de las calles, donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda el paso, etc. Otra definición para el flujo interrumpido o discontinuo es la circulación de vehículos en las carreteras donde existen intersecciones como semáforos o señales de alto y es utilizado para el tránsito urbano. (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015)

**Método de conteo vehicular y peatonal.** Con el fin de realizar un estudio del sistema vial es necesario verificar la cantidad vehículos y peatones que comprende esta área de estudio (volumen del tránsito y la cantidad peatonal). Para realizar la cantidad peatonal se recomienda realizar por un método mecánico o manual, por otro lado, para realizar el conteo vehicular existen varios métodos. A continuación, se mostrará varios métodos para realizar el conteo vehicular y peatonal: **Método automático:** Se realiza mediante una tubería dentro del pavimento, que registra los vehículos (este no registra movimientos de tierra). **Método fotográfico:** Este método se realiza utilizando las fotografías como base para contabilizar la cantidad vehicular y peatonal en una hora determinada. **Método mecánico o manual:** Es el método que emplea el conteo manual de personal en la intersección de la carretera o pistas; en este método puede utilizarse tanto para el conteo peatonal como el vehicular. (Pariona 2018).

Adicionalmente, este método se determinan las diferentes clasificaciones de tránsito que se dan en una intersección, como son:

- TPDA o Tránsito Promedio Diario Anual: Es aquel que se obtiene dividiendo el tránsito anual entre 365 días.

- TPDM o Tránsito Promedio Diario Mensual: Es aquel que se obtiene dividiendo el tránsito mensual entre el número de días que posee el mes en el que se realiza el estudio.

- TPDS o Tránsito Promedio Diario Semanal: Es aquel que se obtiene dividiendo el tránsito semanal entre los días de la semana (7)

- VHP o Volumen Horario Proyectado, es aquel que obtiene al multiplicar el TPDA por el coeficiente K, que puede ser 0.15 en zonas urbanas (Pariona, 2018).

**Tipos por categoría de vehículos.** Se tienen los siguientes.

### **Categoría M.**

**Categoría de auto.** El término auto también permite referirse a un automóvil o coche. Como su nombre lo indica (automóvil), se trata de un vehículo que se mueve por sí mismo y que puede ser guiado por el conductor a través de un camino sin la necesidad de carriles fijos (Pariona, 2018).

**Categoría de couster.** es un microbús que hasta su tercera generación fue fabricada por la Toyota Motor Corporación, en la planta de Toyota Body Co. en Yoshiwara, Japón. La cuarta generación es fabricada actualmente en la planta de Gifu, en Japón, fue introducido en 1969, y cuenta con cuatro generaciones de modelos (MTC, 2020).

**Categoría de minivan.** Es un vehículo diseñado sobre la plataforma de un sedán con gran espacio al interior. Está pensado principalmente para ciudad, su manejo es menos dispuesto a maniobras o acatar la presión de grandes velocidades sin complicar su control (MTC, 2020) (Figura 1).

Figura 1

## Categoría de vehículos

Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.		
M <sub>1</sub>		Vehículos de ocho plazas como máximo (excluida la del conductor) diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
M <sub>2</sub>		Vehículos con más de ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima no supere las 5 toneladas, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
M <sub>3</sub>		Vehículos con más de ocho plazas (excluida la del conductor) cuya masa máxima supere las 5 toneladas, diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros.
M	Especial 	Vehículo destinado a desempeñar una función que requiera disposiciones especiales de la carrocería o del equipo. Esta categoría incluirá los vehículos accesibles en silla de ruedas, autocaravana, blindado, grúa móvil y otros.
N Vehículos de motor con al menos cuatro ruedas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.		
N <sub>1</sub>		Vehículos cuya masa máxima no supere las 3,5 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.
N <sub>2</sub>		Vehículos cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas e inferior a 12 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.
N <sub>3</sub>		Vehículos cuya masa máxima supere las 12 toneladas diseñados y fabricados para el transporte de mercancías.
O Remolques (incluidos semi-remolques).		
O <sub>1</sub>		Remolques con una masa máxima que no supere las 0,75 toneladas.
O <sub>2</sub>		Remolques cuya masa máxima sea superior a 0,75 toneladas e inferior a 3,5 toneladas.
O <sub>3</sub>		Remolques cuya masa máxima sea superior a 3,5 toneladas e inferior a 10 toneladas.
O <sub>4</sub>		Remolques cuya masa máxima supere las 10 toneladas.

Nota. Tomado de MTC (2020)

### Categoría N.

**Categoría de bus interprovincial o buses de pasajeros.** Son de ruta, colectivo, bondi, micro u ómnibus, son los nombres más comunes del vehículo diseñado para transportar numerosas personas a través de vías urbanas. En sistemas de autobús de tránsito rápido, la capacidad de los buses puede variar entre 160 y 240 pasajeros (MTC, 2006).

### Categoría O.

**Categoría de carga, camiones con remolques.** Vehículo automóvil grande y potente, con remolques o de arrastre, que está constituido por una cabina en la que va el conductor y

una gran caja o depósito y que está destinado al transporte de carga pesada por carretera. (MTC, 2006)

**Categoría de volquetes.** Esta categoría es también conocida como *Camión Basculante* o *Bañera*, es empleada para el movimiento de tierras y para el acarreo de materiales en general. Está dotado de una caja abierta basculante que descarga por vuelco. Transporta cargas de hasta 20Tm. A diferencia del Camión Dúmpfer, la caja basculante se adapta a un bastidor dotado de motor. (MTC, 2006).

En lo referente a las características de la congestión vehicular, Saavedra (2014) señala lo siguiente:

La intensidad, está referido al número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía en una unidad de tiempo. Para determinar su medición se realizan aforos en determinados puntos de la vía, bien de forma manual o utilizando aparatos contadores. La composición. Además de conocer la cantidad de vehículos que atraviesan una determinada vía, es de gran ayuda conocer su composición, es decir los tipos y clases de vehículos que circulan por ésta y la velocidad de recorrido. Definido como el cociente entre la distancia total recorrida en un trayecto determinado y el tiempo transcurrido desde el instante en que el vehículo inicia su partida hasta que llega a su destino, incluyendo posibles detenciones y retrasos debido a la congestión vehicular.

En lo referente a las causas de la congestión vehicular, las causas de la congestión vehicular son diversas, sin embargo, entre las causas que las provocan se encuentran las de corto y largo plazo. Causas de corto plazo, el rápido incremento poblacional y de trabajo: el rápido crecimiento en el número de hogares y trabajos en un área inevitablemente aumenta el flujo diario de automóviles a través de dicha área. Mayor uso de vehículos automotores: la disminución del precio de los automóviles y el fácil acceso a un crédito hacen más accesible la posesión de autos particulares. Deficiente construcción de infraestructura vial: existen casos en

los que hay zonas con alta densidad poblacional, pero con pocas vías de acceso lo que ocasiona inevitablemente una congestión vehicular. (Thomson, citado por Ramos, 2020)

Sobre las Causas de largo plazo están la concentración de los viajes de trabajo en el tiempo: Debido a que la mayoría de organizaciones / empresas empiezan y terminan sus trabajos a la misma hora, de modo que los empleados tienen que movilizarse todos al mismo tiempo. Deseo de viajar en vehículos privados: Esto debido a que la mayoría de los ciudadanos prefiere viajar en vehículos privados usualmente solos porque dicha forma de viaje provee conveniencia, confort, privacidad y muchas veces una velocidad superior a la del transporte público. (Thomson, citado por Ramos, 2020)

**Emisiones vehiculares.** De acuerdo con la Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares (2007), los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, tres tipos de emisiones de gases contaminantes: Emisiones evaporativas, Emisiones por el tubo de escape, Emisiones de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de llantas. Seguidamente se pasa a detallar cada categoría:

#### **Emisiones evaporativas**

De acuerdo con la Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares (2007), las emisiones causadas por la evaporación de combustible pueden ocurrir cuando el vehículo está estacionado o cuando está en circulación. La magnitud de ello depende de las características del vehículo, de factores geográficos y meteorológicos como la altura y la temperatura ambiental y, principalmente, de la presión de vapor del combustible. La variedad de procesos por los que se presentan emisiones evaporativas en los vehículos incluye:

**Emisiones diurnas:** Son generadas en el sistema de combustible del vehículo debido a los cambios de temperatura a través de las 24 horas del día.

**Emisiones del vehículo recién apagado con el motor caliente:** Se presentan una vez que se apaga el motor, debido a la volatilización del combustible por su calor residual.

**Emisiones evaporativas en circulación:** Se presentan cuando el motor está en operación normal.

**Emisiones evaporativas del vehículo en reposo con el motor frío:** Ocurren principalmente debido a la permeabilidad de los componentes del sistema de combustible.

**Emisiones evaporativas durante el proceso de recarga de combustible:** Consisten en fugas de vapores del tanque de combustible durante el proceso de recarga, se presentan mientras el vehículo está en las estaciones de servicio.

**Emisiones por el tubo de escape.** Las emisiones por el tubo de escape son producto de la quema del combustible y comprenden a una serie de contaminantes tales como; monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y material particulado, además de ciertos contaminantes presentes en el combustible como el azufre y, hasta hace algunos años, el plomo. (Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2007).

Estas emisiones se dividen en emisiones en caliente y emisiones en frío (Pariona, 2018):

**Emisiones en caliente:** ocurre cuando hay estabilidad térmica en la operación del motor (motor caliente).

**Emisiones de partida en frío:** Sucede cuando el motor está se encuentra en proceso de calentamiento, es la fase durante la cual el motor está alcanzando la temperatura para su funcionamiento óptimo (Figura 2).

**Figura 2**

*Emisiones vehiculares (tubo de escape y evaporativas)*



*Nota.* Tomado de: Guía Metodológica para la estimación de emisiones vehiculares, 2007

**Emisiones de frenos y neumáticos.** Las emisiones de frenos y neumáticos se asocian al desgaste debido al tiempo de uso de los frenos y los neumáticos. Los contaminantes que se generan son material particulado y están en función de la categoría vehicular y del nivel de actividad que estos tengan. Para el caso específico de las emisiones de los neumáticos, estas están en función del número de llantas que posee el vehículo. (Pariona, 2018)

#### **Contaminación producida por el tráfico vehicular.**

Se considera así a la contaminación que es debida al exceso de la circulación rodada y provocada por los vehículos automotores, sobre Todo por la quema de combustibles fósiles, especialmente de la gasolina y el petróleo. (Thomson, citado por Ramos, 2020)

Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, los intereses propios, etc. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión. Entonces, una

definición más objetiva sería; la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito, aumenta el tiempo de circulación de los demás. (Thomson, citado por Ramos, 2020)

Por otro lado, la hora pico u hora punta se refiere a la hora del día que tiene el volumen de tránsito vehicular más alto; ósea, la hora en la cual circulan una mayor cantidad de vehículos y por lo tanto existe una mayor congestión vehicular. (Navarro, citado por Ramos, 2020)

Los contaminantes que se emiten del tráfico en la mayoría son el monóxido de carbono, los hidrocarburos, dióxido de carbono, oxígeno, opacidades, óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y macro partículas siendo éstas en los países desarrollados un 30% a 90% del total; emiten también compuestos de plomo que son una cantidad menor que dióxido de azufre 'sulfuro de hidrogeno. (Encarta, citado por Ramos, 2020)

En los vehículos con motor de combustión interna, contribuyen de manera importante al alto nivel de vida de los países desarrollados. Por ejemplo, las materias primas y productos de sus industrias pueden transportarse de la mina a la fábrica y de esta a la tienda con el mínimo esfuerzo humano mediante vehículos movidos por motores de combustión interna; en este caso no hay una chimenea que genere contaminantes; sino, veremos monóxidos de carbono que presenta el 3 % a gasolina. (Sans, citado por Ramos, 2020)

### **Emisiones de gases por parque automotor.**

Las emisiones de los vehículos automotores son el resultado de la combustión o de la evaporación del combustible. Los combustibles más comunes para el transporte son la gasolina (con o sin plomo) para vehículos livianos (como los automóviles) y el Diésel para los vehículos pesados (como los autobuses y los camiones). Se utilizan también otros combustibles comerciales en los vehículos livianos, como los alcoholes (el etanol y el metanol), mezclas de gasolina y alcohol, gas natural comprimido (GNC) y gas licuado de petróleo (GLP). Los

vehículos pesados utilizan también otros combustibles, como la gasolina, el GNV y el GLP. (Ministerio del Medio Ambiente [MINAM], 2018)

Las emisiones procedentes de los vehículos con motores de encendido por chispa son emitidas por el escape, el cárter y el sistema de combustible (carburador, líneas y tanque de combustible). El CO<sub>2</sub> y el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), los principales productos de la combustión, son liberados en los gases por el escape del vehículo. Los mayores contaminantes emitidos por los vehículos de gasolina son CO, HC, NO<sub>x</sub> y plomo. También, SO<sub>2</sub> puede estar presente en los gases del escape. (MINAM, 2018)

Los vehículos automotores propulsados por motores de combustión interna producen, en general, tres tipos de emisiones de gases contaminantes: Emisiones evaporativas, por el tubo de escape y de partículas por el desgaste tanto de los frenos como de llantas. (Garibay y Echanis; citado por Ramos, 2020)

### **Caracterización de emisiones por combustible**

En el país el sector transporte, es el principal consumidor de los combustibles derivados del petróleo y el principal emisor de CO y CO<sub>2</sub> a la atmósfera, participando en un 37 % de las emisiones totales generadas en el país. Consideremos que no todos los vehículos lanzan los distintos tipos de contaminantes en las mismas proporciones; éstas dependerán del tipo de motor que se utilice, el tipo de combustible, el estado y mantenimiento del vehículo, etc. (Valdeiglesias, citado por Valencia, 2017)

Los vehículos que emplean gasolina como carburante emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos. Los principales contaminantes emitidos por los vehículos que utilizan motores de ciclo diésel son partículas sólidas en forma de hollín que da lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídridos sulfurosos procedente del azufre contenido en el combustible. (Valdeiglesias, citado por Valencia, 2017)

## **Tecnología de control de emisiones**

**Filtro de partículas** Los motores diésel llevan en su sistema de escape un subsistema específico denominado FAP (Filtro Antipartículas) acoplado después del catalizador. Tiene como objetivo atrapar las partículas de hollín existentes en los gases de escape permitiendo el paso de los componentes gaseosos al exterior. Los FAP se diferencian de los catalizadores tradicionales en la posibilidad de regeneración, es decir, durante el funcionamiento del motor se va llenando el filtro de partículas y para evitar la saturación del mismo se dispone del proceso de regeneración del filtro. Esto consiste en realizar inyecciones de combustible posteriores a la inyección principal con el fin de facilitar la eliminación del hollín mediante su combustión en el filtro de partículas y así permitir nuevamente el flujo de gases de escape sin mermas y retener nuevas partículas de hollín. Pero con el paso del tiempo, llegan a saturarse, reduciéndose su capacidad filtrante y la facilidad de salida de los gases al exterior. (Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria, citado por Valencia, 2017)

**Catalizador de gases de escape** El catalizador es un dispositivo de post-tratamiento para los gases de escape con el objeto de disminuir gases de poca estabilidad molecular (dañinos para el cuerpo humano y el medio ambiente) para convertirlos en productos de alta estabilidad molecular y con casi nula reactividad en condiciones normales de presión y temperatura. Los motores de gasolina (encendido por bujías) disponen de “catalizadores de tres vías”, y se llaman así porque reducen las emisiones de tres contaminantes: CO, hidrocarburos y NOx. Para que el catalizador funcione tiene que haber un dosado próximo al estequiométrico. Los motores diésel en cambio, están diseñados para trabajar con exceso de aire, es decir, con un dosador inferior al estequiométrico, lo que imposibilita el funcionamiento de los catalizadores de reducción y por tanto estos motores solo llevan catalizadores de oxidación, y por ese motivo emiten mayor NOx que el de los de gasolina. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, citado por Valencia, 2017)

**Recirculación de los gases de escape (EGR)** En los motores con EGR se desvía parte de los gases de escape a la admisión del motor y puesto que estos gases tienen un contenido de oxígeno inferior al aire y contienen CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y nitrógeno, se consigue reducir las temperaturas máximas de los gases en la combustión de los cilindros del motor al disponer de menos oxígeno. Esta reducción de la temperatura máxima hace, por tanto, que disminuya la formación de NO<sub>x</sub>. En Europa, la EGR se ha instalado en casi todos los coches y furgonetas diésel vendidos desde que el límite euro II entrara en vigor en 1996 y en algunos de gasolina de elevadas prestaciones. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, citado por Valencia, 2017)

**Reducción catalítica selectiva (SCR)** La SCR es un catalizador avanzado que elimina a posterior el NO<sub>x</sub> de los gases de escape, a diferencia de la EGR, que reduce la formación de NO<sub>x</sub> en este sistema se inyecta urea en los gases de escape aguas arriba del catalizador SCR, formándose amoníaco (NH<sub>3</sub>), el cual reacciona con el NO y el NO<sub>2</sub> para dar N<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. La SCR se ha instalado en vehículos industriales y en grandes motores diésel, en el 2006 se generalizó el uso para encontrarse dentro de las normas establecidas en EURO IV y V. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, citado por Valencia, 2017)

### ***2.1.2 Bases teóricas de calidad del aire***

**Teoría de la contaminación.** El tema de contaminación del aire empezó a ser un problema para los científicos al presentarse eventos como los de Meuse Valley en 1930, donde murieron más de 60 personas por emisiones de SO<sub>2</sub> y fluoro carbonados; el de Donora Pennsylvania en 1948, dando muerte a más de 20 personas por emisiones de material particulado, y el más importante, en Londres en 1952 con la muerte de más de 4,000 personas también por presencia de partículas en exceso en el ambiente. Esto dio la alerta para tomar medidas radicales a nivel mundial en términos políticos y científicos. (De Nevers, citado por Tyler, 2013)

**Definición de calidad.** Son las características de un producto o servicio que le proporcionan la capacidad de satisfacer las necesidades de los clientes; o es la capacidad que se tiene para garantizar la satisfacción del cliente. (Juran, citado por Ramos, 2020)

**El aire.** El aire es un bien común limitado, indispensable para la vida; por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad por el uso o abuso indebido del mismo, de tal modo que se preserve su pureza como garantía del normal desarrollo de los seres vivos sobre la Tierra y de la conservación del patrimonio natural y artístico de la Humanidad. Todos tienen el deber de trabajar para lograr un mundo limpio y habitable, sustento de una mejor calidad de vida para las generaciones futuras. (Pariona, 2018)

El aire puro como la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre. (OMS, 2019)

**Calidad del aire.** La calidad del aire se refiere a la presencia en mayor o menor medida de contaminantes en la atmósfera, que puedan ser nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y para otros bienes de cualquier naturaleza. Se establecen índices de calidad del aire que proporcionan valores indicativos del estado de la atmósfera respecto a un contaminante en particular o a un conjunto de ellos. Estos valores se refieren a una escala definida a partir de conocimientos científicos sobre los niveles de los distintos contaminantes que pueden resultar nocivos para la salud humana, el medio ambiente, etc.

El concepto de calidad del aire -o índice de calidad del aire- hace referencia a las cantidades de contaminantes que se encuentran presentes en el aire. De este modo, cuando la calidad del aire es buena querrá decir que hay pocos contaminantes; mientras que cuando es mala, estaremos ante unos niveles de contaminación elevados. (OMS, 2019)

**Importancia de la calidad de aire.** En primer lugar, la calidad del aire que respiramos tiene un gran impacto en nuestra salud y bienestar; a nivel mundial, la contaminación atmosférica es la principal causa ambiental de muerte prematura, suponiendo un 5% del total de muertes mundiales. (OMS, 2021).

**El aire puro.** El aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros 14 hasta 0,5 milímetros,” los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre (OMS, 2021).

**Composición del aire.** El aire está formado por gases que habitan en nuestro entorno, estos gases son los que hacen que podamos sobrevivir en el planeta. La composición del aire no ha sido igual a lo largo de la historia, sino que ha sufrido una transformación a lo largo de millones de años, pasando por ejemplo de no existir el oxígeno antes de la existencia de los humanos, a ser la parte más importante de la composición del aire. Esta transformación ha ayudado a que el ser humano pudiera sobrevivir (Aguirre, 2018) (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Composición de aire seco en la parte más baja de la troposfera (libre de vapor de agua)*

<b>COMPOSICIÓN DEL AIRE SECO</b>			
<b>Componente</b>	<b>Masa Molecular (Kg/Kmol)</b>	<b>% Volumen</b>	<b>% Masa</b>
Nitrógeno (N <sub>2</sub> )	28.02	78.09	75.52
Oxígeno (O <sub>2</sub> )	32	20.95	23.15
Argón (Ar)	32.94	0.93	1.28
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	44.01	350 PPM	460 ppm
Neón (Ne)	20.18	18 PPM	12 ppm
Helio (He)	4	5 PPM	7 ppm
Metano (CH <sub>4</sub> )	16.05	1.5 PPM	8 ppm
Kriptón (Kr)	83.7	1 PPM	3 ppm
Hidrógeno (H <sub>2</sub> )	2.02	0.5 PPM	0.003 ppm
Ozono (O <sub>3</sub> )	48	0 - 12 PPM	0 - 20 ppm
<b>El aire húmedo incorpora una cantidad variable de vapor de agua</b>			
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	18.02	0 - 4%	0 - 2.5%

*Nota.* Tomado de. OMS (2018)

Según Aguirre (2018), los gases que forman el aire son los siguientes:

**Nitrógeno:** Constituye alrededor de un 78% del aire atmosférico. Es un componente esencial de los aminoácidos y de los ácidos nucleicos, elementos clave para los seres vivos. Además de formar parte del aire, también ocupa una parte de la composición elemental del cuerpo humano, un 3% para ser exacto. Es el elemento con mayor presencia en el aire que respiramos.

**Oxígeno:** Alrededor de un 20% del aire que respiramos. Es el elemento más importante para los seres vivos. Es necesario para la respiración, la acción más importante que relacionamos con el aire.

**Dióxido de carbono:** Ocupa tan solo un 0,03% del aire. Es resultado del uso de oxígeno en diferentes funciones vitales, y es expulsado como resultado de los procesos realizados por el sistema respiratorio.

**Agua:** El otro elemento vital para la vida humana ocupa un 0,97% del aire. Se encuentra en forma de vapor de agua, pero es difícil estar seguros de que porcentaje del aire ocupa, ya que su aparición depende de donde esté situado, siendo mayor el porcentaje a nivel del mar que en la atmósfera.

**Composición química del aire.** La composición química del aire atmosférico seco, que se encuentra usualmente en áreas rurales y sobre el océano, lejos de las masas de terreno. El aire atmosférico contiene también de 1 a 3 por ciento en volumen de vapor de agua, y trazas de dióxido de azufre, formaldehído, yodo, cloruro de sodio, amoníaco, monóxido de carbono, metano y un poco de polvo y polen. (Aguirre, 2018)

**Tabla 2**

*Composición química del aire*

Sustancia	Volumen (%)	Con contracción (Ppm) <sup>a</sup>
Nitrógeno	78.084±0.004	780,900
Oxígeno	20.946±0.002	290,400

Argón	0.934±0.001	9,300
Dióxido de carbono	0.033±0.001	315
Neón		18
Helio		5.2
Metano		1.2
Criptón		0.5
Hidrógeno		0.5
Xenón		0.08
Dióxido de nitrógeno		0.02
Ozono		0.01-0.04

*Nota.* Tomado de Hand of Air Pollution, Publications PHS AP-44 (PB 190-247), 1968 (40).  
a ppm es una abreviatura de partes por millón.

El 90% de la población humana respira aire contaminado; alrededor de siete millones de personas mueren cada año por la exposición a la contaminación del aire, especialmente a las conocidas como partículas finas o nanopartículas de menos de 2,5 micras de espesor (100 veces más delgadas que un cabello humano). Ser conscientes de lo que respiramos realmente y de los problemas para la salud que ello supone debería bastar para que gobiernos e instituciones tomen medidas al respecto para disminuir la contaminación del ambiente y, en consecuencia, hacer más respirable el aire que nos rodea (Wenfilter, 2021).

**Los gases nobles.** Un 1% de varios gases, no todos tienen la misma presencia dentro de la composición. Estos gases son los siguientes. (Aguirre, 2018)

**Tabla 3**

*Gases nobles*

Gas	Característica
Argón	El gas noble con mayor presencia.
Neón	Tiene pequeño protagonismo en la formación del aire, pero es un gas muy abundante en el universo.
Helio	La ligereza de este elemento ha hecho que se haya evaporado a lo largo de los siglos, y por tanto tiene poca presencia en la atmósfera.
Metano	Es uno de los elementos que contribuye al efecto invernadero.
Kriptón	Un gas noble con muy poca presencia.

Nota. Tomado de Aguirre (2018)

### Estándar de calidad de aire.

**Tabla 4**

*Estándares de calidad de aire por las normas peruanas*

Parámetros	Periodo	Valor (ug/m3)	Criterios de Evaluación	Método de análisis
Benceno (C6H6)	anual	2	media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO2)	24 horas	250	NE más 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO2)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM2.5)	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	anual	25	media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM10)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	anual	50	media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg)	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O3)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM10	mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM10 (Espectrofotometría de absorción atómica)
	anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H2S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Nota. Tomado de MINAM (2019)

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA), es un instrumento de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA, establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente. En el Perú tenemos cinco tipos de ECAs, que son para Agua, Aire, Suelo, Ruido y Radiaciones No Ionizantes (MINAM, 2018).

**Regulación internacional de los valores máximos permisibles de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>.** En las guías de calidad del aire relativas al dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre; señalan que, el valor guía actual de la OMS de 40 µg/m<sup>3</sup> (media anual).

**NO<sub>2</sub>:** se estableció para proteger al público de los efectos del NO<sub>2</sub> gaseoso en la salud. Esto debido a que los métodos de reducción de la concentración son específicos para los NO<sub>2</sub>, no están concebidos para controlar otros contaminantes que los acompañan, pudiendo incluso aumentar sus emisiones. Sin embargo, si se vigila el NO<sub>2</sub> como marcador de mezclas complejas de la contaminación derivada de la combustión se debería utilizar un valor guía anual más bajo (OMS, 2021). Los límites máximos permisibles son los siguientes (OMS, 2019).

NO<sub>2</sub>: -40 µg/m<sup>3</sup>, media anual.

-200 µg/m<sup>3</sup>, media de una hora.

**SO<sub>2</sub>:** los asmáticos experimentaron cambios en la función pulmonar y los síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO<sub>2</sub> de 10 minutos. Se recomienda que no se supere una concentración de SO<sub>2</sub> de 500 µg/m<sup>3</sup> durante periodos con una duración media de 10 minutos. Debido a que la exposición breve al SO<sub>2</sub> depende en gran medida de la naturaleza de las fuentes locales y las condiciones meteorológicas predominantes, no es posible aplicar un factor sencillo a este valor con el fin de estimar los valores guía correspondientes durante periodos de tiempo más prolongados, como por ejemplo una hora (Tabla 5).

SO<sub>2</sub>: -20 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

-500 µg/m<sup>3</sup>, media de 10 minutos

**Tabla 5***Calidad del aire de la OMS y objetivos intermedios para el SO<sub>2</sub>*

	Promedio de 24 horas (µg/m <sup>3</sup> )	Promedio de 10 minutos (µg/m <sup>3</sup> )	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio o-1 (OI-1)	125	-	-
Objetivo intermedio-2 (OI- 2)	50	-	Objetivo intermedio basado en el control de las emisiones de los vehículos de motor, las emisiones industriales y/o las emisiones de la producción de energía. Éste sería para algunos países en desarrollo un objetivo razonable y viable (se podría alcanzar en pocos años), que conduciría a mejoras significativas de la salud, las cuales, a su vez, justificarían la introducción de nuevas mejoras (por ejemplo, tratar de conseguir el valor de la GCA)
Guía de calidad del aire (GCA)	20	500	

*Nota.* Tomado de Guía de calidad de aire de la OMS (2015)

**Impactos en la salud y el ambiente de la mala calidad de aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.** Los contaminantes que cuentan con estándares de calidad ambiental establecidos como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub> y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), teniendo en cuenta pruebas científicas relativas a la contaminación del aire y sus consecuencias en la salud y múltiples estudios de investigación toxicológicos y epidemiológicos, cuyos valores han servido de base en el país, para la actualización y establecimiento de los ECA para el SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> respectivamente. A continuación, se detallan sus impactos en el ambiente y salud de las personas (Tablas 6 y 7).

**Tabla 6***Impactos en la salud y el ambiente de SO<sub>2</sub>*

<b>DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>Valor ECA</b> SO <sub>2</sub> : 250 µg/m <sup>3</sup> (24 h)
---	--

**Valor Guía OMS****SO<sub>2</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup> (media 24 h) 500 µg/m<sup>3</sup> (media 10 minutos)****Descripción**

Es un gas incoloro y no inflamable, de olor asfixiante e irritante. De vida media en la atmósfera corta (unos 2 a 4 días), casi la mitad de las emisiones vuelven a depositarse en la superficie, mientras que el resto se transforma en iones sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad, se reduce y transforma en trióxido de azufre. Es soluble en agua, formando la lluvia ácida (ácido sulfúrico), y sales como los sulfitos y bisulfitos. Más del 50 % de las emisiones de SO<sub>2</sub> provienen de las actividades antropogénicas, particularmente por la combustión del carbón y petróleo. Las fuentes móviles, fundiciones, siderurgia, refinerías son algunas de las principales fuentes; en tanto que los volcanes son fuentes naturales.

**Impactos a la salud y al ambiente**

Exposiciones prolongadas al SO<sub>2</sub> pueden producir deficiencias pulmonares permanentes por la broncoconstricción. Poblaciones vulnerables como personas que sufren asma y bronquitis crónica expuestas a altas concentraciones de SO<sub>2</sub> durante períodos cortos pueden presentar irritación del tracto respiratorio, reacciones asmáticas, espasmos reflejos, parada respiratoria y congestión en los conductos bronquiales. Los efectos se empeoran cuando el SO<sub>2</sub> se combina con las partículas o humedad del aire, pues tiene un efecto sinérgico ya que la combinación de ambos tiene un efecto mayor que la suma individual de cada uno de estos contaminantes.

**La formación de la lluvia ácida puede perjudicar lagos (acidifica las aguas superficiales), la vida acuática, produce destrucción de bosques, cultivos, los materiales de construcción y vida silvestre.**

*Nota.* Tomado de MINAM (2018)

**Tabla 7***Impactos en la salud y el ambiente de NO<sub>2</sub>*

<b>DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>Valor ECA</b>
	<b>NO<sub>2</sub>: 200 µg/m<sup>3</sup> (1 h) 100 µg/m<sup>3</sup> (anual)</b>
	<b>Valor Guía OMS</b>
	<b>NO<sub>2</sub>: 200 µg/m<sup>3</sup> (media de 1 h) 40 µg/m<sup>3</sup> (media anual)</b>
<b>Descripción.</b>	
El nitrógeno es el elemento más común del aire que respiramos (78 %), y conforma un grupo de óxidos como el óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ); el primero es relativamente inofensivo, pero el segundo puede causar efectos adversos en la salud y bienestar.	
Las fuentes naturales más comunes son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica; en tanto que la principal fuente antropogénica es la quema de combustibles fósiles. En presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta es la principal fuente de ozono troposférico (precursor de O <sub>3</sub> ) y de aerosoles de nitratos que constituyen una fracción importante de la masa de MP del aire.	
<b>Impactos a la salud y al ambiente</b>	
El NO <sub>2</sub> daña el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las zonas más profundas de los pulmones irritándolos, puede bajar la resistencia a infecciones respiratorias, como la gripe. La exposición continua o frecuente a las concentraciones más altas que las típicamente encontradas en el aire ambiental, puede causar una mayor incidencia de enfermedades respiratorias en niños. Al igual que el SO <sub>2</sub> contribuye en la formación de la lluvia ácida (ácido nítrico), con los subsecuentes efectos adversos para el ambiente, vida animal e infraestructura.	
<i>Nota.</i> Tomado de MINAM (2018)	

**Métodos de monitoreo de la calidad del aire según su tecnología.** Los contaminantes que cuentan con estándares de calidad ambiental establecidos como el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), teniendo en cuenta pruebas científicas relativas a la

contaminación del aire y sus consecuencias en la salud y múltiples estudios de investigación toxicológicos y epidemiológicos.

De acuerdo con las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican, se pueden clasificar en cuatro tipos genéricos: (i) sistemas manuales pasivos, (ii) sistemas manuales activos, (iii) sistemas automáticos, y (iv) sensores remotos.

En específico, para tomar una muestra de aire, el dispositivo o equipo a ser utilizado debe permitir lo siguiente:

(i) Ingresar la muestra de aire: los equipos utilizados deben contar con una entrada u orificio que, por efecto de la succión de una bomba (en equipos activos o automáticos), la difusión pasiva o la difusión molecular (en muestreadores pasivos para gases), permita el ingreso del aire con el analito para la toma de la muestra respectiva.

(ii) Contar con un medio de colección para la sustancia de interés: El medio de colección puede ser físico (Ej.: filtro) o químico (Ej.: el carbón activado o el tetracloromercurato de potasio). Ambos tipos de medios son aplicados en sistemas manuales pasivos v/o activos.

(iii) En el caso de los equipos automáticos: Como el análisis se realiza in situ, se debe contar necesariamente con una cámara analítica u otro dispositivo en el cual se analice la sustancia, a través de mecanismos ópticos como la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, entre otros.

(iv) Controlar V medir el paso del aire: Esto se logra mediante un controlador y medidor de flujo (en el caso de equipos activos o automáticos), o asumiendo un flujo teórico basado en la difusión molecular (en el caso de muestreadores pasivos para gases). (MINAM 2019)

**Sistemas manuales pasivos.** Los muestreadores pasivos, al ser métodos simples, 5010 permiten brindar una aproximación acerca del estado de la calidad del aire, principalmente en zonas donde no se realizan monitoreos permanentes. La medición de

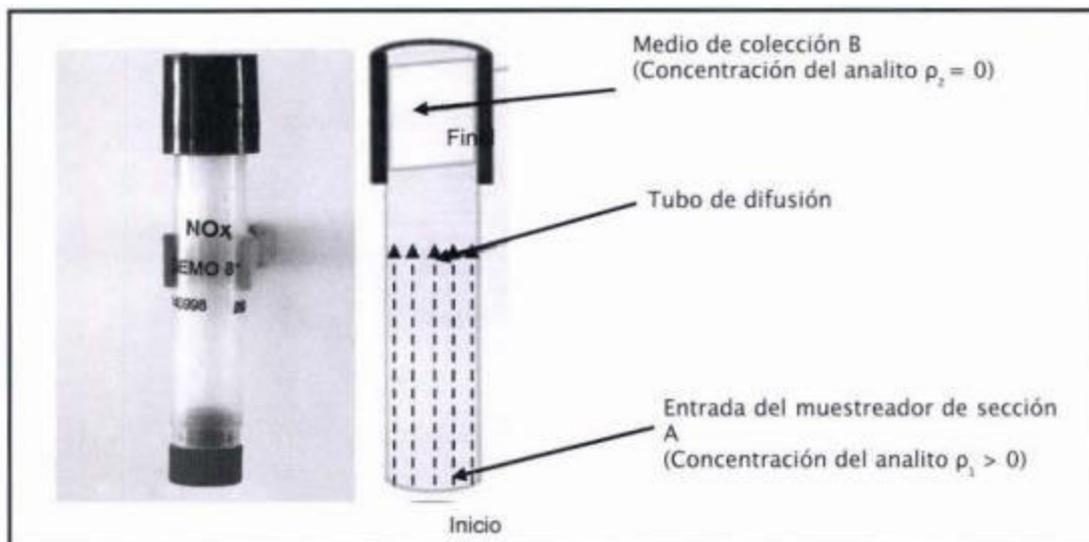
muestreadores pasivos cuenta actualmente con una metodología establecida en la Norma Técnica Peruana: NTP 900.036:2017 monitoreo de calidad ambiental. calidad del aire. (D.S. 010-2019-MINAM).

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea en 13528 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del SO<sub>2</sub>, es aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 Y 3. Por sus características, los muestreadores de difusión pasivos es recomendable para la vigilancia de los valores límite de largo período, para el seguido de tendencias de años, para el control del resultado de la implementación de planes estatales, así como para la comparación simultánea de varias regiones. En proyectos de tráfico se puede así determinar fácilmente el cambio de concentración del dióxido de nitrógeno. (MINAM, 2019)

**Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores.** Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Captadores difusivos para determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales". Los muestreadores pasivos son tubos cuyo tamaño y el flujo teórico (difusión molecular) varía de acuerdo al gas que se pretende medir, tal como se observa en la siguiente figura. (D.S. 010-2019-MINAM) (Figura 3).

**Figura 3**

*Diagrama de muestreador de difusión pasiva*



*Nota.* Tomado de MINAM (2019)

Como se puede observar en la Figura 3, el aire ingresa por la entrada del muestreador de sección A (en la posición de inicio con una concentración del analito  $P_i > 0$ ). Una vez dentro del tubo muestreador, el analito que forma parte del aire ingresado es absorbido en la posición final por el medio de colección  $S_u$ , el cual, en tanto no se encuentre saturado, permitirá que la concentración del analito  $P_2$  se mantenga en 0, a fin de asegurar una adecuada difusión molecular durante el periodo de muestreo (el mismo que, generalmente, es de un mes). Posteriormente, el muestreador es trasladado a laboratorio a efectos de que el analito absorbido por el medio de colección B sea analizado. El cálculo de concentración se basa en dividir la masa del analito (hallada en laboratorio) entre el volumen de muestra (basado en el flujo teórico indicado por el fabricante y el periodo de muestreo). (MINAM, 2019)

### **Método activo**

**Para material particulado.** "El método activo para material particulado, denominado también como método gravimétrico, cuyo funcionamiento se describe a continuación:

Una muestra de aire ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial, las partículas mayores que no son de interés del monitoreo. Luego, las sustancias de interés (tales como PTS, PM 10, PM2.5 o PM1) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo específico (de 23 a 25 horas). Con relación al filtro utilizado para la toma de la muestra, cabe precisar que este debe ser desecado y pesado antes y después del muestreo, a fin de registrar el peso inicial y final del filtro, puesto que la diferencia de ambos permitirá obtener el peso neto de la sustancia de interés (masa del material particulado). El cálculo de concentración de la sustancia de interés se basa en dividir la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico. (MINAM, 2019)

**Para gases ambientales.** El método activo para gases ambientales se basa en el tren de muestreo ambiental, el cual está conformado por un conjunto de impingers o frascos colectores para cada gas que se quiera muestrear. Los impingers tienen dos conexiones: una para el ingreso del aire, y otra para la salida del aire y su transporte hacia el dispositivo de control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión. A cada impingers se le vierte una cantidad de sustancia líquida absorbente como medio de colección. La sustancia a usar depende del analito que se desea medir. Para el cálculo de la concentración de la sustancia de interés, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico. (MINAM, 2019).

**Sistemas automáticos.** Los sistemas automáticos usan una bomba de succión, al igual que los otros sistemas anteriormente explicados. Sin embargo, a diferencia de ellos, el objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras del analito para ser analizadas en el laboratorio, sino determinar su concentración en una cámara de análisis, que usualmente utiliza métodos ópticos (entre ellos, la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersión de la luz y la atenuación de rayos beta). Métodos automáticos para gases ambientales Son técnicas que, de manera

similar a los métodos automáticos para material particulado, succionan la muestra de aire, la cual en lugar de ser colectada en alguna sustancia absorbente (medio de colección), ingresa a una cámara de medición donde se aplican metodologías ópticas para la determinación del analito. Con relación a estos métodos, cabe precisar que la concentración del analito en microgramos por metro cúbico se calcula dividiendo la masa (hallada en la cámara de medición) entre el volumen de la muestra. (MINAM, 2019).

**Sistemas híbridos.** Los sistemas híbridos combinan diversas metodologías (pasivas, activas o automáticas) para determinar las concentraciones de los parámetros de calidad del aire. La utilización de estos sistemas depende, en gran medida, de los objetivos planteados, recursos disponibles y la priorización de los parámetros de monitoreo a ser analizados. (MINAM, 2019)

**Regulación nacional de calidad ambiental del Perú.** La Ley General del Ambiente, Ley N°28611, establece en el Art. 118° de la protección de la calidad del aire, que las autoridades públicas, adoptan medidas para la prevención, vigilancia y control ambiental y epidemiológico, para asegurar la conservación, mejoramiento y recuperación de la calidad del aire, actuando prioritariamente en las zonas en las que se superen los niveles de alerta por la presencia de contaminantes, debiendo aplicarse planes de contingencia para la prevención o mitigación de riesgos y daños sobre la salud y el ambiente. La Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Ley N°28245, en su Art. 4 señala que las funciones ambientales de las entidades con competencias ambientales se ejercen en forma coordinada, descentralizada y desconcentrada con sujeción a la Política Nacional del Ambiente, el Plan y la Agenda Nacional y a las normas e instrumentos de carácter transectorial. La gestión ambiental en materia de Calidad del Aire se sustenta en estas dos leyes. Se debe mencionar que se tienen hitos que marcan la gestión de la calidad del aire, que se inicia con la dación del Código del Medio Ambiente, el cual es reemplazado por la Ley Marco del SNGA. (MINAM, 2018).

**Valores índices de calidad del aire (INCA).** Los valores del INCA fueron calculados tomando como referencia los ECA y como rango final, el valor umbral de aplicación de los estados de alerta, por lo que estos varían dependiendo del contaminante evaluado. Los valores de los intervalos correspondientes a los parámetros evaluados SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>; se presentan a continuación (Tablas 8 y 9). (MINAM. 2018)

**Tabla 8**

*Valores INCA, del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)*

Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (ug/m <sup>3</sup> )	Ecuación
0-50	0-10	$I(SO_2) = [SO_2] * 100 / 20$
51-100	11-20	
101-625	21-500	
>625	>500	

*Nota.* Tomado de MINAM (2018)

**Tabla 9**

*Valores INCA, del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*

Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) promedio 1 hora		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones (ug/m <sup>3</sup> )	Ecuación
0-50	0-10	$I(NO_2) = [NO_2] * 100 / 200$
51-100	101-200	
101-150	201-300	
>150	>300	

*Nota.* Tomado de MINAM (2018)

## 2.2. Normas legales

**Emisiones vehiculares.** Mediante el D.S. N°047-2001-MTC modificado por los Decretos Supremos N° 002-2003-MTC, N° 018-2003-MTC, N° 012-2005-PCM, N° 029-2005-MTC y N° 026-2006-MTC, se establecieron los Límites Máximos Permisibles de emisiones de contaminantes para vehículos motorizados que circulen en la red vial, esto a raíz de que en los

últimos años el mantenimiento de dichos vehículos ha sido inapropiado por falta de un adecuado sistema de control y debido a un crecimiento abrupto del parque automotor. Esta ley se orienta directamente a la satisfacción de las necesidades de los usuarios y al resguardo de sus condiciones de seguridad y salud; así como a la protección del ambiente y a la comunidad en conjunto.

#### **Reducción de productos contaminantes en combustibles.**

En el 2006, mediante la Ley N°28694: Ley que regula el contenido de azufre en el combustible diesel, con la finalidad de reducir el contenido de azufre en el diésel.

En el 2014. Mediante el Decreto Supremo N°039-2014-EM Aprueban Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos con la finalidad de eliminar el plomo de la gasolina.

Mediante el Decreto Supremo N°013-2016-MINAM se decidió crear el Grupo de Trabajo Multisectorial encargado de proponer medidas para mejorar la calidad del aire a nivel nacional vinculadas a las emisiones vehiculares (GTM). El mencionado GTM se encuentra conformado por el Ministerio del Ambiente, quien lo preside; el Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Transportes y Comunicaciones y Ministerio de Economía y Finanzas. Asimismo, el GTM ha venido coordinando continuamente con los sectores involucrados con la finalidad de viabilizar la adopción de la norma de emisiones Euro IV y equivalentes.

Mediante los Decretos Supremos N°018-2016-EM y N°025-2017-EM, se ampliaron significativamente las zonas con prohibición de uso y comercialización de diésel con contenido de azufre mayor a 50 ppm, lográndose tener ya cubierto aproximadamente el 90% de la demanda de diésel a nivel nacional, generando un impacto positivo en la calidad de aire en el Perú.

Mediante el Decreto Supremo N°025-2017-EM se estableció la prohibición de comercialización y uso de gasolinas y gasoholes de alto octanaje (RON 95/97/98) de más de

50 ppm de contenido de azufre a nivel nacional. Estas medidas sobre las gasolinas también fueron confirmadas en setiembre del 2017.

Mediante el Decreto Supremo N°010-2017-MINAM, se da la adopción de la norma de emisiones vehiculares Euro IV y equivalentes, vigente desde el 1 de abril del 2018, reemplazando a la tecnología EURO III (D.S. N° 047-2001-MTC) vigente desde el año 2007 para vehículos gasolineros y 2015 para vehículos Diesel. (MINAM, 2018)

Decreto supremo N°003-2018-MINAM. Aprueban Índices de Nocividad de Combustibles (INC) 2018- 2019. El INC contempla un ranking de los combustibles utilizados en el mercado nacional de acuerdo al potencial contaminante de cada uno de ellos. Este ranking está asociado a un índice que se usará con fines tributarios. También se usa de base para incentivar el uso de combustibles más limpios a fin de lograr la disminución de las emisiones de contaminantes y proteger la calidad del aire y la salud de la población.

#### **Tabla 10**

*Índices de Nocividad de Combustibles (INC) para el periodo 2018- 2019*

<b>Tipo de combustible</b>	<b>INC</b>
Gas natural	1,0
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	2,5
Gasohol 95/97/98 Octanos	5,2
Carbón Antracitrico	6,5
Gasohol 90 octanos – S50	7,5
Gasohol 90 octanos	8,1
Diesel B5 – S5000	14,9
Turbo A1	18,3
Petróleo industrial N°6	27,9
Gasohol 84 octanos – S50	30,2
Gasohol 84 octanos	30,8
Petróleo industrial N° 500	37,8

*Nota.* Tomado de. MINAM (2018)

El MINAM determinó los INC usando como base de referencia al combustible más limpio disponible en el país (gas natural), además, se tomó en cuenta los contaminantes emitidos por los combustibles, considerando distintas fuentes de emisión (vehículos, aviones,

calderas, hornos, cocinas, entre otros). Y se formularon tomando en consideración cinco contaminantes, seleccionados en función a su importancia como indicadores para proteger la calidad del ambiente y la salud: óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), material particulado (PM<sub>2,5</sub>) e hidrocarburos no metánicos.

D.S. N°007-2020-MINAM- Aprueban índices de nocividad de combustibles (INC) para el período 2020 – 2021. A continuación, se detallan los índices de nocividad para cada uno de los combustibles que conforman la actual matriz energética del país. De acuerdo a ello el Gas natural y GLP son los combustibles con menor índice de contaminación.

**Tabla 11**

*Índices de nocividad de combustibles (INC) para el período 2020- 2021*

<b>Tipo de combustible</b>	<b>INC</b>
Gas natural	1,0
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	2,3
Carbón Antracitrico	6,2
Carbón Bituminoso	9,5
Gasohol 95/97/98 Octanos	10,7
Gasohol 90 octanos – S50	12,5
Gasohol 90 octanos	13,1
Diesel B5 – S50	14,2
Diesel B5 – S5000	16,7
Turbo A1	17,5
Petróleo industrial N°6	26,5
Gasohol 84 octanos – S50	28,9
Gasohol 84 octanos	29,5
Petróleo industrial N° 500	36,0

*Nota.* Tomado de MINAM (2020)

Inspecciones técnicas vehiculares. En el 2008, mediante la Ley N°29237: Ley que crea el Sistema Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares, se establece la obligatoriedad de las revisiones técnicas vehiculares.

Renovación del parque automotor. Resolución Ministerial N° 395-2012-MTC/02 se aprueba el Cronograma del Régimen Extraordinario de Permanencia para vehículos destinados al servicio de transporte de personas de ámbito provincial de Lima Metropolitana.

### **MINAM y fiscalización ambiental**

Ley N°28611 – Ley general del ambiente, (publicada el 13 de octubre del 2005). “Artículo 31° Del Estándar de Calidad Ambiental. El Estándar de Calidad Ambiental (ECA), es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental. (...)”. “Artículo 113°.- De la calidad ambiental 113.1 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes. Son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental: Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente, identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten. Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas. (...)”.

Decreto Legislativo N°1013, Ley de creación, organización, y funciones del Ministerio del Ambiente. Conforme a lo dispuesto en el Decreto Legislativo N°1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, artículo 7, los literales k) y n) menciona que dicho ministerio tiene como funciones específicas el promover la protección de la calidad del aire y el desarrollo y uso de tecnologías, prácticas y procesos de producción, comercialización y consumo limpios.

Ley N°28245, Ley Marco del sistema nacional de gestión ambiental. De conformidad con la Ley N.º 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, artículo 10, en el numeral 10.2 el Ministerio del Ambiente está facultado para dictar las disposiciones requeridas para, entre otras, fomentar la utilización de tecnologías y fuentes de energía limpias.

Ley N°29325 – Ley del sistema nacional de evaluación y fiscalización ambiental (04.03.2009). Artículo 4.- Autoridades competentes Forman parte del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental: a) El Ministerio del Ambiente (MINAM). b) El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). c) Las Entidades de Fiscalización Ambiental, Nacional, Regional o Local”. Artículo 6.- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA); es un organismo público técnico especializado, con personería jurídica de derecho público interno, que constituye un pliego presupuestal. Se encuentra adscrito al MINAM y se encarga de la fiscalización, supervisión, evaluación, control y sanción en materia ambiental, así como de la aplicación de los incentivos, y ejerce las funciones N°1013. El OEFA es el ente rector del Sistema de Evaluación y Fiscalización Ambiental”. Artículo 7.- Entidades de Fiscalización Ambiental Nacional, Regional o Local Las Entidades de Fiscalización con facultades expresas para desarrollar funciones de fiscalización ambiental, y ejercen sus competencias con independencia funcional del OEFA. Estas entidades forman parte del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental y sujetan su actuación a las normas de la presente Ley y otras normas en materia ambiental, así como a las disposiciones que dicte el OEFA como ente rector del referido Sistema”.

D.S. N°022-2009-MINAM – Reglamento de Organización y Funciones del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA (publicado el 15 de diciembre del 2009) “Artículo 5º.- Competencia del OEFA, El OEFA es el ente rector del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental, encargado de la evaluación, supervisión, control, fiscalización y sanción en materia ambiental, así como de la aplicación de los incentivos, con

la finalidad de garantizar el cumplimiento de la legislación ambiental de los instrumentos de gestión ambiental, por parte de las personas naturales y jurídicas en el ámbito nacional, en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.

El OEFA ejecuta directamente las acciones de fiscalización y sanción de las actividades bajo su competencia, y supervisa el desempeño de las Entidades de Fiscalización Ambiental Nacional, Regional o Local, a través de acciones de seguimiento y verificación”.

Ley N°30011, Ley que modifica la Ley N°29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental (25.04.2013). Artículo 1°.- Modificación de la Ley 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental Modifícase los artículos 10, 11, 13, 15, 17 y 19; así como la sexta y séptima disposiciones complementarias finales. (...) “Artículo 11°.- Funciones generales, El ejercicio de la fiscalización ambiental comprende las funciones de evaluación, supervisión, fiscalización y sanción destinadas a asegurar el cumplimiento de las obligaciones ambientales fiscalizables establecidas en la legislación ambiental, así como de los compromisos derivados de los instrumentos de gestión ambiental y de los mandatos o disposiciones emitidos por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), en concordancia con lo establecido en el artículo 17, conforme a lo siguiente: a) Función evaluadora: comprende las acciones de vigilancia, monitoreo y otras similares que realiza el OEFA para asegurar el cumplimiento de las normas ambientales”.

Resolución de Consejo Directivo N°015-2014-OEFA/CD - Reglas para la atención de denuncias ambientales, presentadas ante el organismo de evaluación y fiscalización ambiental -OEFA (publicada el 9 de abril del 2014) “Artículo 4°.- Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales El Servicio de Información Nacional de Denuncias Ambientales es un servicio de alcance nacional que presta el OEFA para la atención de las denuncias ambientales, el cual comprende la orientación a los denunciantes, el registro de denuncias ambientales y el

seguimiento del trámite respectivo. Este servicio se brinda en forma presencial en todas las sedes a nivel nacional y, en forma virtual, a través de diversos medios de comunicación institucionales”. “Artículo 7º.- Atención de denuncias 7.1 Las denuncias ambientales sobre hechos que forman parte del ámbito de fiscalización directa del OEFA orientan la actuación de sus órganos de línea, los cuales podrán realizar las acciones de fiscalización ambiental contempladas en la ley para investigar los hechos denunciados. Las denuncias ambientales que recaen dentro del ámbito de competencia de otra Entidad de Fiscalización Ambiental - EFA, serán derivadas a esta para que sean debidamente atendidas. Las denuncias que se relacionen con la protección ambiental, pero que no generen acciones de fiscalización ambiental por parte del OEFA u otra EFA, serán remitidas a la autoridad ambiental competente, para que proceda conforme a sus atribuciones”.

**Normativa nacional de calidad de aire.** Se tienen las siguientes.

D.S. N°074-2001-PCM - Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire. Se aprueba los estándares de calidad de aire para proteger la salud, la presente norma establece los estándares nacionales de calidad ambiental del aire y los lineamientos de estrategia para alcanzarlos progresivamente.

El 21 de agosto del 2008 se aprobó mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire, los Estándares de Calidad Ambiental para Aire de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), benceno, hidrocarburos totales, hidrógeno sulfurado y material particulado con diámetro menor a 2,5 micras.

Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias. Esta norma dispone la derogatoria del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM y el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM.

**Mejoramiento de calidad del aire.** Se tienen las siguientes.

Resolución Ministerial N°142-2021-MINAM, se aprueba el Plan de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de Lima-Callao 2021-2025. Cuya finalidad es proponer mecanismos concretos y efectivos para la mejora de la calidad del aire de Lima y Callao, planteando acciones bajo el principio de objetivos compartidos y roles diferenciados. Por tanto, el Diagnóstico de la gestión de la calidad del aire de Lima - Callao establecerá la línea base para entender la problemática de la calidad del aire, así como orientará la toma de decisiones hacia la formulación de las estrategias de intervención del mencionado Plan.

**Municipalidad.** Se tienen las siguientes.

Ley N°27972 - Ley Orgánica de Municipalidades (publicada el 27 de mayo del 2003) “Artículo 80°.- Saneamiento, salubridad y salud Las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones: Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales: (...). Regular y controlar la emisión de humos, gases, ruidos y demás elementos contaminantes de la atmósfera y el ambiente”

**INACAL.** Se tienen las siguientes.

Ley N°30224 – Ley que crea el Sistema Nacional para la Calidad y el Instituto Nacional de la Calidad (publicada el 8 de julio del 2014) “Artículo 3°.- Definición y finalidad del Sistema Nacional para la Calidad El SNC, es un sistema de carácter funcional que integra y articula principios, normas, procedimientos, técnicas, instrumentos e instituciones del Sistema Nacional para la Calidad. Tiene por finalidad promover y asegurar el cumplimiento de la Política Nacional para la Calidad con miras al desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor”. “Artículo 5. Integrantes del Sistema Nacional para la Calidad El SNC está integrado por: a. El Consejo Nacional para la Calidad (CONACAL). b. El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y sus Comités Técnicos y Permanentes. c. Entidades públicas y privadas que formen parte de la infraestructura de la

calidad.” “Artículo 6º.- Objetivos del Sistema Nacional para la Calidad. El SNC tiene los siguientes objetivos:

Armonizar políticas de calidad sectoriales, así como las de los diferentes niveles de gobierno, en función a la Política Nacional para la Calidad. Orientar y articular las actividades de normalización, acreditación, metrología y evaluación de la conformidad, acorde con normas, estándares y códigos internacionales reconocidos mundialmente por convenios y tratados de los que el Perú es parte. Promover el desarrollo de una cultura de la calidad que contribuya a la adopción de prácticas de gestión de la calidad y al uso de la infraestructura de la calidad. Promover y facilitar la adopción y certificación de normas de calidad exigidas en mercados locales y de exportación, actuales o potenciales”. Artículo 9º.- Naturaleza del INACAL El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un Organismo Público Técnico Especializado adscrito al Ministerio de la Producción, con personería jurídica de derecho público, con competencia a nivel nacional y autonomía administrativa, funcional, técnica, económica y financiera. Constituye Pliego Presupuestal. El INACAL es el ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del SNC, responsable de su funcionamiento en el marco de lo establecido en la presente Ley.

### **2.3. Definición de términos**

#### **2.3.1. Calidad del aire**

Es la presencia de contaminantes en la atmósfera que puedan ser nocivos para la salud humana. Se establecen índices de calidad del aire que proporcionan valores indicativos del estado de la atmósfera respecto a un contaminante en particular o a un conjunto de ellos. Estos valores se refieren a una escala definida a partir de conocimientos científicos sobre los niveles de los distintos contaminantes que pueden resultar nocivos para la salud humana, el medio ambiente, etc. (MINAM, 2020)

### **2.3.2. Caracterización de emisiones**

Procedimiento mediante el cual se captan muestras en chimeneas y se analizan para determinar las concentraciones de contaminantes descargados a la atmósfera. (MINAM, 2020)

### **2.3.3. Contaminantes del aire**

Cualquier sustancia presente en el aire que por su naturaleza sea capaz de modificar los constituyentes naturales de la atmósfera, alterando sus propiedades físicas o químicas. Su concentración y período de permanencia en la misma puede originar efectos nocivos sobre la salud de las personas y el ambiente. (MINAM, 2020)

### **2.3.4. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)**

Es un gas denso, más pesado que el aire y muy soluble en agua, que constituye el principal contaminante derivado del azufre presente en los combustibles. En ambientes con niveles de aproximadamente 25mg/m<sup>3</sup> durante exposiciones de 10 minutos se perjudica el funcionamiento del sistema respiratorio. se genera por oxidación del azufre contenido en los combustibles al quemarse estos. Actualmente su nivel tiende a bajar dado que se exigen combustibles con bajo contenido de azufre. Como el SO<sub>2</sub> es soluble en agua, interacciona física y químicamente con la humedad ambiente. (MINAM, 2020)

### **2.3.5. Estrategias**

Una estrategia se define como un conjunto de acciones aplicadas con el fin de desarrollar un plan previamente establecido para conseguir un objetivo. Por ejemplo, el objetivo es lograr que la empresa incremente sus ventas en un 20% para la temporada de fin de año, y para lograrlo hay que seguir una estrategia, que será ese conjunto de decisiones y acciones que permitirán finalmente lograr ese objetivo. (Juran, citado por Flores, 2020)

### **2.3.6. Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)**

El dióxido de nitrógeno forma parte de un grupo de contaminantes gaseosos que se producen como consecuencia del tráfico rodado y de otros procesos de quema de combustibles

fósiles. Su presencia en el aire contribuye a la formación y modificación de otros contaminantes del aire tales como el ozono y las partículas en suspensión, así como a la aparición de la lluvia ácida (MINAM, 2020).

### **2.3.7. *Flujo vehicular***

El tránsito vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle. (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015)

### **2.3.8. *Estándar de Calidad Ambiental***

Aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la presente norma. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la norma. (MINAM, 2017)

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo de investigación se detallan los procedimientos que se desarrollaron para evaluar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> mediante el método de difusión pasiva, la cual abarca diseño, tipo y nivel de la investigación:

**Diseño: No experimental** porque no se manipulan las variables de estudio.

**Tipo: Transversal** porque se desarrolló el levantamiento de los datos en un periodo de tiempo.

**Nivel: Descriptivo** porque, se describieron las variables sin manipularlas ni alterar sus contenidos naturales, se describieron sus características para conocer los niveles de concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, y flujo vehicular que transitan en el distrito del Cercado de Lima.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

##### Ámbito temporal

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue llevado a cabo por un período de un año y cinco meses (Setiembre 2019 hasta Febrero del 2021), desde la búsqueda de la información, gestiones para la adquisición de los muestreadores pasivos, autorización de la Municipalidad de Lima y Protransito para colocar los dispositivos en los espacios públicos hasta la presentación final del informe de tesis. Con respecto al período de muestreo fue durante un mes aprox. (entre Agosto – Setiembre del 2020).

##### Ámbito espacial

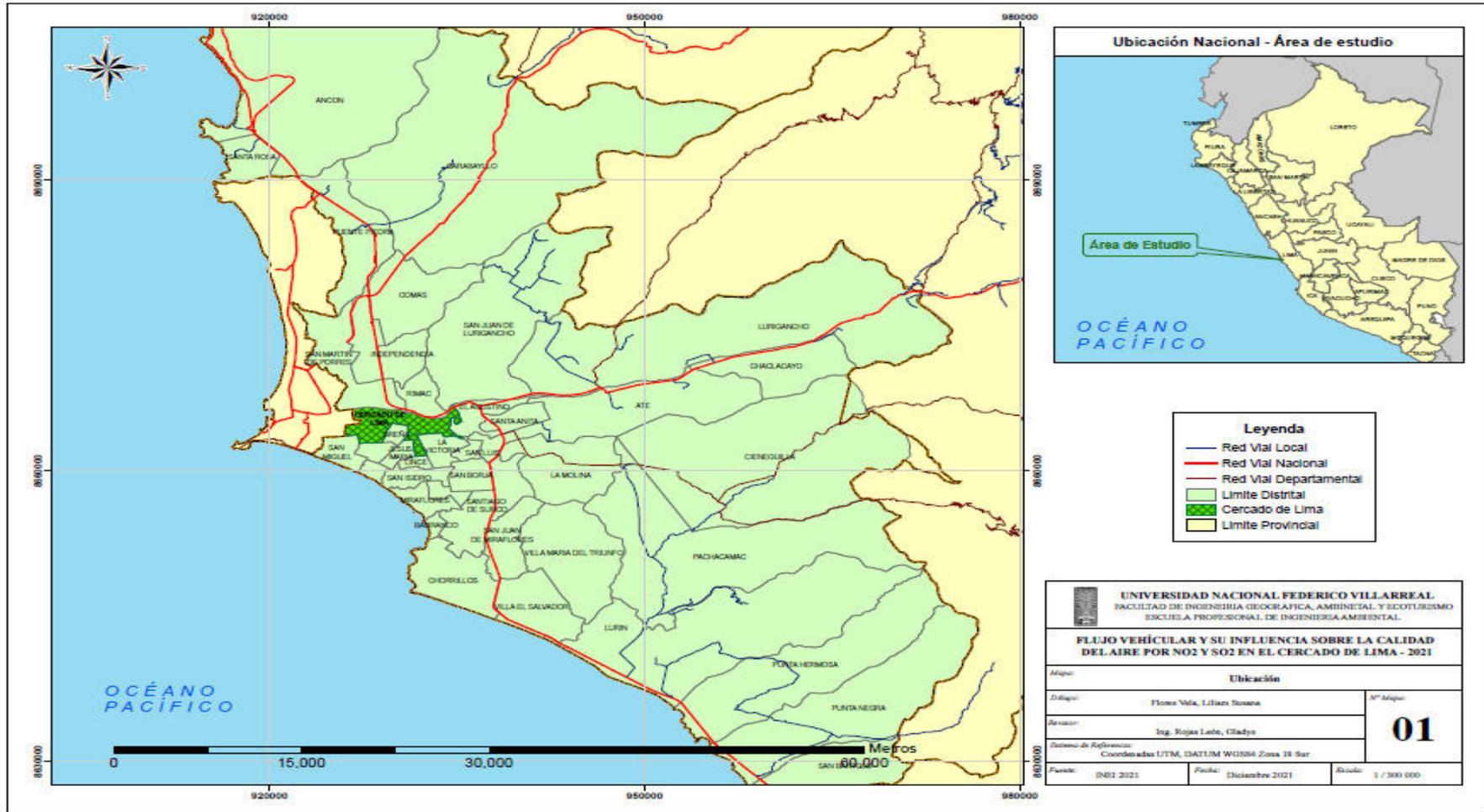
**Ubicación política.** Se desarrolló en el departamento y provincia de Lima Metropolitana; y específicamente en el distrito de Cercado de Lima, estando a una altitud media

del mar de los 161 msnm; cuya superficie es de 21.98 km<sup>2</sup>, con una densidad de población de 34,703 hab/km<sup>2</sup> y una población de 271,814 habitantes (INEI, 2017).

**Límites políticos del Cercado de Lima.** El Cercado de Lima, es el más antiguo de la capital; sin embargo, no cuenta con una ley particular que defina sus límites fronterizos con otros distritos, sino que estos se definen por la creación subsecuente de los distritos que forman sus fronteras, como Breña, Pueblo Libre, San Miguel, Jesús María, Lince, La Victoria, El Agustino, San Juan de Lurigancho, Rímac, San Martín y la Provincia Constitucional del Callao (ver Figura 4). (Secretaría de Demarcación y Organización Territorial-SDOT, 2021).

Figura 4

Mapa de ubicación



### 3.3. Variables

#### *Variable independiente V(x)*

Vara (2017), señaló que, la variable independiente V(x), es la que cambia o es controlada para ver sus efectos en la variable dependiente V(y).

$$V(x) = \text{Flujo vehicular}$$

**Definición conceptual.** El flujo vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015).

**Definición operacional.** El flujo vehicular se medirá mediante el conteo por tipos de vehículos, en los 5 puntos de estudio cuyas avenidas fueron Av.(s). Paseo Colón-Garcilaso de la Vega; Nicolás de Piérola-Cañete; Tingo María-Jr. Zorritos; Argentina-Av. Universitaria y Morales Duarez-Universitaria; donde se levantó información del flujo vehicular, es decir cantidad de vehículos, en dos turnos (mañana y tarde), por categoría de vehículo: y se empleó encuestas aplicadas a conductores para conocer características de sus vehículos, como tipo de combustible, capacidad de tanque, etc.

#### *Variable dependiente V(y)*

Vara. (2017), señaló que, la variable dependiente V(y), es la que es afectada por la variable independiente V(x). Se trata del efecto, de lo que se mide.

$$V(y) = \text{Calidad de aire..... (1)}$$

**Definición conceptual.** La calidad del aire se refiere a la presencia en mayor o menor medida de contaminantes en la atmósfera que puedan ser nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y para otros bienes de cualquier naturaleza.

Se establecen índices de calidad del aire que proporcionan valores indicativos del estado de la atmósfera respecto a un contaminante en particular o a un conjunto de ellos.

El concepto de calidad del aire -o índice de calidad del aire- hace referencia a las cantidades de contaminantes que se encuentran presentes en el aire. De este modo, cuando la calidad del aire es buena querrá decir que hay pocos contaminantes; mientras que cuando es mala, estaremos ante unos niveles de contaminación elevados (OMS, 2020).

**Definición operacional.** Para la medición de la calidad de aire NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, se empleó muestreadores pasivos los cuales fueron instalados por un periodo de 28 días posterior a ello se trasladó las muestras para los análisis en laboratorio y medir las concentraciones mediante el método Saltzmann SP01; enviados mediante la Empresa Klepel Consulting SAC.

**Operacionalización de variables.** Vara (2017), señaló que, es definir de manera clara como se observará y medirá cada característica de las variables del estudio (Anexo B).

### 3.4. Población y muestra

#### *Población (P)*

Supo (2019), señala que, la población “es el conjunto de individuos que tienen ciertas características o propiedades que son las que se desea estudiar”.

La población en la investigación está representada por los vehículos (conductor) que transiten en el distrito de Cercado de Lima considerando los 5 puntos de estudio durante el periodo de 25.08.2020 al 19.09.2020, los cuales se detallan a continuación:

**Punto 1:** 159908 vehículos (conductor)

**Punto 2:** 92017 vehículos (conductor)

**Punto 3:** 103354 vehículos (conductor)

**Punto 4:** 159278 vehículos (conductor)

**Punto 5:** 154604 vehículos (conductor)

Total =669161 vehículos (conductor).

**Muestra (n)**

Ramírez (1997), expresó que, cuando el total de las unidades de una pesquisa es parte de una muestra, es conocida o denominada una muestra censal. Por ello el universo, población y muestra se precisa como una población censal.

**Para encuesta a conductores.**

$$\text{Fórmula: } n = Z^2 \times q \times p \times N / E^2 (N-1) + Z^2 \times p \times q \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

N = Tamaño de la población (Número total de vehículos (conductor) = 669161)

n = Tamaño de la muestra (número de conductores a encuestar)

Z= Nivel de confianza o margen de confiabilidad (se utiliza un nivel de confianza alto: 95% Z=1.96)

p = Probabilidad de éxito en obtener la información (p=0.05).

q = Probabilidad de fracaso en obtener la información (1-0.05 = 0.95)

E = Error de estimación (E=0.05)

**Remplazando en la formula se obtiene lo siguiente:**

$$n = \frac{(1.96)^2 \times (0.05) \times (0.95) \times (669161)}{(0.05)^2 \times (669161 - 1) + (1.96)^2 \times 0.05 \times 0.95}$$

$$n = 385 \text{ encuestas a conductores}$$

La muestra estuvo representada por (n=385) conductores por tipos de vehículos que fueron registrados y pasaron por los 5 puntos, a los cuales se les aplicó la encuesta para conocer, principalmente, su opinión frente a los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con el muestreo las concentraciones del NO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> (Tabla 12).

**Tabla 12***Principales avenidas para el muestreo de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>*

Punto	Descripción	Coordenadas (UTM)	
		x (m)	y (m)
P1	Av. Paseo Colón - Av. Garcilaso de la Vega	12 <sup>a</sup> 03' 40" S	77 <sup>a</sup> 02' 24" W
P2	Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete	12 <sup>a</sup> 03' 05" S	77 <sup>a</sup> 01' 53" W
P3	Av. Tingo María - Jr. Zorritos	12 <sup>a</sup> 03' 27" S	77 <sup>a</sup> 03' 21" W
P4	Av. Argentina - Av. Universitaria	12 <sup>a</sup> 02' 40" S	77 <sup>a</sup> 04' 21" W
P5	Av. Morales Duarez - Av. Universitaria	12 <sup>a</sup> 02' 09" S	77 <sup>a</sup> 04' 34" W

**Criterios de inclusión.** Se consideraron los vehículos agrupados en pesados, livianos y menores; para la encuesta se seleccionaron choferes de los diferentes tipos de vehículos que circularon en los 5 puntos de estudio.

**Criterios de exclusión.** Para la cuantificación de vehículos y la encuesta a los choferes no se consideraron otros tipos de vehículos que no estuvieran en este rango; y que no pasaron por los 5 puntos de estudio.

### 3.5. Instrumentos

#### 3.5.1. Técnica

**Observación.** Supo (2012), señaló que, la observación es científica cuando es sistemática, controlada y cuenta con mecanismos destinados a evitar errores de subjetividad, confusiones, etc. La observación no participante es cuando no perturba la acción o situación que se está investigando. La observación participante implica conciencia en el evaluado; puede ser natural cuando el observador pertenece al conjunto humano que investiga, y artificial cuando la integración del observador es a propósito de la investigación.

En este contexto, se utilizó esta técnica para observar en fenómeno en campo, mediante el conteo por tipos de vehículos y la aplicación de la encuesta a los 385 conductores que fueron registrados y que pasaron por los 5 puntos de estudio; para determinar las concentraciones del NO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> mediante el muestreo pasivo.

**Documental.** Supo (2012), señaló que, se constituye la técnica de recolección de datos más básica y a la vez la más inexacta; corresponden a los estudios retrospectivos donde es la única forma disponible de recopilar la información. Habitualmente la información fue recolectada con fines distintos al estudio en curso. Los estudios basados en la documentación no cuentan con instrumentos de medición, únicamente con una ficha de recolección de datos donde debemos copiar o trasladar la información previamente registrada.

En este contexto, se aplicó esta técnica mediante el uso de fichas documentales de resumen, bibliográficas, electrónicas y textuales, donde se recogieron información relacionada con las variables, dimensiones e indicadores de estudio.

**Encuesta.** Supo (2012), señaló que, busca conocer la reacción o la respuesta de un grupo de individuos que pueden corresponder a una muestra o a una población, por lo tanto es cuantitativa, requiere de un instrumento que provoque las reacciones en el encuestado; es autoadministrado si el individuo completa los reactivos (asincrónico) y hetero administrado cuando hay un encuestador (sincrónico). El encuestador no necesariamente pertenece a la línea de investigación. Implica gran economía de tiempo y personal.

En este contexto se aplicó la encuesta a los 385 conductores por tipos de vehículos que fueron registrados y que pasaron por los 5 puntos de estudio.

### ***3.5.2. Instrumentos documentales***

Los instrumentos utilizados fueron la **ficha de observación, los diarios de campo y el cuestionario.**

Los instrumentos de investigación son los recursos que el investigador puede utilizar para abordar problemas y fenómenos y extraer información de ellos: formularios en papel, dispositivos mecánicos y electrónicos que se utilizan para recoger datos o información sobre un problema o fenómeno determinado. Cuestionario, termómetro, escalas, ecogramas (Garay, 2020).

**Ficha de observación.** Es un instrumento de recolección de datos, referido a un objetivo específico, en el que se determinan variables específicas. Una ficha de observación es un documento que intenta obtener la mayor información de algo, (sujeto) observándolo (Garay, 2020).

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó la ficha de observación para cuantificar el flujo vehicular en los 5 puntos de estudio en los días y horarios determinados en el rango de 28 días (Anexo E).

**Cuestionario.** Permite recolectar información y datos para su tabulación, clasificación, descripción y análisis en un estudio o investigación.

El Cuestionario es "un medio útil y eficaz para recoger información en un tiempo relativamente breve". En su construcción pueden considerarse preguntas cerradas, abiertas o mixtas (Garay, 2020).

Para el desarrollo de la presente investigación, se empleó el cuestionario para los choferes de los vehículos que pasaron por los puntos de estudio en los días y horarios determinados en la presente investigación durante el rango de 28 días (Anexo F).

**Diarios de campo.** Es un instrumento utilizado por los investigadores para registrar aquellos hechos que son susceptibles de ser interpretados. En este sentido, el diario de campo es una herramienta que permite sistematizar las experiencias para luego analizar los resultados (Garay, 2020).

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó el diario de campo para determinar las condiciones suscitadas el día en que se instaló y desinstaló los muestreadores pasivos en los puntos de estudio (Anexo G).

### 3.5.3. Instrumentos mecánicos

#### Materiales y equipos

**Tabla 13**

*Equipos y materiales para registrar y administrar datos*

<b>Equipos</b>	<b>Descripción</b>
Estación Campo de marte	Fue empleado para determinar los parámetros meteorológicos.
Muestreadores pasivos combinados NO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub>	Fue empleado como muestreador de NO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> N° de lote 43808, ID PEK 16, PEK 17, PEK 18, PEK 19 y PEK 23.
GPS Garmin Etrex 10	Fue empleado para ubicar los puntos de estudio de NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> en la etapa de campo.
Laptop Asus RYZEN 5	Sirvió como soporte para instalar los diversos Software a emplear.
<b>Materiales</b>	
Formatos para determinar flujo vehicular y <b>contómetro</b>	Sirvió para cuantificar el flujo vehicular e identificar nuestros puntos Críticos en la zona de estudio.
Google Earth	Ayudó a localizar los puntos de estudio.
ArcGIS 10.2.	Fue empleado en el procesamiento de datos para generar planos de ubicación, red de muestreo, entre otros.
Software Microsoft Office 2010	Fue empleado para la sistematización, digitalización de datos generados y presentación de la presente investigación.
WRPLOT View – Free 7.0.	Sirvió para elaborar la rosa de viento.
Escalera de aluminio	Sirvió para instalar los portatubos que contenían los muestreadores pasivos para NO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> .
Camioneta	Sirvió para trasladarnos a los 5 puntos de estudio.
Cintillos o precintos de seguridad	Sirvió para asegurar los portatubos que contenían los muestreadores pasivos para NO <sub>2</sub> /SO <sub>2</sub> .
Pasajes y personal de apoyo	Se hicieron las mediciones del flujo vehicular con personal de apoyo.

### 3.6. Procedimiento

Se divide en 4 etapas, las cuales se pasan a detallar:

#### **Etapa 1: Determinar el flujo vehicular**

### **Paso 1: Identificación Y Ubicación De Los Puntos De Estudio**

Se identificaron los 5 puntos de estudio correspondiente a las intersecciones de las principales avenidas del distrito de Cercado de Lima, posterior a ello se realizó un diagnóstico para la elección de los puntos de estudio basado en las diferentes categorías de vehículos que pasan por cada intersección, dirección del viento, libre de obstáculos y la accesibilidad al sitio.

Los 5 puntos de estudio fueron:

- **Punto 1:** Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega
- **Punto 2:** Av. Nicolás de Piérola – Jr. Cañete;
- **Punto 3:** Av. Tingo María - Jr. Zorritos
- **Punto 4:** Av. Argentina - Av. Universitaria
- **Punto 5:** Av. Morales Duarez – Av. Universitaria

**Paso 2:** Se tomaron las coordenadas de ubicación de cada punto de estudio mediante un GPS y fueron registradas en campo.

### **Paso 3: Identificación De Direcciones De Conteo Vehicular**

Para cuantificar el número de vehículos que circulan por cada intersección, se realizó un estudio observacional del desplazamiento vehicular, para que no se repita el paso de los vehículos por un mismo punto, se definieron las direcciones en la que circulaban los vehículos y se estableció de 3 a 4 ubicaciones en cada punto de estudio.

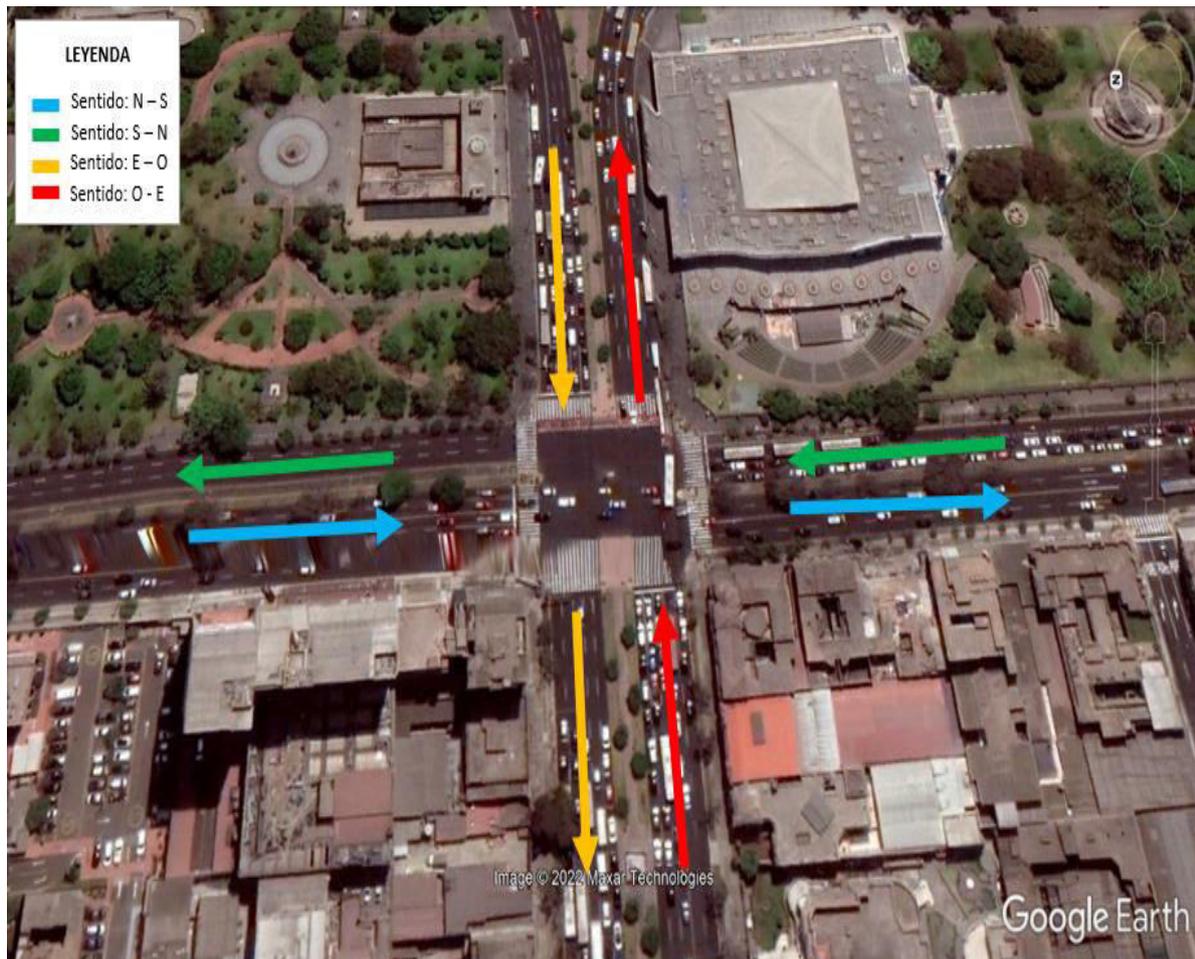
A continuación, se detallan las ubicaciones definidas por cada punto de estudio.

### Punto 1: Intersección de Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega

En el punto 1 correspondiente a la intersección de Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete, se identificaron cuatro ubicaciones para el conteo de vehículos, los cuales son: Norte – Sur, Sur – Norte, Este – Oeste y Oeste – Este (Figura 5).

#### Figura 5

*Puntos de conteo en Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega*



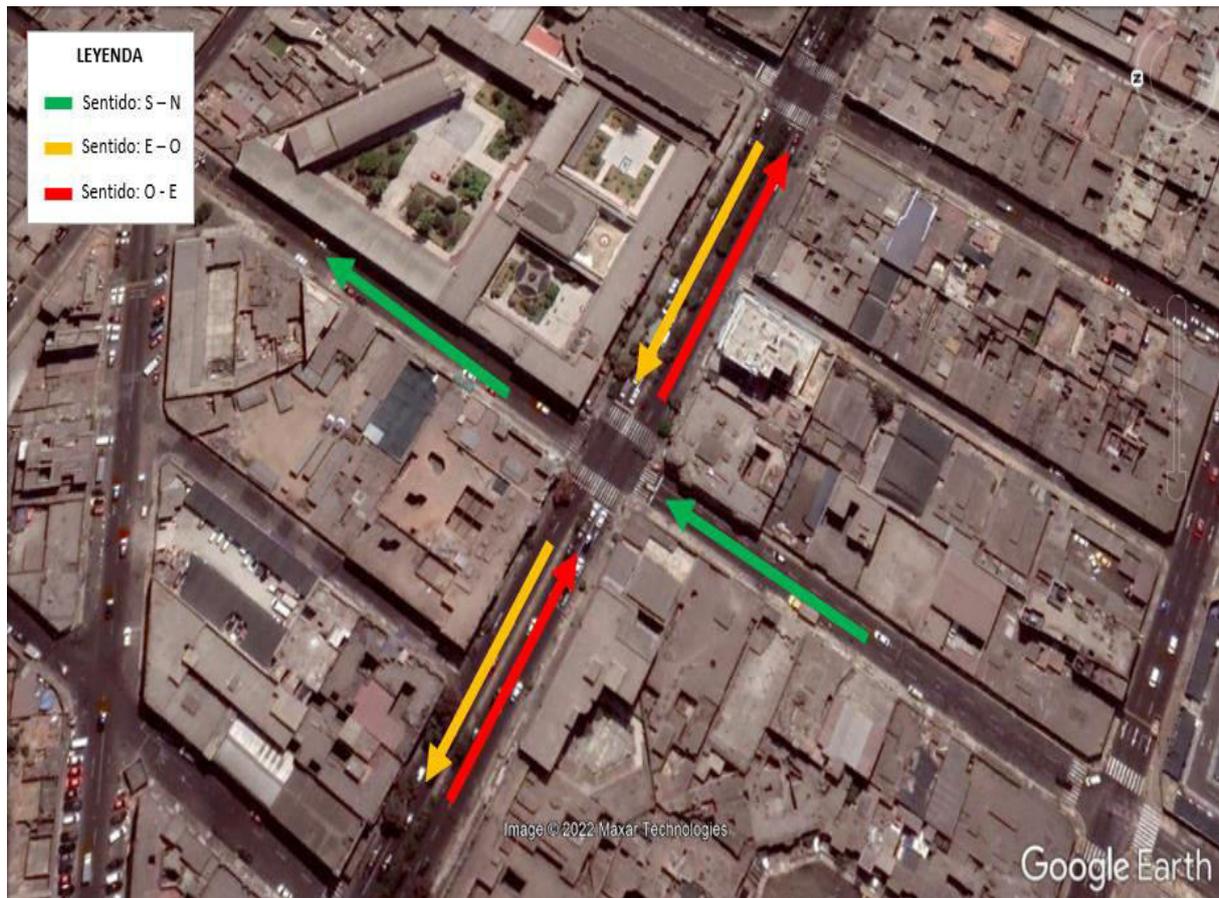
*Nota.* La figura detalla las direcciones de circulación de los vehículos en la intersección de estudio, figura adaptada de Google Earth.

## Punto 2: Intersección de Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete

En el punto 2 correspondiente a la intersección de Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete se identificaron tres ubicaciones para el conteo de vehículos, los cuales son: Sur – Norte, Este – Oeste y Oeste – Este (Figura 6).

### Figura 6

*Puntos de conteo en Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete*



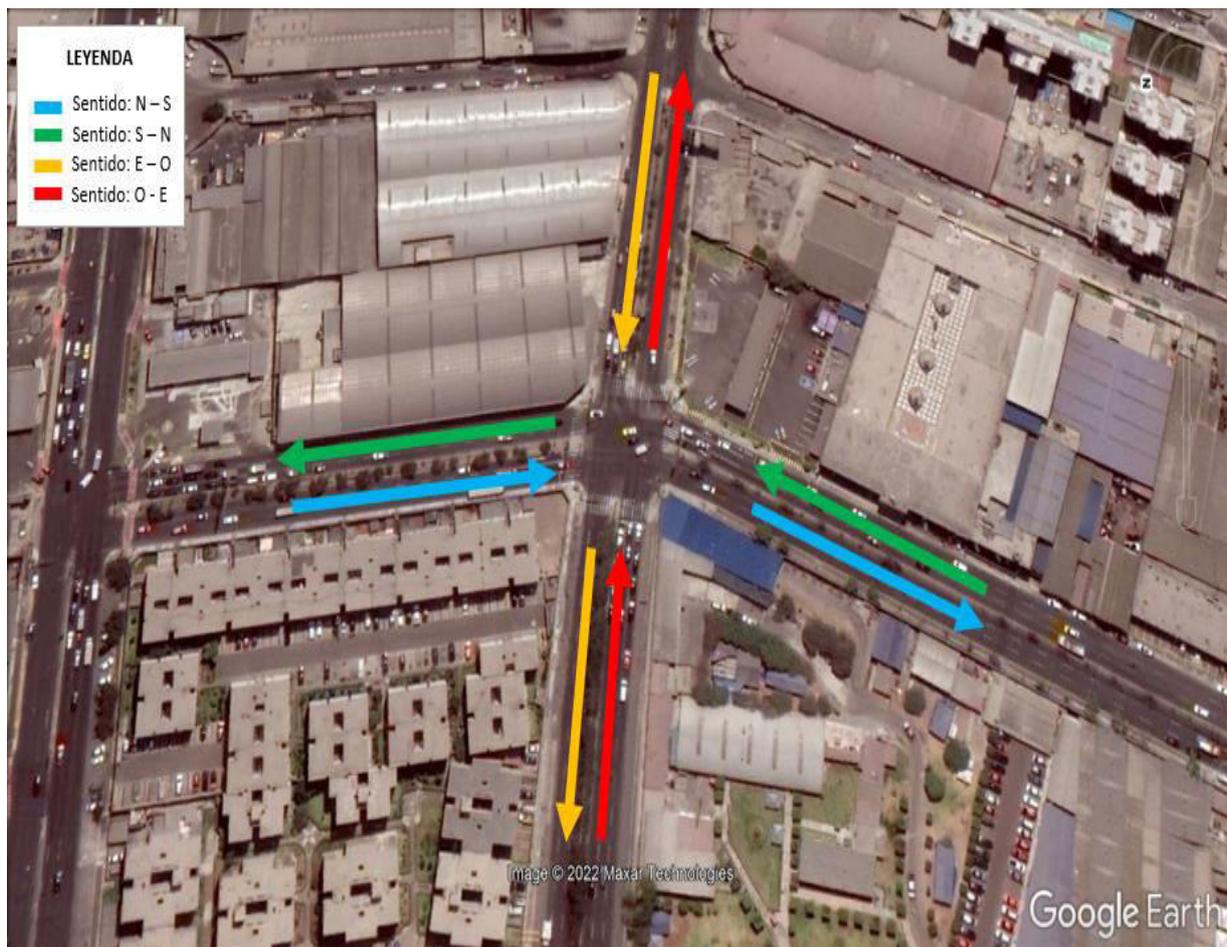
*Nota.* La figura detalla las direcciones de circulación de los vehículos en la intersección de estudio, figura adaptada de Google Earth.

### Punto 3: Intersección de Av. Tingo María - Jr. Zorritos

En el punto 3 correspondiente a la intersección de Av. Tingo María - Jr. Zorritos, se identificaron cuatro ubicaciones para el conteo de vehículos, los cuales son: Norte – Sur, Sur – Norte, Este – Oeste y Oeste – Este (Figura 7).

**Figura 7**

*Puntos de conteo en Av. Tingo María - Jr. Zorritos*



*Nota.* La figura detalla las direcciones de circulación de los vehículos en la intersección de estudio, figura adaptada de Google Earth.

#### Punto 4: Intersección de Av. Argentina - Av. Universitaria

En el punto 4 correspondiente a la intersección de Av. Argentina - Av. Universitaria, se identificaron cuatro ubicaciones para el conteo de vehículos, los cuales son: Norte – Sur, Sur – Norte, Este – Oeste y Oeste – Este (Figura 8).

#### Figura 8

*Puntos de conteo en Av. Argentina - Av. Universitaria*



*Nota.* La figura detalla las direcciones de circulación de los vehículos en la intersección de estudio, figura adaptada de Google Earth.

### Punto 5: Intersección de Av. Morales Duarez - Av. Universitaria

En el punto 5 correspondiente a la intersección de Av. Morales Duarez - Av. Universitaria, se identificaron cuatro ubicaciones para el conteo de vehículos, los cuales son: Norte – Sur, Sur – Norte, Este – Oeste y Oeste – Este. (Figura 9).

#### Figura 9

*Puntos de conteo en Av. Morales Duarez - Av. Universitaria*



*Nota.* La figura detalla las direcciones de circulación de los vehículos en la intersección de estudio, figura adaptada de Google Earth.

### Paso 4: Cuantificación del número de vehículos que circulan por cada intersección

Se cuantificó el número de vehículos que circulan por cada intersección y considerando los puntos de conteo fijados, las mediciones se realizaron tres días por semana, todos los martes, jueves y sábados durante 28 días del 25.08.2020 al 19.09.2020; con la ayuda de 3 a 4 colaboradores por cada una de los 5 puntos de estudio.

Las fechas para el conteo de vehículos de acuerdo a lo establecido para cada punto de estudio fueron los siguientes días:

- **Mes de Agosto:** 25, 27 y 29.
- **Mes de Setiembre:** 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19.

Los horarios contemplados para el conteo de vehículos para cada intersección fueron:

- **Turno mañana:** En el rango de 7:00 am a 09:00 am.
- **Turno tarde:** En el rango de 5:00 pm a 7:00 pm.

Se registró el número de vehículos que circularon por cada intersección diferenciándolos entre pesados, livianos y menores mediante las fichas de observación y uso de contómetros. Ver figura 10.

Las categorías de vehículos considerados fueron 3:

- **Vehículos menores:** Moto, mototaxi.
- **Vehículos livianos:** Auto, Camioneta, Combi, Micro (CUSTER), Ómnibus.
- **Vehículos pesados:** Camiones, Semitráiler, Tráiler.

### Figura 10

*Conteo de vehículos*



### **Paso 5 Analizar los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones De NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, En El Cercado De Lima**

Para lograr este objetivo se levantó información en campo mediante la encuesta, que fuera aplicada a los 385 conductores de los diferentes vehículos que circularon por los 5 puntos de estudio; en esta etapa se analizó los resultados de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> con los resultados de las encuestas referente a los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado que influyen en las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. Las preguntas del cuestionario fueron:

- Tipos de combustible
- Motor de los vehículos
- Antigüedad de vehículos
- Revisión técnica
- Tecnología para el control de emisiones

Con los datos obtenidos en campo se elaboró y procesó la base de datos; planteándose preliminarmente las estrategias que contribuyan a mejorar la calidad del aire y minimizar el flujo de vehículos en las zonas en estudio (Figura 11).

**Figura 11**

*Encuestas realizadas a conductores de los vehículos*



## **Etapa 2: determinar la concentración de NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>**

### **Paso 1: Adquisición E Instalación De Muestreadores Pasivos Combinados De NO<sub>2</sub>/ SO<sub>2</sub> En los Puntos De Estudio**

Se gestionó a través de la empresa KLEPEL CONSULTING SAC la adquisición de los once muestreadores pasivos combinados de NO<sub>2</sub>/ SO<sub>2</sub>, además de seis portas tubos. Se recibió y se procedió a codificar los 6 porta tubos (Figura 12).

**Figura 12**

*Muestreadores pasivos y porta tubos*



**Paso 2:** Se gestionó los permisos con la Municipalidad Metropolitana de Lima, para instalar los muestreadores pasivos en los 5 puntos de estudio. Ver Anexo 8.

Se solicitó la autorización a PROTRANSITO para instalar los muestreadores pasivos en los postes de los semáforos (ver Anexo 9); se realizó la adquisición de materiales para la instalación de los muestreadores (wincha, precinto de seguridad y otros) y se gestionó con PROTRANSITO el préstamo de una escalera de aluminio y el traslado hacia los 5 puntos de estudio con su camioneta (Figura 13).

**Figura 13**

*Escalera de aluminio y camioneta PROTRANSITO*



**Paso 3:** Se prepararon la porta tubos, colocando en su interior 1 muestreador pasivo combinado de NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub> (Figura 14).

**Figura 14**

*Muestreador pasivo combinado SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> instalados en el Porta tubo*



**Paso 4:** Se instaló la porta tubos pasivos a una altura de 2.70 metros, en los postes de los semáforos ubicados en los puntos de estudio establecidos, se procedió con el llenado de la hoja de custodia respectiva por cada punto (intersección), en el cual se anotó la hora de instalación, la fecha inicial, el código PASSAM AG y ubicación. Así mismo se consideró la dirección del viento predominante para instalación de los dispositivos.

**Paso 5:** Se procedió a retirar los portatubos pasivos después de un período de 28 días, para lo cual se gestionó con PROTRANSITO el traslado con la camioneta y préstamo de la escalera de aluminio. Después de retirar todos los equipos muestreadores (porta tubos y muestreadores de difusión pasiva), se procedió a trasladarlo a la empresa KLEPEL CONSULTING SAC para su envío al laboratorio PASSAM AG de Suiza, y su posterior análisis.

### **Etapas 3: Comparación Y Análisis Respecto Al Flujo Vehicular Y A La Concentración Del NO<sub>2</sub> Y SO<sub>2</sub> En Los Puntos De Estudio**

Con los datos obtenidos de la cuantificación del flujo vehicular y las concentraciones de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> en cada intersección de estudio, se procedió a comparar y analizar mediante gráficos la relación entre la cantidad del flujo vehicular y el resultado de las concentraciones de SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> obtenidas en cada punto de estudio.

### **Etapas 4: Planteamiento De Estrategias Para Reducir El Flujo Vehicular Y Mejorar La Calidad Del Aire Por No<sub>2</sub> Y So<sub>2</sub> En El Cercado De Lima**

Para proponer las estrategias que tengan como objetivo reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad ambiental de las zonas en estudio; fue necesario lo siguiente.

**Paso 1:** Se analizaron las bases de las políticas y lineamientos definidos en las normas legales respecto a calidad del aire y el transporte de vehículos en zonas urbanas.

**Paso 2:** Con la información de los resultados sobre las causas y la medición de los efectos se propusieron un conjunto de estrategias de prevención, corrección y mitigación de los efectos ambientales en las personas (transeúntes y personas residentes).

**Paso 3:** Se establecieron los lineamientos para responder de manera oportuna, eficiente y eficaz a las eventualidades que pudiera ocurrir en el futuro; se procedió a definir las estrategias y acciones finales para optimizar los impactos positivos y mitigar, prevenir o reducir los impactos negativos que se presenten como producto del flujo vehicular en la calidad de aire de los 5 puntos en estudio, siendo de réplica para otros que similares características.

## **3.7. Análisis de datos**

### ***Análisis***

La aplicación de la ficha de observación para el conteo del flujo vehicular de acuerdo a su clasificación en cada uno de los 5 puntos de estudio y el cuestionario a los conductores que

se realizó in situ; primero se dio la presentación del interés y fin por recabar la información pertinente, se solicitó que sean los más sinceros con la respuesta. Se empleó el programa Microsoft Excel 2019, para la organización, análisis, interpretación y presentación de los datos, que se recogieron en campo (flujo vehicular) y los que nos brindó el laboratorio PASSAM AG (concentración de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>). Finalmente, los datos de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> fueron contrastados con las normas internacionales y sobre los estándares de calidad de aire –ECA, aprobado mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, relacionado con los estándares nacionales de calidad ambiental del aire.

A su vez se hizo uso del ArcGIS 10.2, para la construcción de mapas temáticos; se usaron programas informáticos de los equipos citados en los equipos y materiales, relacionados con el procesamiento e interpretación de datos; a su vez, se utilizó el Microsoft Office 2019, para la presentación de datos y los análisis estadísticos, presentados en tablas y figuras.

### **3.8. Consideraciones éticas**

La investigación salvaguarda, en primer término la propiedad intelectual de los autores utilizados, respecto a sus teorías y conocimientos científicos diversos, citándolos de manera apropiada y referenciándolos en las fuentes de la presente tesis; en segundo lugar, sobre la reserva de la información, por tratarse de información pública y privada, esta, no fue cambiada ni manipulada, se tomaron los datos, en su contexto natural, habiendo contado con la autorización de los conductores para la toma de la encuesta en campo. Los procedimientos y metodologías aplicadas constituyen “de por sí”, de hecho; en cuanto a su contextualización y aplicación en la realidad estudiada, y que es exhibida en la presente tesis; finalmente, se mantuvo en absoluta reserva la identidad y opiniones o comentarios de los conductores que participaron en la encuesta; a excepción de las personas, que por su trascendencia autorizaron su identificación.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Resultados sobre la cuantificación del flujo vehicular, considerando todo tipo de vehículo que circula por el distrito del Cercado de Lima:

**Flujo vehicular total por categorías:** A continuación, se presentan los siguientes resultados del conteo del flujo vehicular por categoría en los 5 puntos de estudio.

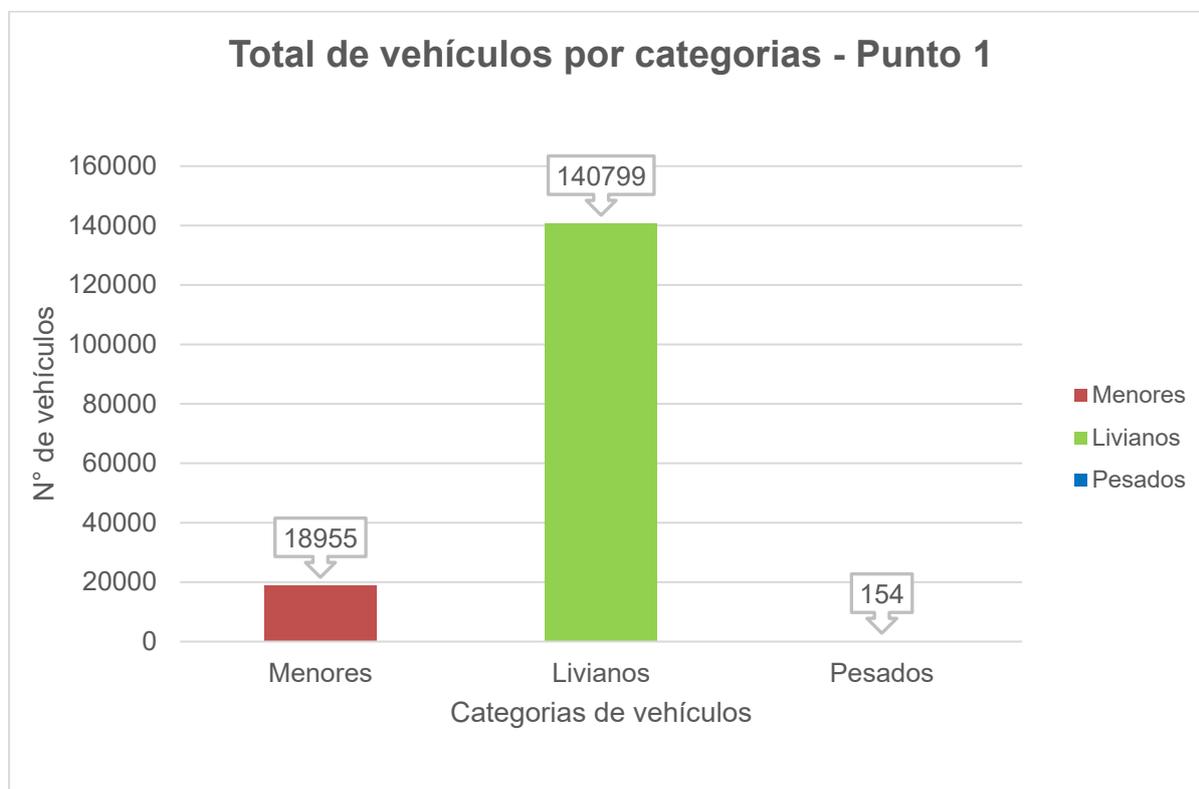
#### 4.1.1. *Flujo vehicular en la Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega*

El flujo vehicular en la Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la Vega se determinó mediante el conteo in situ y el uso de contómetros en 12 fechas de estudio, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020, en dos turnos mañana de 07:00 a. m. a 09:00 a. m., y por la tarde de 05:00 p. m. a 07:00 p. m.; identificando cuatro ubicaciones de conteo y clasificando los vehículos en pesados, livianos y menores.

Para determinar la cantidad total de vehículos por categoría; se sumó los totales por categoría (menores, livianos y pesados) de los dos turnos por los 12 días de estudio del punto 1 en la intersección de las avenidas Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la vega, (Figura 15).

**Figura 15**

*Flujo vehicular promedio de 07:00am – 09:00am /05:00pm – 07:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la vega (Punto 1)*



*Nota.* Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09,

**Interpretación.** En la figura 15, correspondiente a Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la vega, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan son livianos (88.05%) correspondiente a 140 799 vehículos, seguido de menores (11.85%) equivalente a 18 955 vehículos y finalmente los vehículos pesados (0.10%) correspondiente a 154 vehículos. En total circulan 159,908 vehículos.

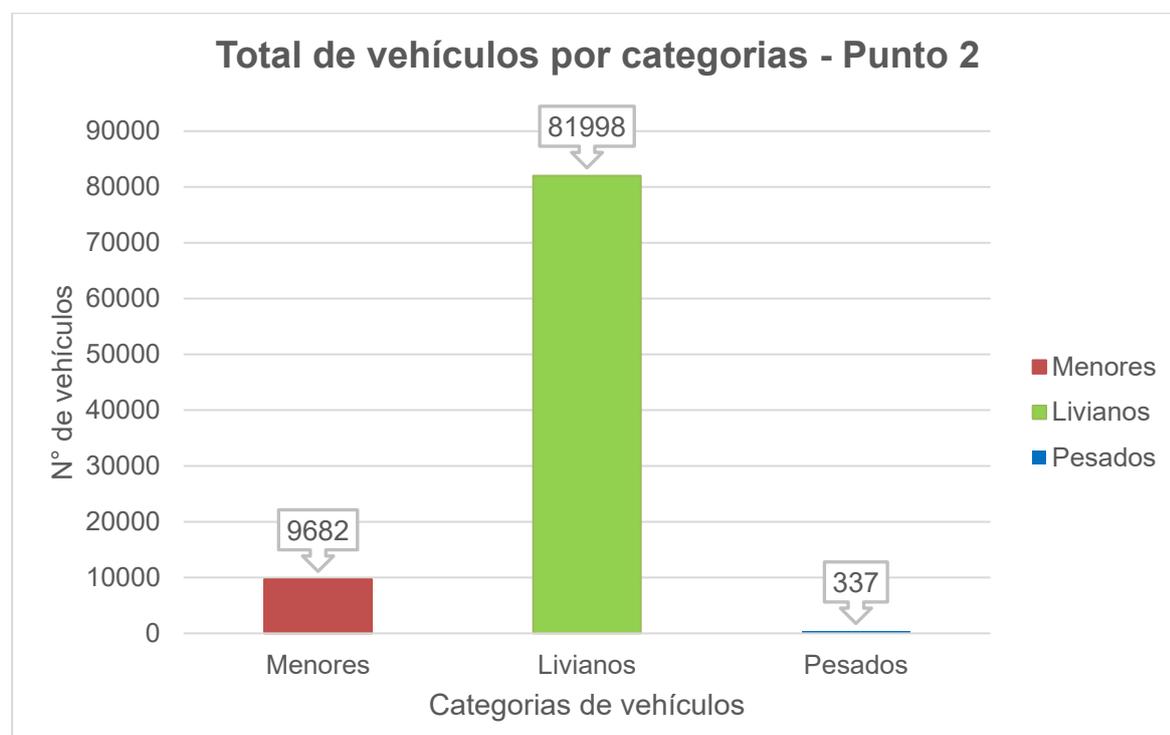
#### 4.1.2. Flujo vehicular en la Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete

El flujo vehicular en la Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete se determinó mediante el conteo in situ y el uso de contómetros en 12 fechas de estudio, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020, en dos turnos mañana de 07:00 a. m. a 09:00 a. m., y por la tarde de 05:00 p. m. a 07:00 p. m.; identificando tres ubicaciones de conteo y clasificando los vehículos en pesados, livianos y menores.

Para determinar la cantidad total de vehículos por categoría; se sumó los totales por categoría (menores, livianos y pesados) de los dos turnos por los 12 días de estudio del punto 2 correspondiente a la intersección de las Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete (Figura 16).

**Figura 16**

*Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Nicolás de Piérola – Av. Cañete (Punto 2)*



*Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09,*

**Interpretación.** En la figura 16, correspondiente a Av. Paseo Colón – Av. Garcilaso de la vega, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan son livianos (89.11%) correspondiente a 81 998 vehículos, seguido de menores (10.52%) equivalente a 9 682 vehículos y finalmente los vehículos pesados (0.37%) equivalente a 337 vehículos. En total circulan 92,017 vehículos.

#### ***4.1.3. Flujo vehicular en la Av. Tingo María – Jr. Zorritos***

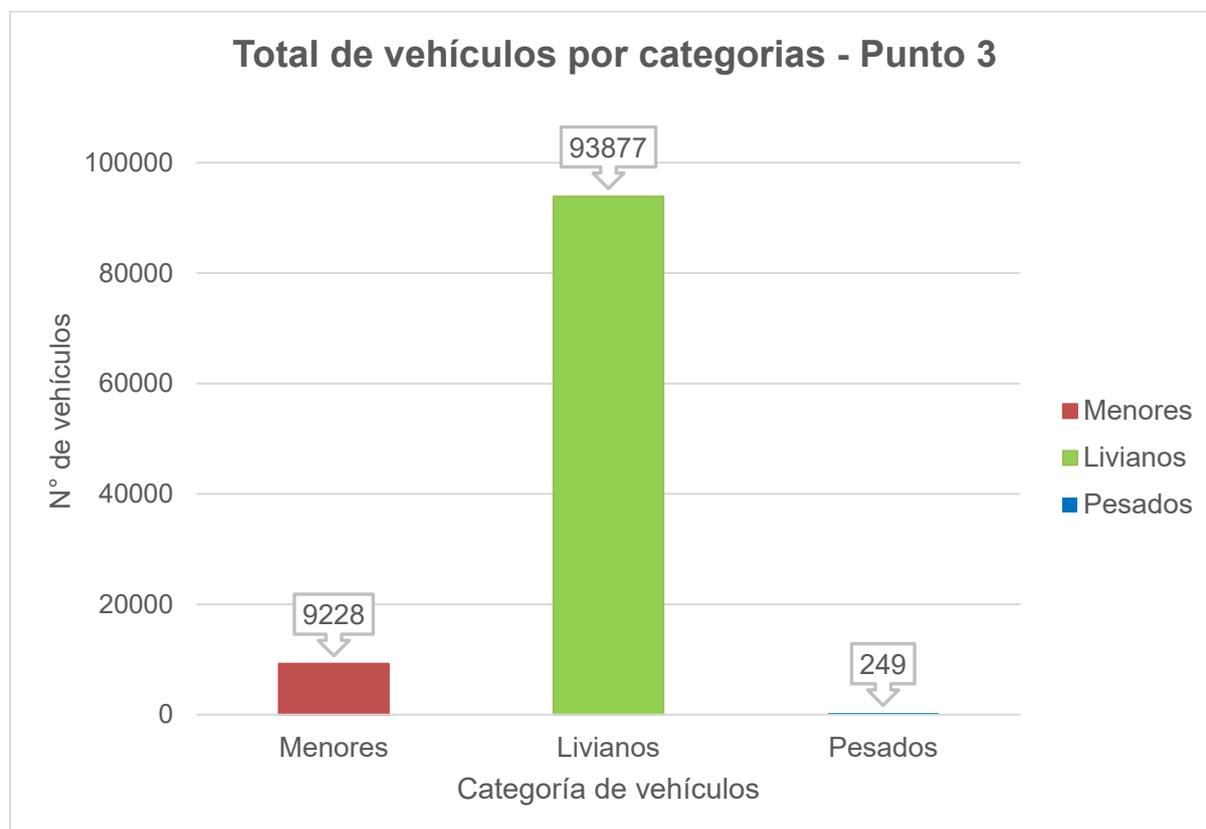
El flujo vehicular en la Av. Tingo María – Jr. Zorritos se determinó mediante el conteo in situ y el uso de contómetros en 12 fechas de estudio, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020, en dos turnos mañana de 07:00 a. m. a 09:00 a. m., y por la tarde de 05:00 p. m. a 07:00 p. m.; identificando cuatro ubicaciones de conteo y clasificando los vehículos en pesados, livianos y menores.

Para la cantidad total de vehículos por categoría; se sumó los totales por categorías (menores, livianas y pesadas) de los dos turnos por los 12 días de estudio del punto 3 correspondiente a la intersección de las Av. Tingo María – Jr. Zorritos (Figura 17).

**Figura 17**

Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av.

Tingo María – Zorritos (Punto 3)



Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09,

**Interpretación.** En la figura 17, correspondiente a Av. Tingo María – Jr. Zorritos, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan son livianos (90.83%) correspondiente a 93 877 vehículos, seguido de menores (8.93%) equivalente a 9 228 vehículos y finalmente los vehículos pesados (0.24%) equivalente a 249 vehículos. En total circulan 103,354 vehículos.

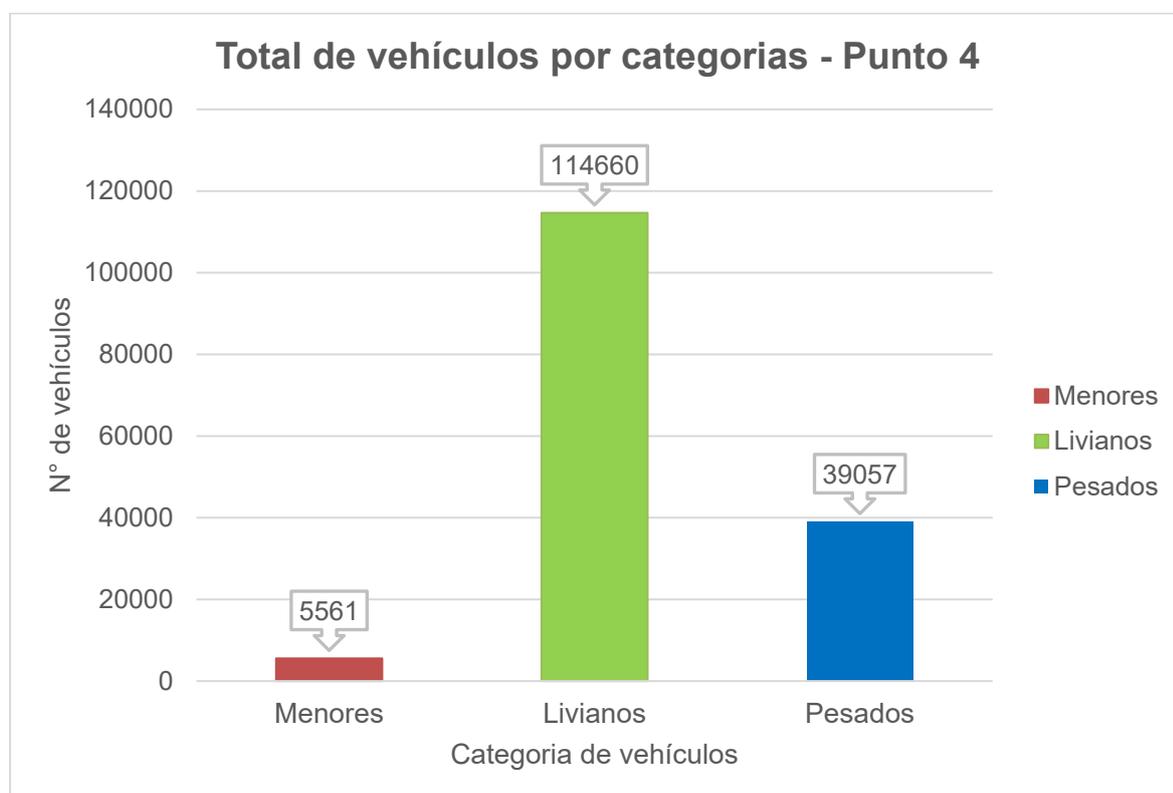
#### 4.1.4. Flujo vehicular en la Av. Argentina – Av. Universitaria

El flujo vehicular en la Av. Argentina – Av. Universitaria se determinó mediante el conteo in situ y el uso de contómetros en 12 fechas de estudio, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020, en dos turnos mañana de 07:00 a. m. a 09:00 a. m., y por la tarde de 05:00 p. m. a 07:00 p. m.; identificando cuatro ubicaciones de conteo y clasificando los vehículos en pesados, livianos y menores.

Para determinar la cantidad total de vehículos por categoría; se sumó los totales por categoría (menores, livianos y pesados) de los dos turnos por los 12 días de estudio del punto 4 correspondiente a la intersección de las Av. Argentina – Av. Universitaria (Figura 18).

#### Figura 18

*Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av. Argentina – Av. Universitaria (Punto 4)*



*Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09.*

**Interpretación.** En la figura 18, correspondiente a Av. Argentina – Av. Universitaria, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan son livianos (71.99%) correspondiente a 114 660 vehículos, seguido de vehículos pesados (24.52%) equivalente a 39 057 vehículos y finalmente menores (3.49%) equivalente a 5 561 vehículos. En total circulan 159 278 vehículos.

#### ***4.1.5. Flujo vehicular en la Av. Morales Duarez – Av. Universitaria***

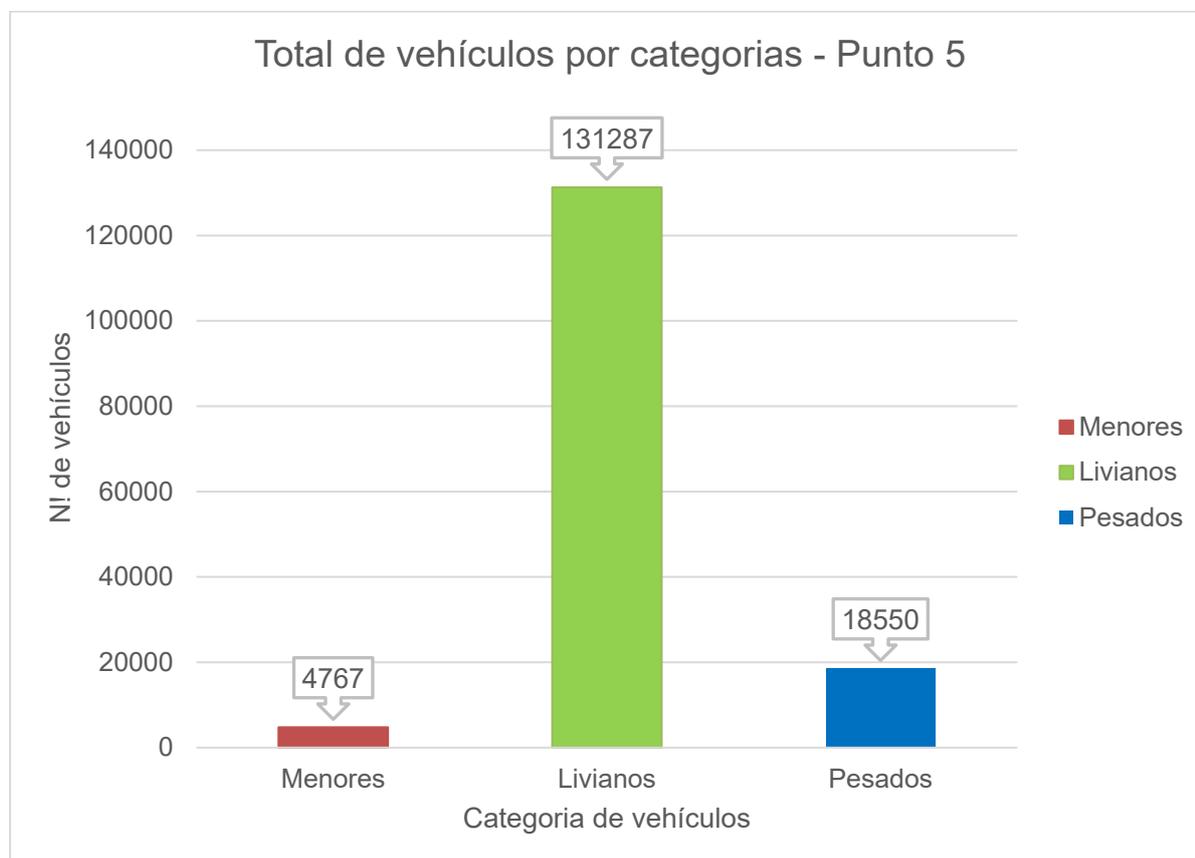
El flujo vehicular en la Av. Morales Duarez – Av. Universitaria se determinó mediante el conteo in situ y el uso de contómetros en 12 fechas de estudio, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020, en dos turnos mañana de 07:00 a. m. a 09:00 a. m., y por la tarde de 05:00 p. m. a 07:00 p. m.; ubicando cuatro puntos de conteo y clasificando los vehículos en pesados, livianos y menores.

Para la cantidad total de vehículos por categoría; se sumó los totales por categorías (menores, livianas y pesadas) de los dos turnos por los 12 días de estudio del punto 5 correspondiente a la intersección de las Av. Morales Duarez – Av. Universitaria (Figura 19).

**Figura 19**

*Flujo vehicular de 07:00am – 09:00am /17:00pm – 19:00pm (25 de agosto al 19 de setiembre) Av.*

*Morales Duarez – Av. Universitaria*



Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09.

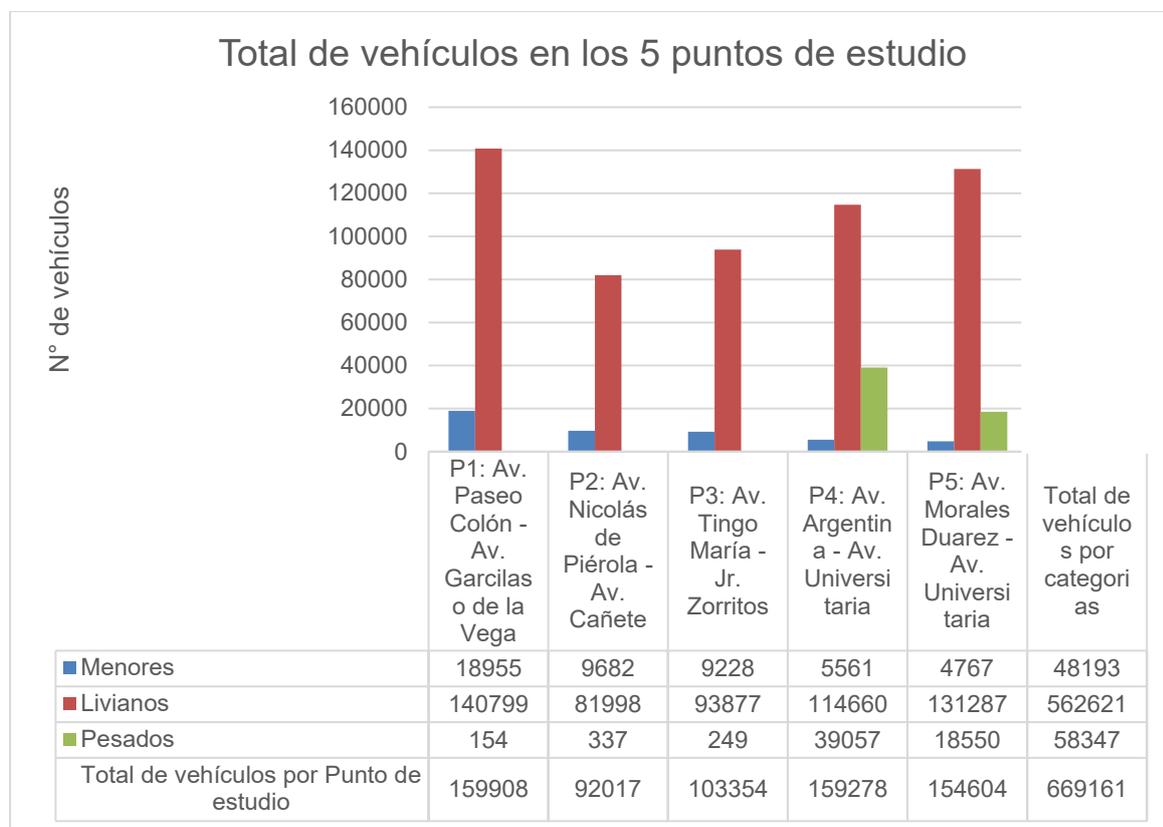
**Interpretación.** En la figura 19, correspondiente a Av. Morales Duarez – Av. Universitaria, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan son livianos (84.92%) correspondiente a 131 287 vehículos, seguido de vehículos pesados (12.00%) equivalente a 18 550 vehículos y finalmente menores (3.08%) equivalente a 4 767 vehículos. En total circulan 154 604 vehículos.

#### **4.1.6. Comparación de total de vehículos en los 5 puntos de estudio**

Para obtener la cantidad total de vehículos se sumaron los resultados las categorías vehiculares (menores, livianas y pesadas) de cada punto de estudio (Figura 20).

**Figura 20**

Comparación del flujo vehicular total en los 5 puntos de estudio



Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09.

**Interpretación.** En la figura 20 se observa que la mayor cantidad de vehículos se registró en la Av. Paseo Colón - Av. Garcilaso de la Vega (P-1) con 159 908 vehículos. La menor cantidad de vehículos se dio en la Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete (P-2) con 92 017 vehículos.

En los 5 puntos de estudio predomina la categoría vehicular “livianos” con 562 621 vehículos, seguido de la categoría “pesados” con 58 347 y por último “menores” con 48 193.

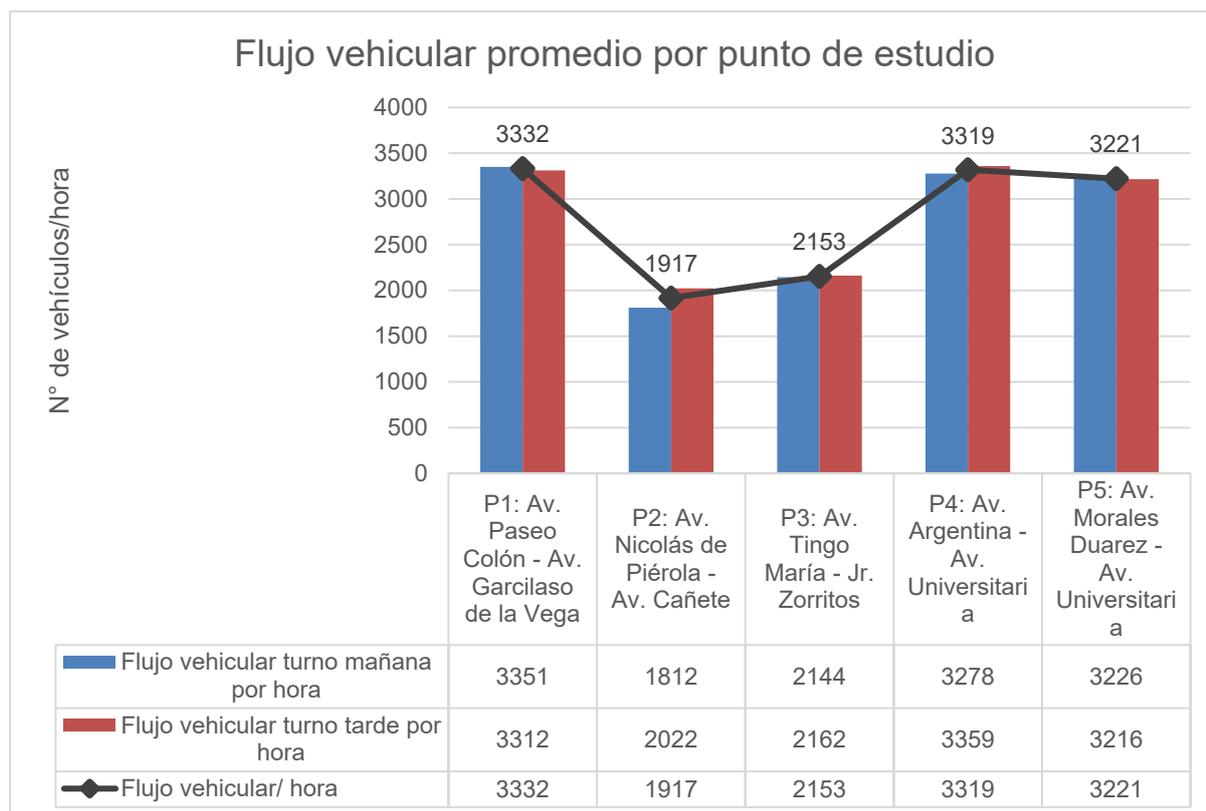
El total de vehículos contabilizados en los 12 días de estudio considerando ambos turnos (mañana y tarde) en los 5 puntos de estudio es de **669 161**.

#### 4.1.7. Comparación del flujo vehicular promedio en los 5 puntos de estudio

Para obtener el promedio del flujo vehicular se sumaron todas las categorías vehiculares (menores, liviano y pesado) se consideró la cantidad de horas monitoreadas. (Figura 21).

**Figura 21**

*Comparación del promedio flujo vehicular total en los 5 puntos de estudio*



Nota. Levantamiento de campo con fecha 25/08 al 19/09,

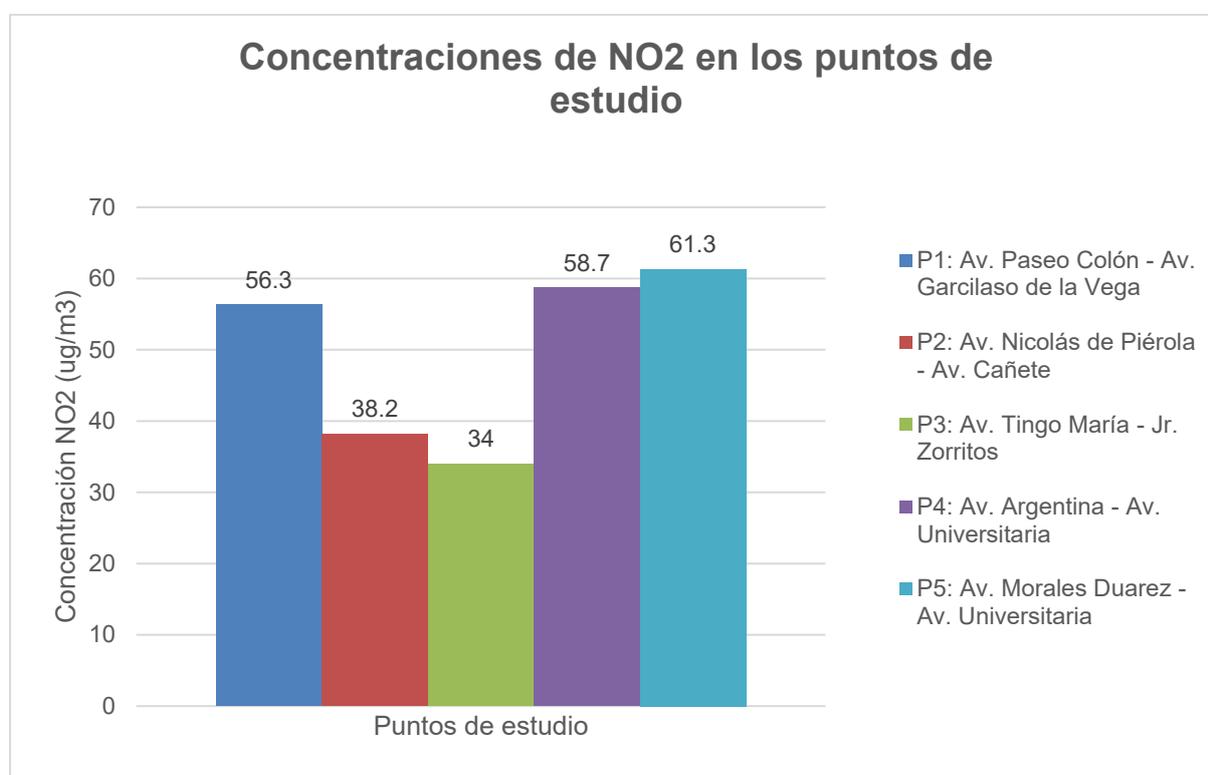
**Interpretación.** En la figura 21 se observa que el mayor flujo vehicular/hora es en la P1: Av. Paseo Colón - Av. Garcilaso de la Vega (P-1) con 3332 vehículos, seguido de Av. Argentina - Av. Universitaria (P-4) con 3319, la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria (P-5) con 3221, la P3: Av. Tingo María - Jr. Zorritos (P-3) con 2153 y por último la Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete con 1917.

## 4.2. Resultados sobre la determinación de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor en comparación con los valores límite permisible nacional e internacional, en el Cercado de Lima

### 4.2.1. Resultados de los análisis de laboratorio por puntos de estudio para las concentraciones de NO<sub>2</sub>

**Figura 22**

*Resultados de Concentración del NO<sub>2</sub> en los Puntos de estudio*



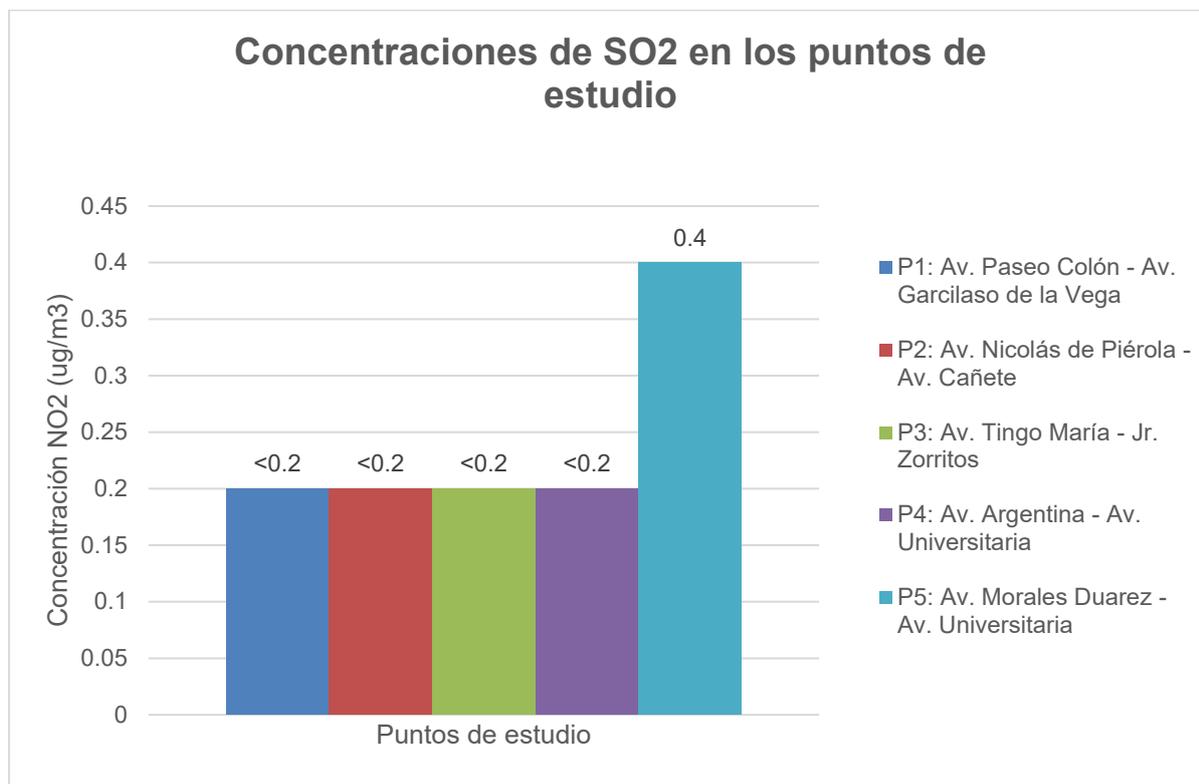
*Nota, Resultados brindados por el Laboratorio PASSAM AG, Suiza*

**Interpretación.** En la figura 22 se observa que en el Punto 5 (P5) correspondiente a la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria tiene la mayor concentración de NO<sub>2</sub> con 61.3 ug/m<sup>3</sup>, en tanto el Punto 3 (P3) correspondiente a la Av. Tingo María con Zorritos presenta la menor concentración de NO<sub>2</sub> con 34 ug/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2. Resultados de los análisis de laboratorio por puntos de estudio para las concentraciones de SO<sub>2</sub>

**Figura 23**

*Resultados de Concentración del SO<sub>2</sub> en los puntos de estudio*



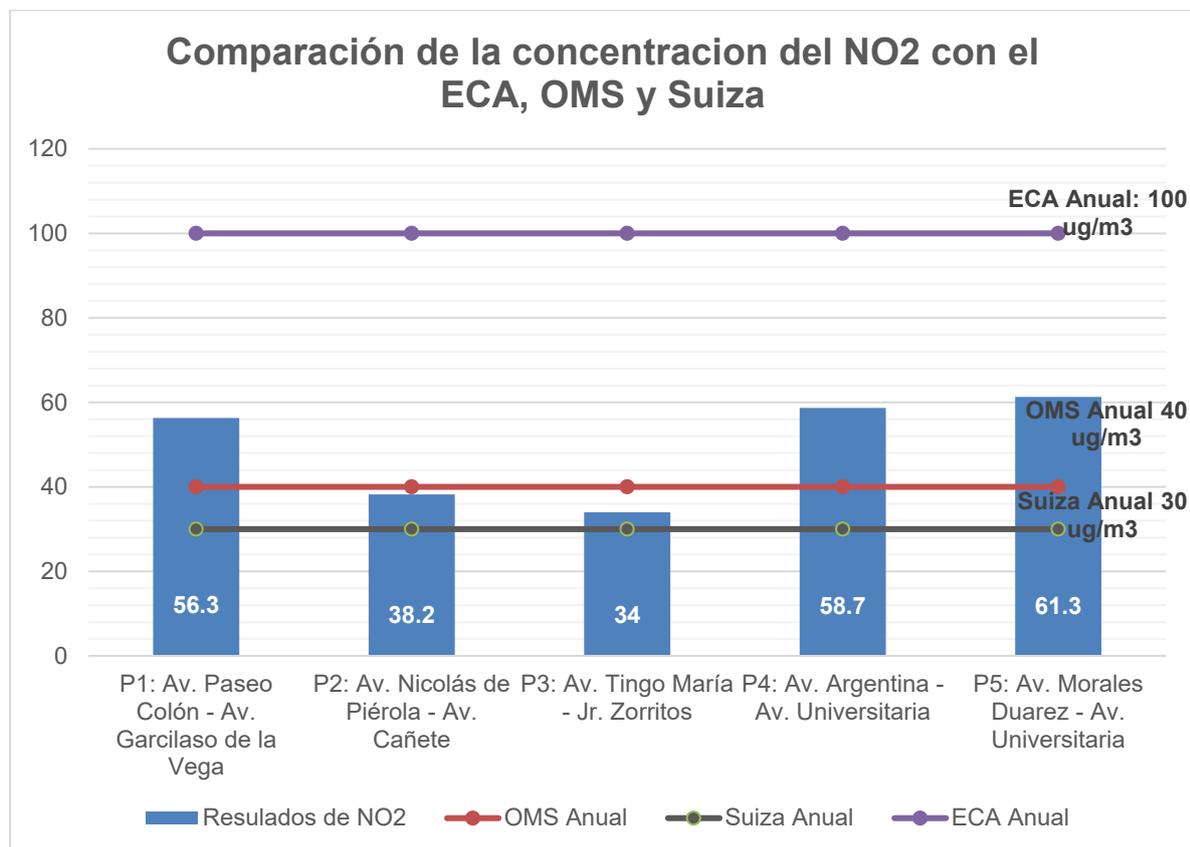
*Nota, Resultados brindados por el Laboratorio PASSAM AG, Suiza*

**Interpretación.** En la figura 23 se observa que en el Punto 5 (P5) correspondiente a la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria, tiene la mayor concentración de SO<sub>2</sub> con 0.4 ug/m<sup>3</sup>, en tanto Av. Paseo Colón con Garcilaso de la Vega (P1), Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete (P2), Av. Tingo María con Zorritos (P3), Av. Argentina con Universitaria (P4) presentan la menor concentración de SO<sub>2</sub> con < 0.2 ug/m<sup>3</sup>.

### 4.2.3. Comparación de la concentración del NO<sub>2</sub> con el ECA aire, estándares de la OMS y de Suiza

**Figura 24**

Comparación de la concentración del NO<sub>2</sub> con el ECA, OMS y Suiza

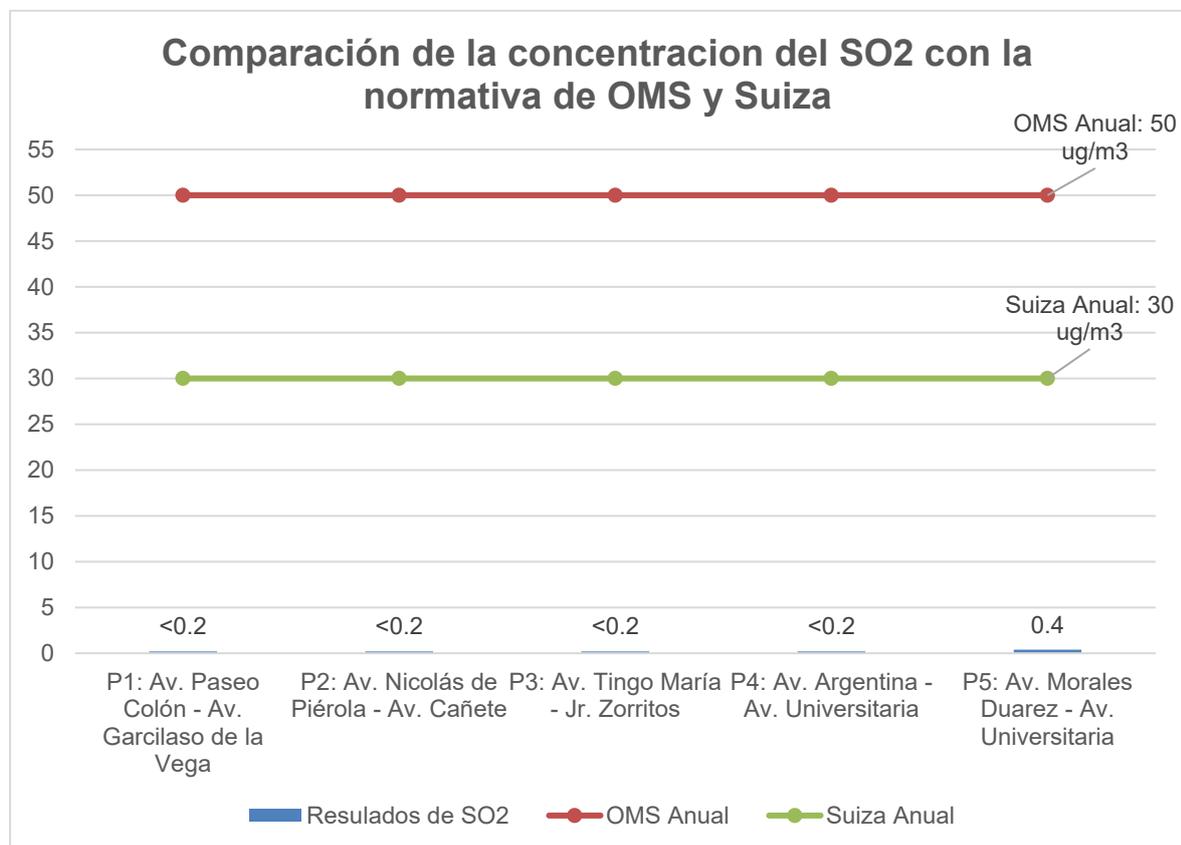


**Interpretación.** En la figura 24 se observa que los valores de NO<sub>2</sub>, no superan el ECA anual de 100 µg/m<sup>3</sup> Según la norma de referencia: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM; sin embargo, para el estándar de la OMS (40 µg/m<sup>3</sup> para el NO<sub>2</sub>) no excede en la Av. Nicolas de Piérola – Av. Cañete y Av. Tingo María – Jr. Zorritos; en referencia al estándar de Suiza (30 µg/m<sup>3</sup>) los 5 puntos exceden, Estas fueron muestreadas en la estación de otoño.

#### 4.2.4. Comparación de la concentración del SO<sub>2</sub> con el ECA

**Figura 25**

*Comparación de la concentración del SO<sub>2</sub> con OMS, Suiza*

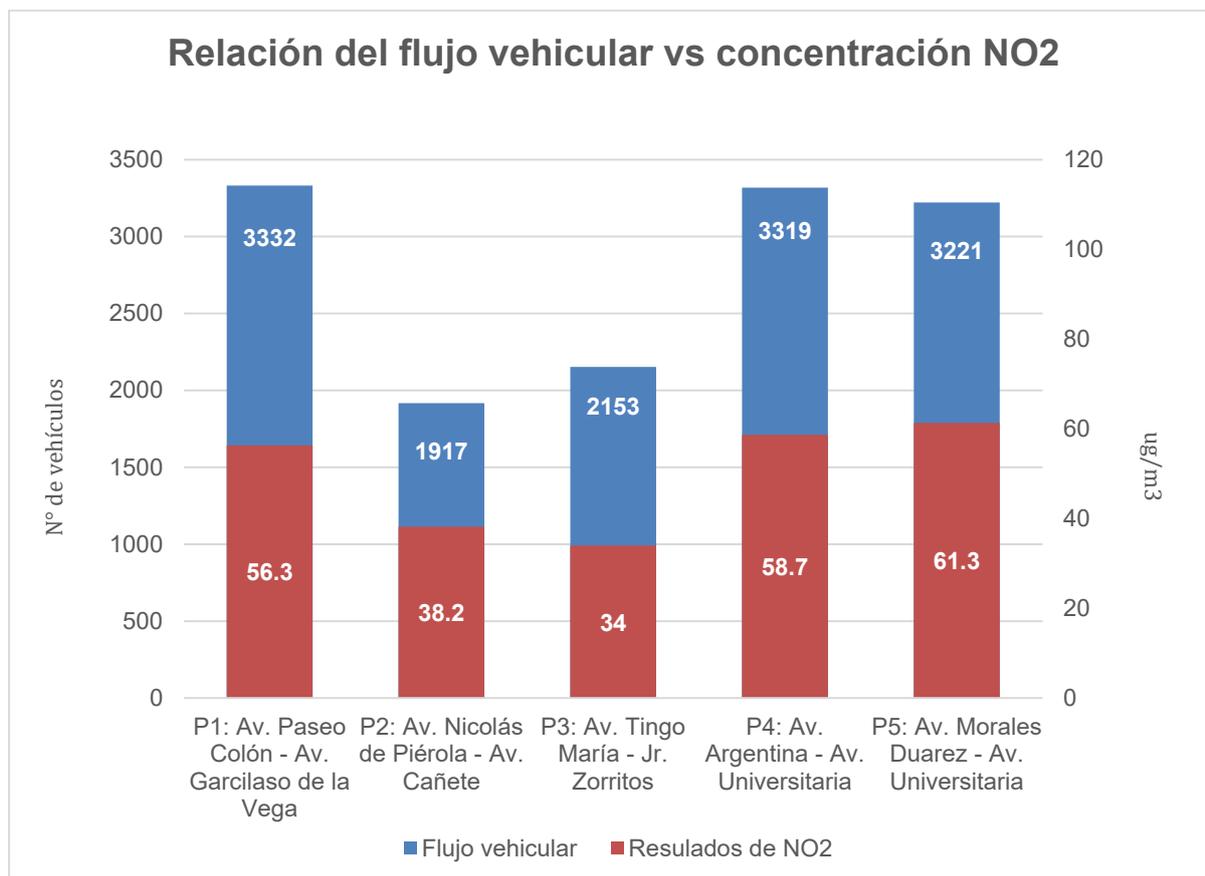


**Interpretación.** Los valores de SO<sub>2</sub>, no superan el estándar de la OMS y referencia Suiza, dichas concentraciones son 0.4 µg/m<sup>3</sup> para la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria y <0.2 µg/m<sup>3</sup> para los otros 4 puntos de estudio.

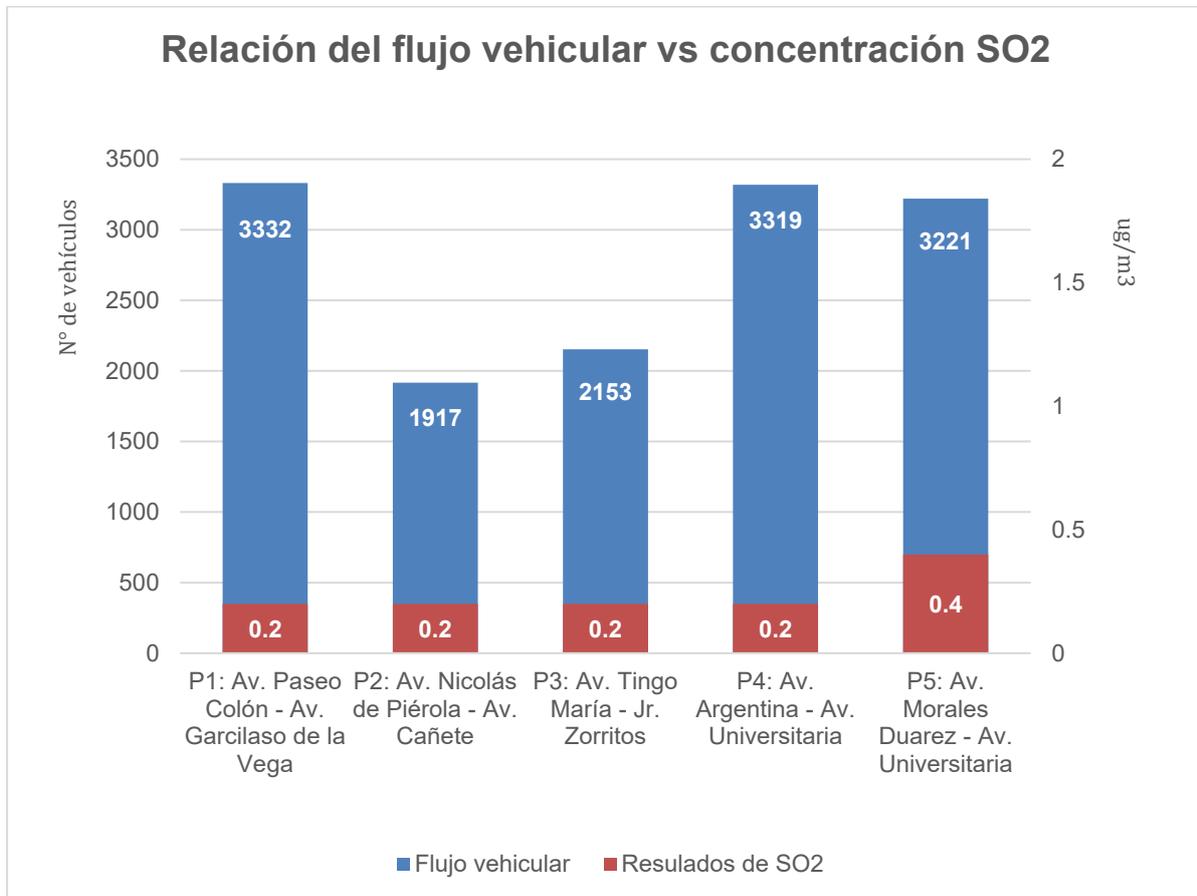
**4.2.5. Relación y comparación de flujo vehicular Vs la concentración del NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los puntos de estudio.**

**Figura 26**

*Relación del flujo vehicular vs concentración de NO<sub>2</sub>*



**Interpretación.** Las concentraciones registradas de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en estos puntos de estudio, establecen que el NO<sub>2</sub> no varía en función del flujo vehicular en la zona de estudio.

**Figura 27**Relación del flujo vehicular vs concentración de SO<sub>2</sub>

**Interpretación.** Las concentraciones registradas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en estos puntos de estudio, establecen que el SO<sub>2</sub> no varía en función del flujo vehicular en la zona de estudio.

**4.2.6. Análisis con los datos de la estación meteorológica Campo de Marte – SENAMHI los vientos predominantes.**

**Distrito:** Cercado de Lima

**Latitud:** 12° 4' 14"

**Longitud:** 77° 2' 35.3"

**Altitud:** 123

**Tabla 14**

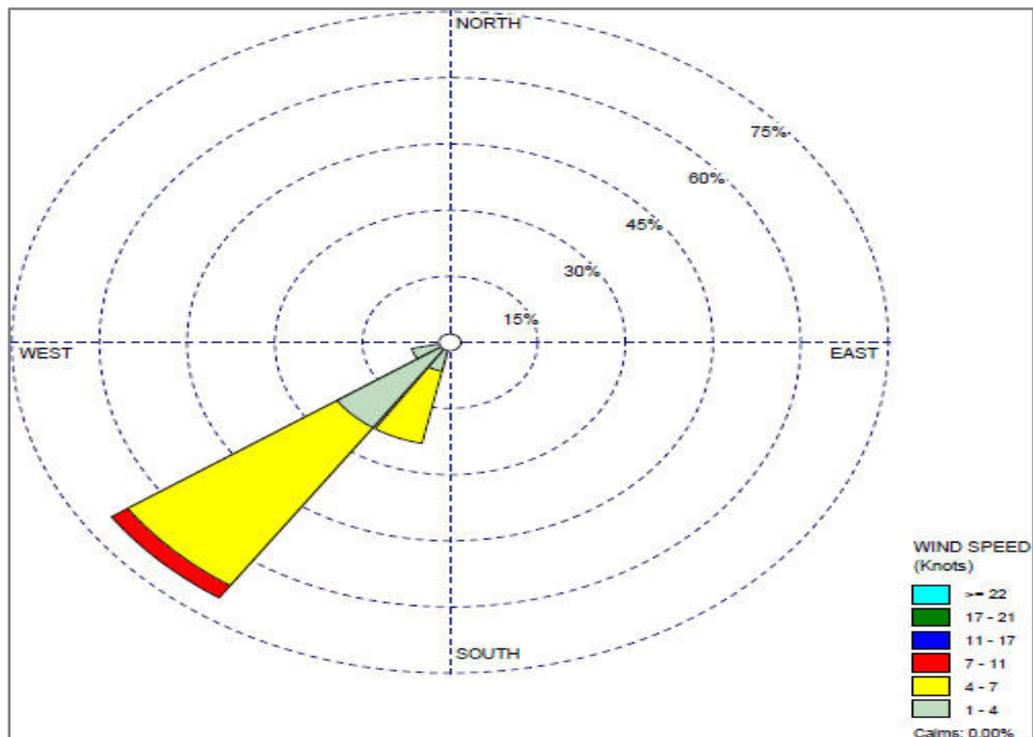
*Velocidad y dirección del viento en Jesús María*

<b>Día/mes/año</b>	<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	<b>Dirección del viento</b>
25-Ago-20	2.42	210
26-Ago-20	2.57	200
27-Ago-20	2.69	208
28-Ago-20	2.17	198
29-Ago-20	2.52	210
1-Set-20	2.75	210
2-Set-20	2.73	211
3-Set-20	2.51	215
4-Set-20	2	206
5-Set-20	2.69	213
6-Set-20	2.96	210
7-Set-20	2.79	214
8-Set-20	2.59	205
9-Set-20	2.05	201
10-Set-20	2.4	209
11-Set-20	2.01	210
12-Set-20	2.28	212
13-Set-20	2.12	213
14-Set-20	2.12	208
15-Set-20	1.5	213
16-Set-20	1.94	223
17-Set-20	2.11	215
18-Set-20	1.52	200
19-Set-20	1.76	279

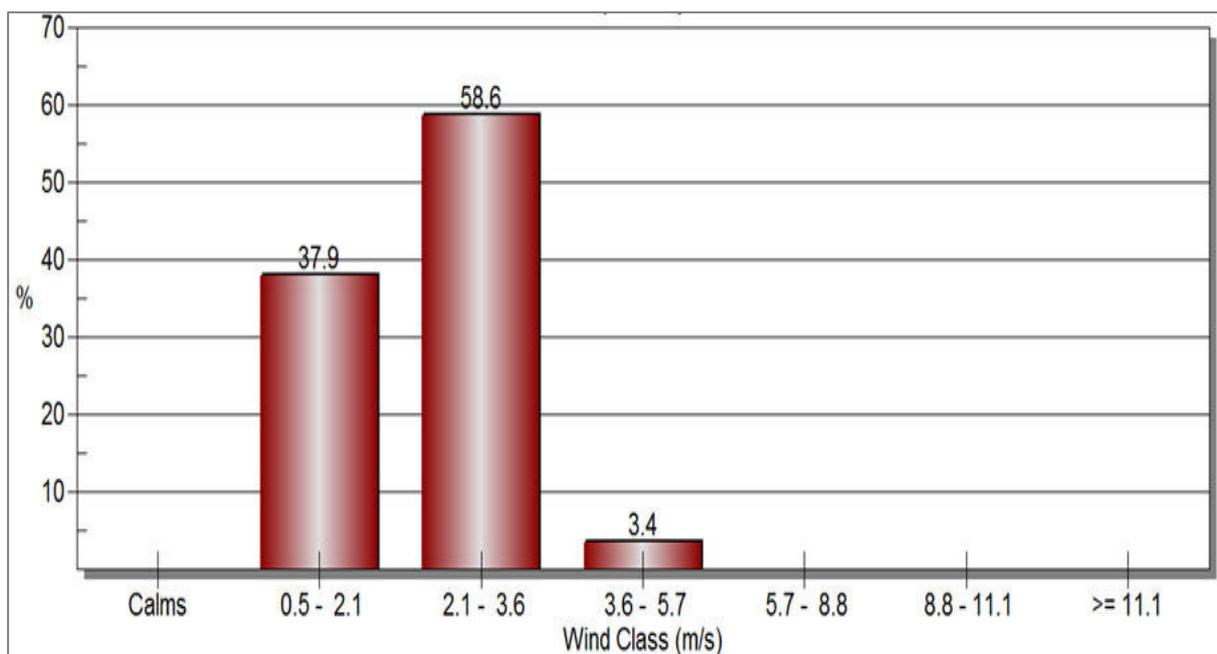
*Nota.* Datos obtenidos de SENAMH – Estación Campo de Marte.

**Figura 28**

*Rosa de vientos generado de la estación meteorológica*

**Figura 29**

*Distribución de frecuencia de la clase de viento – SENAMHI*



**Interpretación.** Se observa, que las velocidades del viento que se registraron representan un 37.9% los que estuvieron entre 0.5 -2.1 m/s, son vientos de tipo ventolina y vientos suaves; en tanto un 58.6% representa las velocidades que oscilaban entre 2.1 -3.6 m/s, clasificados como vientos de tipo suave y leve; por consiguiente, representa un 3.4% las velocidades que oscilaron entre 3.6 -5.7 m/s, es decir, vientos de tipo leve y moderado. Estos vientos están proviniendo desde Sur dirigiéndose hacia el Suroeste.

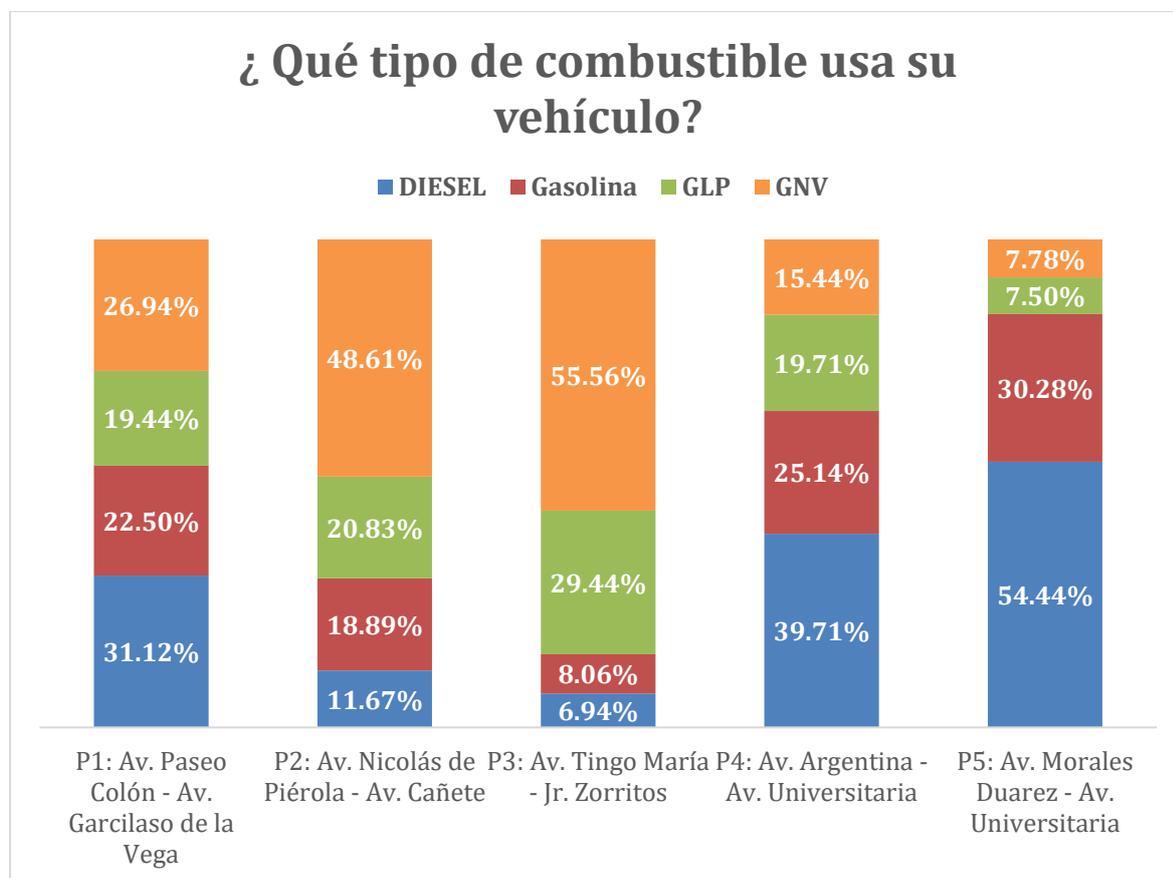
#### **4.3. Resultados de los aspectos operaciones de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito del Cercado de Lima**

Con respecto a los resultados de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, fueron detallados en el punto 4.2 y los resultados de los cuestionarios aplicadas sobre los aspectos operaciones de los medios de transporte.

Se aplicó un cuestionario a los conductores de los vehículos que pasaron por los 5 puntos de estudio en las 12 fechas, correspondiente a los días 25, 27 y 29 de agosto del 2020 y los días 01, 03, 05, 08, 10, 12, 15, 17 y 19 de setiembre del 2020; siendo los resultados los siguientes:

##### **Pregunta 1. Tipo de combustible que usa**

Para tipo de combustible se agruparon y se consideraron las siguientes alternativas: Diesel, Gasolina, GNV y GLP.

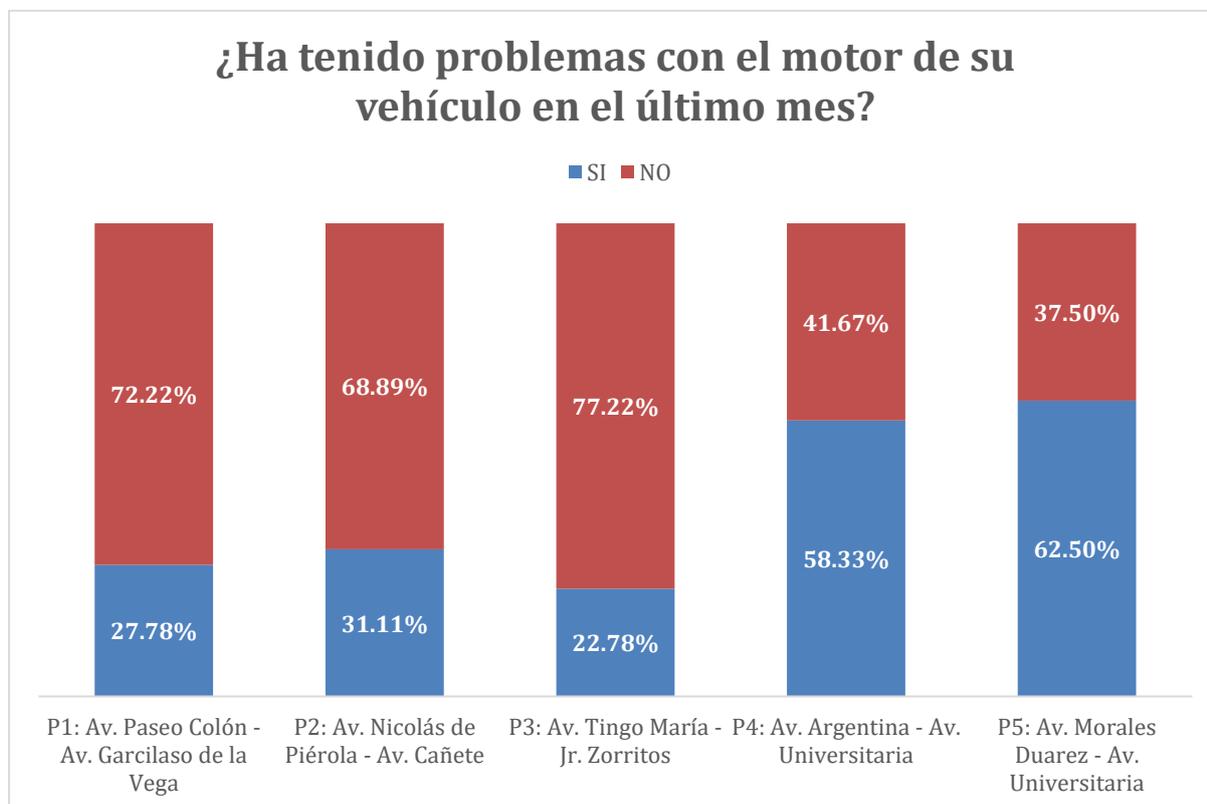
**Figura 30***Tipo de combustible usa su vehículo*

**Interpretación.** De una muestra de 385 conductores encuestados, 77 encuestas por cada uno de los 5 punto de estudio. De manera general, se observa que en los puntos 1, 4 y 5 predomina el uso del combustible Diesel con: 31% (24 conductores) para el P1: Av. Paseo Colón - Av. Garcilaso de la Vega, 39,71% (31 conductores) para el P4: Av. Argentina - Av. Universitaria y 54.44% (42 conductores) para el P5: Av. Morales Duarez - Av. Universitaria. En los puntos 2 y 3 predomina el uso de combustible GNV con: 55.56% (43 conductores) para el P3: Av. Tingo María - Jr. Zorritos y 48.61% (37 conductores) para el P2: Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete.

## Pregunta 2. Deficiencias en el motor del vehículo

Figura 31

*¿Ha tenido problemas con el motor de su vehículo en el último mes?*



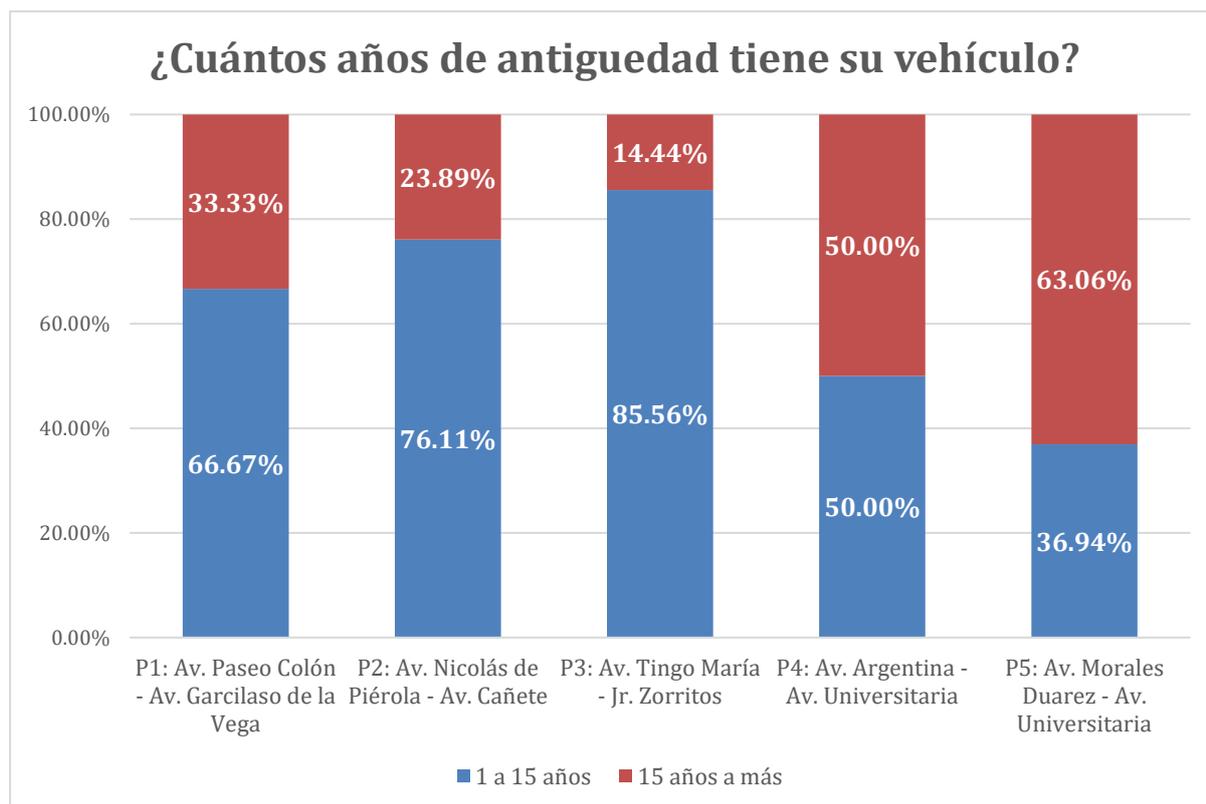
**Interpretación.** De una muestra de 385 conductores encuestados, 77 encuestas por cada uno de los 5 punto de estudio. De manera general en el punto 5 (P5) el 62.50% de los encuestados manifestó que, Sí han tenido problemas con el motor de su vehículo últimamente, seguido del punto 4 (P4) con 58.33%, punto 2 (P2) con 31.11%, punto 1 (P1) con 27.78% y finalmente el punto 3 (P3) con 22.78%.

### Pregunta 3 Antigüedad de vehículos

Para ello se agruparon y se consideraron las siguientes alternativas: 1 – 15 años y de 15 años a más.

**Figura 32**

*¿Cuánto tiempo de antigüedad tiene su vehículo?*



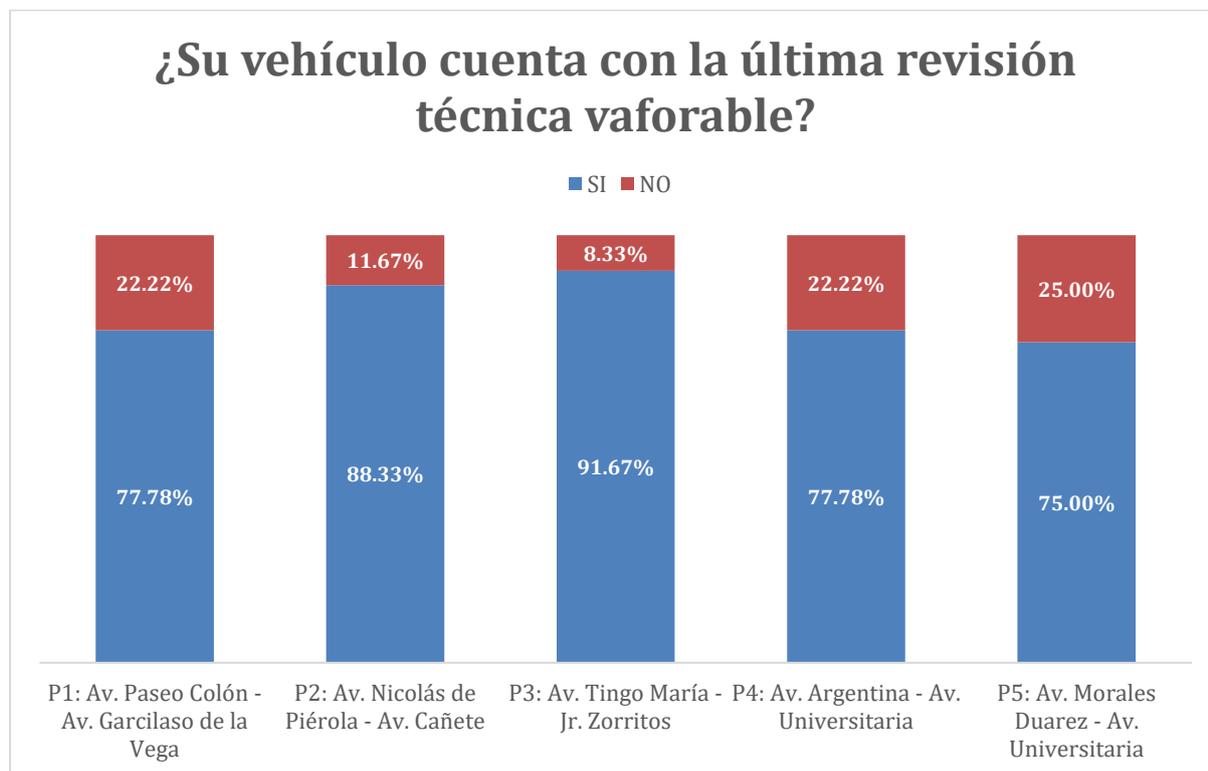
**Interpretación.** De una muestra de 385 conductores encuestados, 77 encuestas por cada uno de los 5 punto de estudio. De manera general, se observa que en los puntos 4 y 5 predomina la circulación de vehículos con más de 15 años de antigüedad con: 50% (39 vehículos) para el P4: Av. Argentina - Av. Universitaria y 63% (49 vehículos) para el P5: Av. Morales Duarez - Av. Universitaria. Para el caso de los puntos 1, 2 y 3 predomina la circulación de vehículos con menos de 15 años de antigüedad.

#### Pregunta 4. Revisión técnica vehicular

Para ello se consideró si pasaron o no su revisión técnica vehicular de manera favorable.

**Figura 33**

*¿Su vehículo cuenta con la última revisión técnica vehicular favorable?*

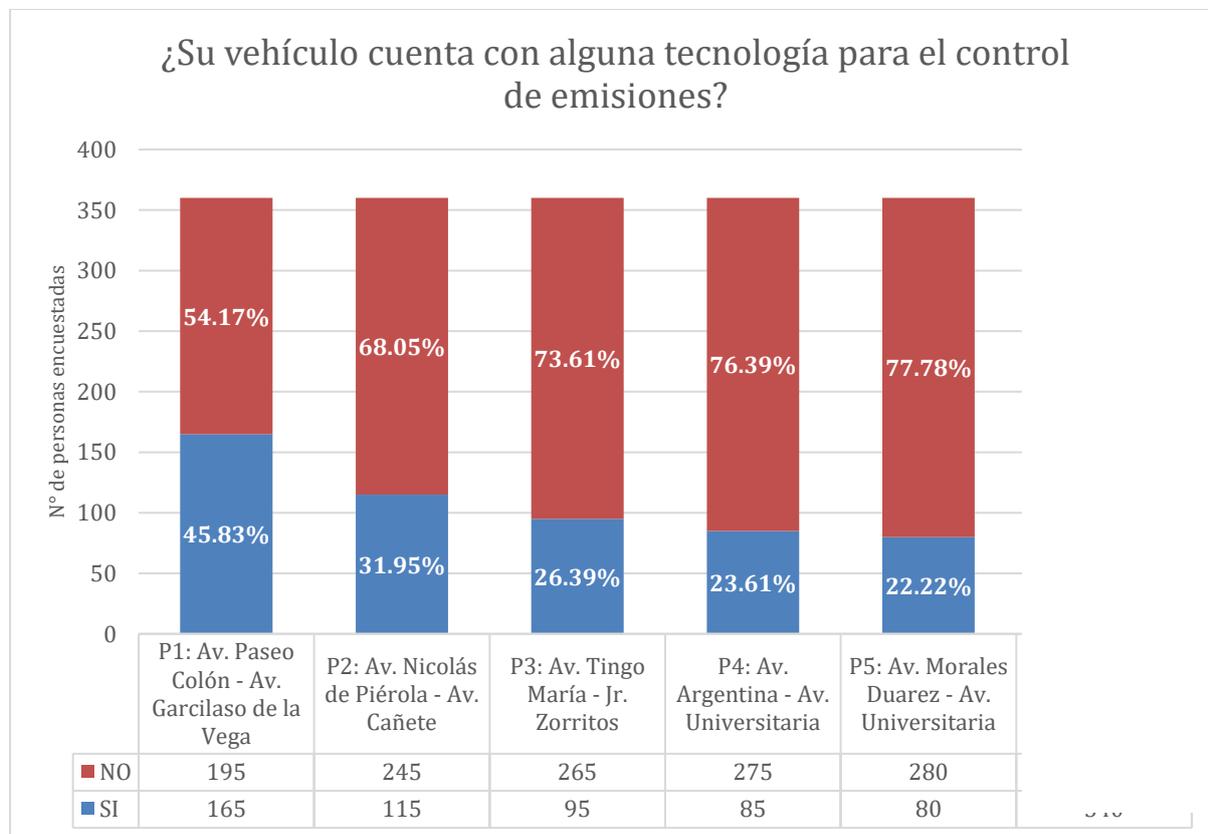


**Interpretación.** De una muestra de 385 conductores encuestados, 77 encuestas por cada uno de los 5 punto de estudio. Más del 75% de conductores encuestados manifestó que, su vehículo si cuenta con la última revisión técnica.

### Pregunta 5. Tecnología para el control de emisiones

Figura 34

¿Su vehículo cuenta con alguna tecnología para el control de emisiones?



**Interpretación.** De una muestra de 385 conductores encuestados, 77 encuestas por cada uno de los 5 punto de estudio. El 30% correspondiente a 23 conductores encuestados manifestó que, su vehículo si cuenta con alguna tecnología para el control de emisiones. Siendo en el punto 1 (P1) donde el 45% correspondiente a 35 encuestados indicaron contar con convertidor catalítico.

#### **4.4. Resultados sobre la propuesta de estrategias, para reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el Cercado de Lima**

Llegada a esta parte de la investigación, luego de conocida la problemática, antecedentes, teorías y resultados obtenidos en el proceso de esta investigación, se proponer un conjunto de estrategia para reducir el flujo y consigo el congestionamiento vehicular, en el Cercado de Lima, las estrategias estarán fundamentadas en cuanto la calidad de aire viene afectan el ambiente de esta importante zona de la capital. A continuación, se detallan las siguientes.

**Estrategia 1. Implementar distintivo ecológico vehicular para determinar el nivel de contaminación del aire.** Los distintivos ecológicos (hologramas) están diseñados para distinguir a los vehículos ecológicos de los que contaminan el aire de las ciudades y contribuyen a las malas condiciones de vida, determinando el nivel de contaminación del aire provocado por el vehículo mediante sus niveles de emisión, de acuerdo a ello, se autorizará el permiso de circulación del vehículo sin restricciones.

##### **Instituciones Responsables:**

- Ministerio de Energía y Minas (MINEM)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)
- Ministerio del Ambiente (MINAM).

##### **Implementación:**

Identificar las zonas de tráfico restringido (ZTR) en Cercado de Lima (cero emisiones y emisiones bajas) considerando las áreas más críticas de Lima.

Enlistar todas las categorías vehiculares que circulan en Lima las cuales necesitarán el certificado anti-contaminación (distintivo ecológico) para poder circular por las zonas de tráfico restringido (ZTR). Para la categorización se considerarán las características

de los vehículos, como año, modelo y tipo de combustible que utiliza, midiendo el conteo de partículas finas perjudiciales para la salud.

Cada distintivo ecológico se expide para un vehículo en concreto según su nivel de contaminación ambiental, y está vinculada a su matrícula.

La validez de los distintivos ecológicos se va actualizando en cada revisión técnica vehicular.

Los distintivos ecológicos (hologramas) se dividen en las siguientes categorías:

**Tabla 15**

*Propuesta de distintivo ecológico vehicular para determinar el nivel de contaminación del aire*

	Detalle	Estado
<b>Verde</b>	Todos los vehículos 100% eléctricos	Habilitado y quedan exentos de las restricciones en las zonas de tráfico restringido (ZTR).
<b>Azul 1</b>	Todos los vehículos de gasolina e híbrido que cumplan el estándar de emisión Euro 4.	Habilitado y quedan exentos de las restricciones en las zonas de tráfico restringido (ZTR). Se entrega a vehículos cuyas emisiones están dentro de la normativa vigente.
<b>Amarillo 2</b>	Vehículos Euro 3	Habilitado con restricciones. Se entrega a vehículos cuyas emisiones son más contaminantes y limita su circulación por un día entre semana y dos sábados por mes en las zonas de tráfico restringido (ZTR).
<b>Plomo 3</b>	Vehículos Euro 2 y Euro 1	Habilitado con restricciones. Se entrega a vehículos que, si bien pasaron la verificación técnica vehicular, tienen una alta emisión de contaminantes, por lo tanto, se les prohíbe la circulación dos días de la semana hábil y todos los sábados y domingos del mes en las zonas de tráfico restringido (ZTR).
<b>Sin distintivo ecológico</b>	Vehículos con más de 25 años de antigüedad.	Inhabilitado.

### **Consideraciones:**

Vehículos habilitados con restricciones, deberán implementar sistemas de control de emisiones vehiculares para cumplir con la categoría o incluirse en el programa de Chatarreo vigente.

Vehículos inhabilitados, deberán incluirse en el programa de Chatarreo vigente.

**Beneficios:**

- Reduce emisiones.
- Promueve modos sustentables.
- Mejora salud pública.
- Promueve el cambio hacia vehículos eficientes.
- El distintivo ecológico (holograma) permitirá identificar las unidades no habilitadas dentro de las zonas de tráfico restringido.

**Estrategia 2. Implementar bonos para las unidades de servicios de transporte urbano y vehículos particulares, que implementen sistemas de control de emisiones vehiculares.** Establecer incentivos para el fomento de “sistemas de control de emisiones vehiculares”. Es un mecanismo que busca reducir las concentraciones de emisiones contaminantes para el aire y con ello mejorar la calidad de vida de las personas y del ambiente. Los programas de implementación de “sistemas de control de emisiones vehiculares” estarán a cargo de la Autoridad de Transporte Urbano para Lima (ATU) y la Municipalidad de Lima, y permitirán establecer planes para la progresiva renovación de vehículos públicos y particulares. La primera fase se enfocará en el mejoramiento de los vehículos del transporte público y la segunda fase en vehículos privados. Los bonos que se otorgarán a las personas propietarias de los vehículos, en la forma de incentivos pueden ser económicos y no económicos.

**Estrategia 3. Implementar programa de educación y comunicación para crear una conciencia en conductores.** Independientemente del tipo de vehículo que tenga es posible llevar a cabo una conducción eficiente que reduzca las emisiones de NO<sub>2</sub> Y SO<sub>2</sub> a la atmósfera, perjudicando el medio ambiente y a las personas; esta estrategia debe enfocarse en educar y concientizar al conductor de modo que se enfoque en mejorar las condiciones para el uso de su

vehículo, estando en condiciones operativas que no contamine el aire y evite accidentes; acá la prudencia al volante ayuda a reducir las emisiones de gases contaminantes, con una conducción eficiente sin cambios bruscos y evitando los frenazos o acelerones innecesarios, disminuye el consumo de energía. De otro lado, moderar la velocidad, así como utilizar las marchas adecuadas, saliendo siempre en primera y cambiando progresivamente las marchas antes de revolucionar el motor más de la cuenta, es una buena solución contra la huella de carbono que todo podemos aplicar a la hora de ponernos al volante.

**Estrategia 4. Implementar medidas contempladas en el Plan de Acción para el mejoramiento de la calidad de aire de Lima Callao 2021-2025.** Cuya finalidad proponer mecanismos concretos y efectivos para la mejora de la calidad del aire de Lima y Callao, planteando acciones bajo el principio de objetivos compartidos y roles diferenciados.

Entre las medidas a implementar son desarrollo de infraestructura de carga para electromovilidad, desarrollo de programas para el uso del gas natural en la conversión de vehículos a GNV y uso residencial; elaboración de la normativa enfocada a la mejora en la calidad de combustibles; desarrollo de normas complementarias a EURO VI/6; fomento e implementación de la electro movilidad y masificación del uso de gas natural en el sector transporte; revisión de LMP para vehículos en circulación, evaluación de la vida útil del transporte de carga, y establecer e implementar campañas de supervisión de emisiones vehiculares en vías públicas, elaboración de normativa que establece límites máximos permisibles para emisiones de la maquinaria móvil que ingresa al país, construcción de ciclovías Integradas al Sistema de Transporte Masivo, chatarreo obligatorio de vehículos de Transporte Público internado en depósitos vehiculares y la priorización del peatón.

**Estrategia 5. Implementar programas, planes integrales de principios y líneas de actuación, en materia de educación ambiental para las instituciones, empresas de transporte y la población.** Esta estrategia debe convertirse en un instrumento de gestión cuyo propósito es educar a la ciudadanía en general, para el desarrollo sustentable, generando conciencia y cambios conductuales proclives hacia la convivencia armónica entre el desarrollo social, crecimiento económico y cuidado del medio ambiente. Se debe priorizar el desarrollo de programas que eduque al conductor y a la ciudadanía sobre la importancia de alcanzar la sustentabilidad, acercando los temas ambientales a la población, diseñando y ejecutando programas con la MLM y estimulando la adecuada y oportuna participación de la población y conductores, en los diferentes temas ambientales.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La discusión de resultados permitió cuantificar, categorizar el flujo vehicular y estimar su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito de Cercado de Lima, dando como resultado que el flujo vehicular no influye altamente en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima – 2020. Se presenta los resultados obtenidos en mi tesis.

**Tabla 16**

*Flujo vehicular y concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 5 puntos de estudio*

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Concentración NO <sub>2</sub>	56.3 µg/m <sup>3</sup>	38.2 µg/m <sup>3</sup>	34 µg/m <sup>3</sup>	58.7 µg/m <sup>3</sup>	61.3 µg/m <sup>3</sup>
Concentración SO <sub>2</sub>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	0.4 µg/m <sup>3</sup>
Flujo vehicular	6663 veh/hora	3834 veh/hora	4306 veh/hora	6637 veh/hora	6442 veh/hora

Cocha (2017), en su tesis titulada “*Emisión de gases y su relación en la calidad del aire de la zona urbana de la ciudad de Riobamba*”, de la Universidad Técnica de Ambato (Ecuador); Los resultados de la contaminación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, en el sector R-Emapar-Sur, se determinó que los niveles de contaminación de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> corresponde a la influencia del elevado tráfico de vehículos a diésel. Las concentraciones de los gases NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> no superar el límite establecido en los valores guía de la OMS para el NO<sub>2</sub>.

El presente trabajo coincide con la investigación desarrollada por Cochás en el 2017, ya que se obtuvo un grado de asociación directo entre la cantidad de unidades con mayor uso de combustible Diesel y la concentración del parámetro NO<sub>2</sub>. Véase los resultados obtenidos en la siguiente tabla:

**Tabla 17**

*Aspectos operacionales del de los medios de transporte del flujo vehicular y las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en los 5 puntos de estudio*

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Concentración NO <sub>2</sub>	56.3 µg/m <sup>3</sup>	38.2 µg/m <sup>3</sup>	34 µg/m <sup>3</sup>	58.7 µg/m <sup>3</sup>	61.3 µg/m <sup>3</sup>
Concentración SO <sub>2</sub>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	<0.2 µg/m <sup>3</sup>	0.4 µg/m <sup>3</sup>
% de antigüedad (mayor a 15 años)	33.33%	23.89%	14.44%	50.00%	63.06%
Uso de combustible Diesel	31.12%	11.67%	6.94%	39.71%	54.44%

Nota: 0.2 µg/m<sup>3</sup> límite de detección para SO<sub>2</sub>.

Cocha (2017), luego de evaluar las emisiones de gas y sus efectos en la calidad del aire propone un plan de acción estratégico, para la mitigación de los contaminantes NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>; basados en generar cultura ambiental y desarrollar estudio profundos de las emisiones con sus consecuencias, implementar equipos de medición para cada emisión contaminantes de igual modo, Lima (2016), en la incidencia del flujo vehicular en la calidad de aire en el Cercado de Lima; propuso reducir el flujo vehicular en los puntos de estudio, el número de ocupantes que se transportan los vehículos, regulación de la circulación de automóviles.

La presente investigación a modo de reflexión; plantea propuestas para la reducción del flujo vehicular y la mejora de la calidad de aire en el Cercado de Lima, coincidiendo con Limas (2016) debido a que propone implementar distintivos ecológicos vehiculares para determinar el nivel de contaminación del aire restringiendo la circulación de las unidades que generen mayores emisiones y con ello disminuyendo el flujo vehicular. A su vez coincide también con Cocha (2017) debido a que se plantea propuestas para implementar programas de educación y comunicación con el fin de crear conciencia en conductores y brindar bonos para las unidades de servicios de transporte urbano y vehículos particulares, que implementen sistemas de control de emisiones vehiculares.

Limas (2016), en su tesis titulada “*Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en plazas históricas del Cercado de Lima*”; de la Universidad Nacional Federico Villarreal; tuvo objetivo de conocer la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> mediante tubos pasivos en el Cercado de Lima (plazas: Bolognesi, Dos de Mayo, San Martín y el Parque Universitario), obteniendo como resultados, que existe un grado de asociación directo, donde a mayor flujo vehicular se presenta un incremento en las concentraciones de NO<sub>2</sub> más no existe una relación directa con las concentraciones de SO<sub>2</sub>.

El presente trabajo no coincide con la investigación desarrollada por Limas en el 2016, ya que no existe un grado de asociación directo, donde a mayor flujo vehicular se presenta un incremento en las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. La variación de resultados se debe a que: el estudio se tomó en diferentes estaciones del año (verano - invierno), cantidad de días de estudio (3 días y 12 días) y horarios de estudios (mañana y tarde) respectivamente.

Con respecto a la concentración del dióxido de azufre, los datos obtenidos en la presente investigación oscilan entre 0.4 a < 0.2 µg/m<sup>3</sup>, los cuales difieren a los obtenidos por Limas en el 2016 los cuales oscilan entre 4.3 a 3.0 µg/m<sup>3</sup>, ambos por el método de difusión pasiva, en cambio los resultados obtenidos para la concentración del dióxido de nitrógeno oscilan entre 52.9 µg/m<sup>3</sup> a 32.4 µg/m<sup>3</sup>, por el método de difusión pasiva, en esta investigación, se aproxima de los obtenidos por el autor anteriormente mencionado (63.1 µg/m<sup>3</sup> a 34.0 µg/m<sup>3</sup>).

Herrera (2019), en su tesis titulada “*Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad del aire de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín – 2014*”, de la Universidad Nacional de San Martín; que tuvo como objetivo evaluar la concentración de Material Particulado en suspensión (PM<sub>2.5</sub>) y gases Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y Monóxido de Carbono (CO). Para ello se desarrolló un programa de monitoreo de calidad del aire realizado en dos épocas, en verano, octubre de 2015 e invierno mayo 2016. Para ambos casos se utilizó un equipo de muestreo automático y se

determinó la cantidad de partículas en suspensión PM<sub>2.5</sub> y equipo tren de muestreo para determinación de gases SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO. Como resultado se obtuvieron valores promedios de PM<sub>2.5</sub>, con 17.96 µg/m<sup>3</sup> y 13.07 µg/m<sup>3</sup>, para ambas épocas, en cambio el estándar es 50µg/m<sup>3</sup> (24 horas) y los valores promedios para CO son (51.33 µg/m<sup>3</sup> y 49.83 µg/m<sup>3</sup>) y (48.50µg/m<sup>3</sup> y 40.83µg/m<sup>3</sup>) para ambas épocas de estudio, en cambio el estándar es 10000 µg/m<sup>3</sup> (8 horas), siendo constantes los valores de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub> con >1.2 µg/m<sup>3</sup>.

En la presente investigación a diferencia de lo realizado por Herrera en el 2014, la metodología utilizada fue el método de difusión pasiva, debido a las ventajas que presenta, bajo costo económico, facilidad de traslado y ubicación, no necesita suministro eléctrico, es de instalación discreta y rápida, y es adecuado para estudios de calidad del aire en zonas con difícil acceso.

Respecto a las concentraciones de SO<sub>2</sub>, los datos obtenidos en la presente investigación oscilan entre 0.4 a < 0.2 µg/m<sup>3</sup> y las concentraciones de NO<sub>2</sub> oscilan entre 52.9 µg/m<sup>3</sup> a 32.4 µg/m<sup>3</sup>. Ambos resultados difieren de los resultados obtenidos en la tesis de Herrera en el 2014.

## VI. CONCLUSIONES

- Con los datos obtenidos del flujo vehicular mediante conteo observacional y los resultados de las concentraciones del NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> no existe un grado de asociación directo, donde a mayor flujo vehicular se presenta un incremento en las concentraciones de dichos parámetros.
- Se cuantificó el mayor flujo vehicular se presenta en el Punto 1 (P1) entre las avenidas Paseo Colón con Avenida Garcilaso de la Vega, donde circulan 6663 vehículos / hora en promedio, y el menor flujo vehicular se da en el Punto 2 (P2) entre las Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete con 3834 vehículos/hora, esto debido a que tiene el acceso restringido para los buses, combis y vehículos pesados a diferencia de los demás puntos de estudio.
- Se determinó las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, donde la mayor concentración de NO<sub>2</sub>, se obtuvo en el Punto 5 (P5) correspondiente a la Avenida Morales Duarez y Universitaria con 61.3 µg/m<sup>3</sup>, y la menor concentración en el Punto 3 (P3) correspondiente a la Avenida Tingo María con Jr. Zorritos con 34µg/m<sup>3</sup>, así mismo la mayor concentración de SO<sub>2</sub>, se obtuvo en el Punto 5 (P5) correspondiente a la Avenida Morales Duarez y Universitaria con 0.4 µg/m<sup>3</sup> y las menores concentraciones en los otros puntos de estudio con <0.2µg/m<sup>3</sup>; dichas concentraciones presentadas generalmente varían de acuerdo con las estaciones del año y esto generalmente vincula al aumento o disminución del flujo vehicular, por estas zonas. Los resultados de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> de los 5 puntos de estudio no supera el ECA Aire vigente (DS N° 003-2017-MINAM); pero si en 3 puntos (P1, P4, P5) se superó los valores guía de la OMS (40 µg/m<sup>3</sup>) para el NO<sub>2</sub> y en los 5 puntos se superó el valor límite establecido en estándar anual

de Suiza ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), concluyendo que el uso de medidores pasivos permitió identificar zonas críticas y evaluar de manera sencilla las tendencias de contaminación del aire.

- Con los datos obtenidos del cuestionario aplicado para aspectos operaciones de los medios de transporte del flujo vehicular y las concentraciones para los parámetros de  $\text{NO}_2$  y  $\text{SO}_2$ , se concluye que existe un grado de asociación directo donde el tipo de combustible (Diesel) y la antigüedad de los vehículos (mayores a 15 años), presentan un notable incremento en la concentración de dichos parámetros. Siendo el Punto 5 (P5) correspondiente a la Avenida Morales Duarez y Universitaria donde se tienen los niveles más altos de  $\text{NO}_2$  ( $61.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y  $\text{SO}_2$  ( $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); el que presenta 54.44% de vehículos que usan combustible Diesel y el 63.06% presenta una antigüedad mayor a 15 años.
- Se detalló estrategias a implementar para el flujo vehicular y calidad del aire:  
Estrategia 1: Distintivo ecológico vehicular para determinar el nivel de contaminación del aire; Estrategia 2: Implementar bonos para las unidades de servicios de transporte urbano y vehículos particulares, que implementen sistemas de control de emisiones vehiculares; Estrategia 3. Educación y comunicación para crear una conciencia en conductores; Estrategia 4. Implementar las medidas contempladas en el Plan de Acción para el mejoramiento de la calidad de aire de Lima Callao 2021-2025; Estrategia 5. Desarrollo de programas, planes integrales de principios y líneas de actuación, en materia de educación ambiental para las instituciones, empresas de transporte y la población.

## VII. RECOMENDACIONES

- Cuantificar complementariamente a otros puntos de monitoreo, generando una red del Cercado de Lima, cuyas frecuencias sean hasta 3 veces al día, los 7 días de la semana, identificando características del flujo vehicular, como el tipo, desplazamiento, combustible y la cantidad de ejes.
- Medir la calidad de aire durante los 7 días a la semana, en las cuatro estaciones del año, para conocer el nivel de las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, y relacionarla con el conteo vehicular, para conocer el comportamiento de los parámetros y planificar la reducción del tráfico y mejorar la calidad del aire, para las personas, transeúntes y el ecosistema urbano.
- Desarrollar nuevos estudios vinculados a la contaminación del ambiente por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, y relacionarlos con los estudios de salud; para determinar las medidas de prevención y mitigación para evitar que este tipo de eventos continúe perjudicando la salud de las personas y el medio ambiente.
- Es necesario instrumentalizar las estrategias mediante un plan ambiental, para reducir las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, así como contar con sistemas de monitoreo y evaluación orientadas a una fiscalización ambiental, para la toma de decisiones.

## VIII. REFERENCIAS

- Aguirre, E. (2018) *Cuál es la composición del aire que respiramos*. Sitio web <https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/cual-es-la-composicion-del-aire-que-respiramos-2585.html>
- Berdugo, J. y Ramírez, D. (2016) *Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en sitios críticos por población, movilidad y características geométricas de las vías en la ciudad de Cartagena*. [Tesis de la Universidad de Cartagena]. Repositorio institucional <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/2867>
- Cocha, L. (2019) *Emisión de gases y su relación en la calidad del aire de la zona urbana de la Ciudad de Riobamba*. [Tesis de la Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25806>
- De Nevers, citado por Tyler (2013) *Marco Teórico de contaminación atmosférica*. University College London – Universidad de los Andes. Sitio web <https://prosperityfund.uniandes.edu.co/site/wp-content/uploads.pdf>
- Dirección Regional de Transportes y Comunicaciones de San Martín - DRTC-SM (s.f) *Definiciones*. <https://www.gob.pe/regionsanmartin-drtc>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI (2014). Una mirada a Lima Metropolitana. <http://www.inei.gob.pe>
- Herrera, S. (2019) *Influencia de la altura de toma de muestra y las estaciones del año en la calidad del aire de la población de Segunda Jerusalén, Rioja, San Martín – 2014*. [Tesis de la Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional <https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3263/DOC.%20CIENC.%20AMB.%20-20Santos%20Clemente%20Herrera%20D%C3%ADaz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Juran, citado por Flores (2020) *La calidad del servicio y su influencia en la satisfacción del cliente en el supermercado plaza vea del distrito de Tacna, año 2020*. [Tesis de la Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1838>
- Limas, C. (2016) *Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en plazas históricas del Cercado de Lima*. [Tesis de la Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional: <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1484>
- Ministerio del Medio Ambiente ([MINAM], 2018) *Entró en vigencia las normas de emisiones vehiculares Euro IV, Tier 2 y EPA 2007*. Sitio web <https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/a-partir-del-1-de-abril-del-2018-entro-en-vigencia-las-normas-de-emisiones-vehiculares-euro-iv-tier-2-y-epa-2007/>)
- Ministerio del Medio Ambiente ([MINAM], 2019) *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire*. Sitio web [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO\\_MONITOREO\\_AIRE\\_compressed.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/434320/PROTOCOLO_MONITOREO_AIRE_compressed.pdf)
- Ochoa, A. (2021) *Monitoreo de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> Y CO para estimar la calidad del aire en la ciudad de Montería*. [Tesis de la Universidad de Córdoba]. Repositorio institucional <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4290>
- Organización Mundial de la Salud ([OMS], 2019) *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Sitio web [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Panamericana de la Salud (22 de octubre del 2021). Nuevas guías mundiales sobre la calidad del aire de la OMS: Recomendaciones para proteger la salud pública en las Américas. <https://www.paho.org/es/eventos/webinario-directrices-mundiales->

[oms-sobre-calidad-aire-2021#:~:text=El%2022%20de%20septiembre%20de,la%20salud%20de%20la%20poblaci%C3%B3n.](#)

Pariona, J. (2018) *Características de los vehículos y las emisiones contaminantes en la planta de revisiones técnicas de San Antonio de Jicamarca, 2018*. [Tesis de la Universidad Privada César Vallejo-UCV]. Repositorio institucional de la UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/20559>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], (2020) *Nuevo informe de la ONU destaca los impactos ambientales de la exportación de vehículos usados al mundo en desarrollo*. Sitio web <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/nuevo-informe-de-la-onu-destaca-los-impactos-ambientales>

Real Academia Española (2001). Diccionario de la lengua española. <https://www.rae.es/drae2001/auto>

Real Academia Española (2001). Diccionario de la lengua española. <https://www.rae.es/drae2001/flujo>

Real Academia Española (2001). Diccionario de la lengua española. <https://www.rae.es/drae2001/flujo>

Real Academia Española (2001). Diccionario de la lengua española. <https://www.rae.es/drae2001/flujo>

Ramos, C. (2020) *Sistema de estacionamiento subterráneo y su influencia en el congestionamiento vehicular en la zona monumental de Tacna – 2020*. [Tesis de la Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/2391/Ramos-Flores-Claudia.pdf?sequence=1>

- Salazar, L. Solis, J. Rosales, J. (2018) *Causas de la congestión de tránsito en Lima Centro y sus consecuencias sobre la salud y el medio ambiente*.  
[https://web.unfv.edu.pe/facultades/fiis/images/oficinas/unidad\\_investigacion/INVESTIGACION\\_2019/MIERCOLES8/FIIS\\_IF2018\\_SALAZAR\\_BRAVO\\_CAROLINA.pdf](https://web.unfv.edu.pe/facultades/fiis/images/oficinas/unidad_investigacion/INVESTIGACION_2019/MIERCOLES8/FIIS_IF2018_SALAZAR_BRAVO_CAROLINA.pdf)
- Saavedra, J. (2014) *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque automotor generados en un ambiente de tráfico vehicular*. [Tesis de la Universidad de Agraria La Molina]. Repositorio institucional  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1872>
- Supo, J. (2019) *Metodología de la investigación científica*. Sitio web <http://www.josesupo.com>
- Valencia, M. (2017) Efecto de medidas administrativas en la reducción de las emisiones de contaminantes criterio por fuentes móviles vehiculares, sector 2 - Villa el Salvador, 2016. [Tesis de la Universidad Científica del Sur]  
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/browse?type=author&value=Valencia+Padilla%2C+Mery+Julith>
- Wenfilter (2021) *Qué es lo que respiramos en el ambiente*. Sitio web  
<https://www.venfilter.es/blog/que-es-lo-que-respiramos-en-el-ambiente>.

**IX. ANEXOS**

## Anexo A Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Método
<p><b>General.</b> ¿Cómo el flujo vehicular influye sobre la calidad de aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito del Cercado de Lima - 2020?</p> <p><b>Específicos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>¿Cuánto es el flujo vehicular considerando todo tipo de vehículo que circula en los puntos de estudio en el distrito de Cercado de Lima?</li> <li>¿Cuáles son las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor en comparación con los valores límite permisible nacionales e internaciones, en el distrito de Cercado de Lima?</li> <li>¿Cómo analizo los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito del Cercado de Lima?</li> <li>¿Qué estrategias reducirán el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el Cercado de Lima?</li> </ul>	<p><b>General.</b> Establecer el flujo vehicular y su influencia sobre la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el distrito del Cercado de Lima - 2020.</p> <p><b>Específicos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Calcular el flujo vehicular considerando todo tipo de vehículo que circulan por los puntos de estudio en el distrito del Cercado de Lima.</li> <li>Determinar las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, derivados del parque automotor y comparar con los valores límite permisible nacionales e internacionales, en el distrito del Cercado de Lima.</li> <li>Analizar los aspectos operacionales de los medios de transporte del flujo vehicular estudiado y su relación con las concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima</li> <li>Proponer las estrategias sobre el flujo vehicular y el mejoramiento de la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el Cercado de Lima.</li> </ul>	<p>H0= El flujo vehicular influye altamente en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima – 2020.</p> <p>H1= El flujo vehicular no influye altamente en la calidad del aire por NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, en el distrito de Cercado de Lima – 2020.</p>	<p><b>Independiente:</b> <b>Flujo vehicular</b> <b>Dimensiones:</b> D1. Tipos de vehículos D2. Factores de los medios de transporte del flujo vehicular</p> <p><b>Dependiente:</b> <b>Calidad de aire</b> <b>Dimensiones:</b> D1. Concentraciones de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> D2. Estándar de calidad ambiental (ECA - Aire)</p>	<p><b>Tipo</b> No experimental Transversal</p> <p><b>Nivel</b> Descriptiva</p> <p><b>Técnica</b> Observación Documental Encuesta</p> <p><b>Instrumentos</b> Fichas de observación Diario de campo Cuestionario</p> <p>Población y muestra P=669161; n=385 conductores por tipos de vehículos que fueron registrados y pasaron por los 5 puntos, para determinar mediante el monitoreo las concentraciones del NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.</p>

Fuente. Elaboración propia

### Anexo B Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de variable
V(x): FLUJO O VEHICULAR	El flujo vehicular (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Antes de cualquier diseño geométrico de una vía se deben conocer las características del tránsito que va a ocupar esa carretera o calle (Thomson y Bull; citado por Bayona y Márquez, 2015).	El flujo vehicular se medirá mediante el conteo por tipos de vehículos, en los 5 los puntos de estudio, cuyas avenidas fueron Av.(s). Paseo Colón-Garcilaso de la Vega; Nicolás de Piérola-Cañete; Tingo María-Jr. Zorritos; Argentina-Av. Universitaria y Morales Duarez-Universitaria; donde se levantó información del flujo vehicular, es decir cantidad de vehículos, en dos turnos (mañana y tarde), por categoría de vehículo: y se empleó encuestas aplicadas a conductores para conocer características de sus vehículos, como tipo de combustible, capacidad de tanque, etc.	Tipos por categoría de vehículos	<b>Vehículos menores: Moto, mototaxi.</b> <b>Vehículos livianos: Auto, Camioneta, Combi, Micro (CUSTER), Ómnibus.</b> Vehículos pesados: Camiones, Semitráiler, Tráiler.	Nominal
			Aspectos operaciones de los medios de transporte del flujo vehicular	Tipos de combustible Motor de los vehículos Antigüedad de vehículos Revisión técnica Tecnologías para la disminución de emisiones vehiculares	
V(y): CALIDAD DE AIRE	El concepto de calidad del aire -o índice de calidad del aire- hace referencia a las cantidades de contaminantes que se encuentran presentes en el aire. De este modo, cuando la calidad del aire es buena querrá decir que hay	Para la medición de la calidad de aire NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> , se empleó muestreadores pasivos los cuales fueron instalados por un periodo de 28 días posterior a ello se trasladó las muestras para los análisis en laboratorio y medir las concentraciones mediante el	Estrategias para el flujo vehicular y calidad del aire	Estrategia 1: Distintivo ecológico vehicular para determinar el nivel de contaminación del aire Estrategia 2. Implementar bonos para las unidades de servicios de transporte urbano y vehículos particulares, que implementen sistemas de control de emisiones vehiculares. Estrategia 3. Educación y comunicación para crear una conciencia en conductores. Estrategia 4. Implementar las medidas contempladas en el Plan de Acción para el mejoramiento de la calidad de aire de Lima Callao 2021-2025. Estrategia 5. Desarrollo de programas, planes integrales de principios y líneas de actuación, en materia de educación ambiental para las instituciones, empresas de transporte y la población.	Cuantitativa  Continua
			Concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub>	Laboratorio por puntos de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> Comparación con NO <sub>2</sub> con ECAs y estándares de OMS Comparación de SO <sub>2</sub> con ECAs y estándares de OMS Flujo vehicular y concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> Categoría de flujo y las concentraciones de NO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> Estación meteorológica de SENAMHI	

<p><b>pocos contaminantes; mientras que cuando es mala, estaremos ante unos niveles de contaminación elevados (OMS, 2020).</b></p>	<p>método Saltzmann SP01; enviados mediante la Empresa Klepel Consulting SAC.</p>	<p>Normativa Nacional e internacional</p>	N	ECA Anual: 100 ug/m3
			O	OMS Anual 40 ug/m3
			2	Suiza Anual 30 ug/m3
			S	<b>OMS Anual: 50 ug/m3</b>
			O	Suiza Anual: 30 ug/m3
			2	

*Fuente.* Elaboración propia

## Anexo C Resultados del análisis de laboratorio de los tubos pasivos para NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>

### Informe de la prueba de medición de la contaminación del aire

**passam ag**

**NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>** Medición de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre mediante muestreador pasivo

air quality monitoring

#### Información del cliente

cliente: Klepel Consulting  
 Identificación del cliente: PEK  
 contacto: Roland Klepel  
 proyecto:  
 referencia:

#### muestreadores pasivos

recepción: 14.10.2020  
 tipo: badge  
 contaminante: NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>

#### análisis

método: SP19 cromatografía iónica  
 analito: NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>  
 fecha: 25.10.2020  
 lugar: passam ag

#### Informe de prueba

creado en: 31.10.2020  
 creado por: C. Planier  
 revisado: 04.11.2020  
 revisado por: S. Huber  
 nombre del archivo: PEK192001  
 páginas: 1



notas: se aplica a la muestra tal como se recibió; Información sobre la Incertidumbre del límite de medición y detección en la hoja de datos: [www.passam.ch](http://www.passam.ch)  
 concentración calculada suponiendo: T = 20°C; p = 1013 hPa; este método está acreditado por ISO 17025

lugar de medición	muestreadores pasivos		periodo de medición			medición				resultado				Comentarios sobre el análisis
	ID	lote no.	principio fecha	hora	tiempo de expo. h	valor en blanco [NO <sub>2</sub> ]- ppm	[SO <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> - ppm	[NO <sub>2</sub> ]- ppm	[SO <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> - ppm	m / muestreador NO <sub>2</sub> ug	SO <sub>2</sub> ug	Conc NO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> ug/m <sup>3</sup>	
Av. Arequipa, Alejandro Tirado	PEK15	43808	09/03/2020	15:50	430.7	0.25	1.67	1.50	1.43	5.01	< 0.1	12.5	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Paseo Colón con Garcilaso de la Vega	PEK14	43808	09/03/2020	16:15	430.6	0.25	1.67	2.91	1.41	10.66	< 0.1	26.6	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Cafete con Nicolás de Piérola	PEK13	43808	09/03/2020	16:50	430.2	0.25	1.67	1.85	1.70	6.40	< 0.1	16.0	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Tingo María con Zorrillos	PEK20	43808	09/03/2020	18:25	428.8	0.25	1.67	1.64	1.41	5.58	< 0.1	14.0	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Argentina con Universitaria	PEK22	43808	09/03/2020	18:50	428.6	0.25	1.67	2.84	1.30	10.36	< 0.1	26.0	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Universitaria con Morales Duarez	PEK12	43808	09/03/2020	19:33	428.0	0.25	1.67	2.71	1.47	9.85	< 0.1	24.7	< 0.3	espec. no cumplidas: vida útil;
Av. Paseo Colón con Garcilaso de la Vega	PEK19	43808	24/08/2020	14:45	671.8	0.25	1.67	9.03	1.21	35.15	< 0.1	56.3	< 0.2	
Av. Cafete con Garcilaso de la Vega	PEK17	43808	24/08/2020	15:10	671.6	0.25	1.67	6.21	1.51	23.83	< 0.1	38.2	< 0.2	
Av. Cafete con Nicolás de Piérola	PEK18	43808	24/08/2020	15:30	671.4	0.25	1.67	5.56	1.37	21.24	< 0.1	34.0	< 0.2	
Av. Argentina con Universitaria	PEK16	43808	24/08/2020	15:55	671.3	0.25	1.67	9.41	1.09	36.63	< 0.1	58.7	< 0.2	
Av. Universitaria con Morales Duarez	PEK23	43808	24/08/2020	16:10	671.2	0.25	1.67	9.82	1.75	38.28	0.20	61.3	0.4	
Jr. Huancarquí 920	PEK21	43808	22/09/2020	19:00	182.0	0.25	1.67	1.19	1.67	3.78	< 0.1	22.3	< 0.7	
	Blank-1						1.67	0.00	1.67	< 0.12	< 0.1			

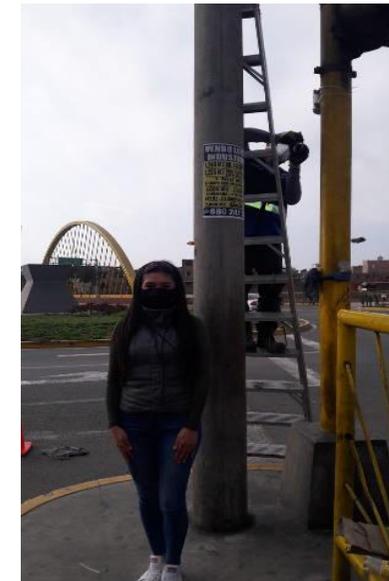
### Anexo D Panel fotográfico



**Fotografía 01:** Ubicación del punto de estudio en la Av. Tingo María con Jr. Zorritos



**Fotografía 02:** Ubicación del punto de estudio en la Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete



**Fotografía 03:** Ubicación del punto de estudio en la Av. Morales Duarez - Av. Universitaria



**Fotografía 04:** Cuantificación del número de vehículos en la Av. Argentina con Universitaria



**Fotografía 05:** Cuantificación del número de vehículos en la Av. Argentina con Universitaria



**Fotografía 06:** Cuantificación del número de vehículos en la Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete



**Fotografía 07:** Materiales de muestreo por parte de la empresa Klepen Consulting S.A.C



**Fotografía 08:** Portatubo pasivo que se instaló en los semáforos de las avenidas



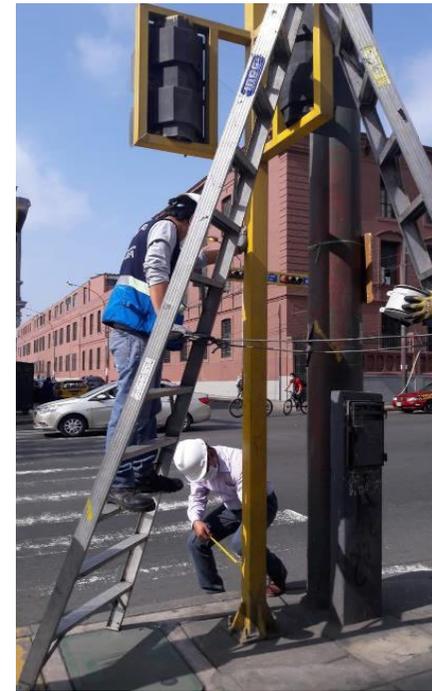
**Fotografía 09:** Demostración de la instalación del muestreador pasivo por el Ing. Roland Klepel



**Fotografía 10:** Instalación del Portatubo en la Av. Argentina con Universitaria



**Fotografía 11:** Instalación del Portatubo en la Av. Argentina con Universitaria



**Fotografía 12:** Instalación del Portatubo Av. Nicolás de Piérola - Av. Cañete

### Anexo E Ficha de observación del conteo vehicular (Turno día)

UBICACIÓN:

FECHA:

		SENTIDOS																																			
		1 (N - S)								2 (S - N)								3 (E - O)								4 (O - E)											
		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADOS					
		Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	MICRO (CUSTER)	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler
07:00 - 07:15																																					
07:15 - 07:30																																					
07:30 - 07:45																																					
07:45 - 08:00																																					
08:00 - 08:15																																					
08:15 - 08:30																																					
08:30 - 08:45																																					
08:45 - 09:00																																					
<b>Total</b>																																					

Total

### (Turno tarde)

UBICACIÓN:

FECHA:

		SENTIDOS																																				
		1 (N - S)								2 (S - N)								3 (E - O)								4 (O - E)												
		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADO		MENORES		LIVIANOS				PESADOS						
		Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	Micro	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	Moto, mototaxi.	Auto	Camioneta	Combi	MICRO (CUSTER)	Bus 2E	Bus 3E	Semitráiler	Tráiler	
17:00 - 17:15																																						
17:15 - 17:30																																						
17:30 - 17:45																																						
17:45 - 18:00																																						
18:00 - 18:15																																						
18:15 - 18:30																																						
18:30 - 18:45																																						
18:45 - 19:00																																						
<b>Total</b>																																						

Total 0



Anexo G Diario de campo para muestreadores pasivos combinados de SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub>

Protocolo

**Dióxido de Nitrógeno/Azufre - (NO<sub>2</sub>/SO<sub>2</sub>)-Muestreadores pasivos**Proyecto: Influencia del flujo vehicular sobre la calidad del aire en Cercado de Lima

Lugar de muestreo código	Lote	Código passam	Inicio			Fin			Observaciones
			Fecha	Hora	Responsable	Fecha	Hora	Responsable	
- Av. Arequipa - Alejandro tirado	43808	PEK-15	09.03.20	03:50 pm	Liliam	27.03.20	02:30pm	Liliam	tráfico normal, altura 2.70mt Apoyo de Protransito/cuarenta
- Paseo Colón con Garcilaso	43808	PEK-14	09.03.20	04:15 pm	Liliam	27.03.20	02:50pm	Liliam	tráfico normal, altura 2.70 mt Apoyo de Protransito/cuarenta
- Av. Cañete con Nicolas de Pierola	43808	PEK-13	09.03.20	04:50 pm	Liliam	27.03.20	03:00 pm	Liliam	Apoyo de Protransito/cuarenta tráfico normal, altura 2.70 mt
- Av. tingo María con Zorritos	43808	PEK-20	09.03.20	06:25 pm	Liliam	27.03.20	03:15 pm	Liliam	Apoyo de Protransito/cuarenta tráfico normal, altura 2.70 mt
- Av. Argentina con universitaria	43808	PEK-22	09.03.20	06:50 pm	Liliam	27.03.20	03:25 pm	Liliam	Apoyo de Protransito/cuarenta tráfico moderado, alt. 2.70 mt
- Av. Universitaria con Morales duarez	43808	PEK-12	09.03.20	07:33 pm	Liliam	27.03.20	03:30 pm	Liliam	Apoyo de Protransito tráfico intenso, altura 2.70 mt cuarenta
- Av. Paseo Colón con Garcilaso	43808	PEK-14	24.08.20	02:45 pm	Liliam	21.09.20	02:35 pm	Liliam	tráfico normal, altura 2.70 mt Apoyo de Protransito
- Av. Cañete con Nicolas de Pierola	43808	PEK-17	24.08.20	03:10 pm	Liliam	21.09.20	02:45 pm	Liliam	tráfico normal, altura 2.70 mt Apoyo de Protransito
- Av. tingo María con Zorritos	43808	PEK-18	24.08.20	03:30 pm	Liliam	21.09.20	02:56 pm	Liliam	tráfico normal, altura 2.70 mt Apoyo de Protransito
- Av. Argentina con universitaria	43808	PEK-16	24.08.20	03:55 pm	Liliam	21.09.20	03:10 pm	Liliam	tráfico moderado, altura 2.70 mt. Apoyo de Protransito
- Av. Universitaria con Morales duarez	43808	PEK-23	24.08.20	04:10 pm	Liliam	21.09.20	03:20 pm	Liliam	tráfico moderado, altura 2.70 mt Apoyo de Protransito

## Anexo H Carta presentada a Klepel Consulting SAC

Lima, 19 de noviembre del 2019

**Solicito:** servicio de análisis de laboratorio  
por método de difusión pasiva.

**Señor: Ronald Klepel**

**Gerente General de Klepel Consulting SAC**

Ante todo, saludarlo cordialmente y por medio del presente solicitar el servicio de análisis de laboratorio por método de difusión pasiva para analizar la calidad de aire (dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y benceno).

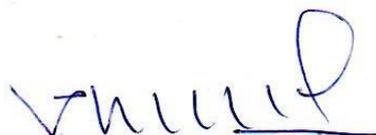
Quedo a la espera de su pronta respuesta, para dar inicio con la fase de toma de muestras de mi proyecto de tesis.

Atentamente,



---

LILIAM SUSANA FLORES VELA  
DNI: 47482070  
Responsable del proyecto de tesis



---

ING. GLADYS ROJAS LEÓN  
Asesor de tesis

## Anexo I Carta presentada a la Municipalidad de Lima

Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Facultad de Ingeniería Geográfica,  
Ambiental y Ecoturismo



DECANATO

"Año de la universalización de la salud"

D/S 23541-2020

Carta N° 001-2020-D-FIGAE-LINEV

Senor  
**JORGE MUÑOZ WELLS**  
Alcalde  
MUNICIPALIDAD METROPOLITANA  
DE LIMA - MML



Presente.

Ref: Proyecto de Investigación: Calidad del Aire

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, y a la vez hacer de su conocimiento que la Bach. Liliam Susana FLORES VELA, de la especialidad de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) de esta casa superior de estudios, registrada con el Código N° 2011233367, e identificada con el DNI N° 47482070, se encuentra actualmente realizando el proyecto de investigación de su tesis titulada "Influencia del flujo vehicular y especies arbóreas sobre la calidad del aire en Cercado de Lima"; por tal motivo, solicito tenga a bien autorizar y brindar las facilidades del caso con el área encargada, para instalar seis (06) dispositivos pasivo para análisis de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en Cercado de Lima por el periodo de dos (02) meses, tal y como se detalla en el plan de investigación aprobado por su asesora docente, Ing. Gladys Rojas León.

En la seguridad de merecer su valioso apoyo, quedo de Usted,

Atentamente,



Manuel Amaya Pingo  
DECANO

PMAP/g

## Anexo J Carta de aprobación para la instalación de los muestreadores pasivos

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año de la Universalización de la Salud"



Lima, 02 MAR. 2020

**OFICIO N° 01-2020-MML/GMU-PROTRÁNSITO**

Señor:

**Pedro Manuel Amaya Pingo**  
Decano de Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo  
Universidad Nacional Federico Villarreal  
Av. Oscar R. Benavides N° 450  
Cercado de Lima.-



**Asunto:** Autorización para la instalación de dispositivos en seis (06) intersecciones para Proyecto de Investigación en calidad del aire.

**Ref. :** a) CARTA N° 001-2020-D-FIGAE-UNFV (D/S. 23541-2020) *Copia - Sub. Serv. a la ciudad*  
b) OFICIO N° 217-2020-MML/GSCGA-SGA  
c) OFICIO N° 217-2020-MML/GMU-SIT

De mi especial consideración:

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y en relación al documento de la referencia a), mediante el cual solicita la autorización para la instalación de seis (06) dispositivos pasivos para análisis de NO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> en el Cercado de Lima por el periodo de dos (02) meses.

Al respecto, según lo coordinado con la Srta. Liliam Flores Veja, mediante correo electrónico de fecha 16/02/2020, cuya copia se adjunta, se autoriza la instalación de dichos dispositivos en los postes semafóricos de las siguientes intersecciones:

1. Av. Arequipa / Av. Alejandro Tirado
2. Av. Paseo Colón / Av. Garcilaso de la Vega
3. Av. Morales Duarez / Av. Universitaria
4. Av. Nicolás de Piérola / Jr. Cañete
5. Av. Argentina / Av. Universitaria
6. Av. Tingo María / Jr. Zorritos



Finalmente, para coordinar la instalación de los equipos podrá comunicarse con el Sr. Absalon Imaña Ramírez-Alzamora, encargado del Equipo de Ejecución, Implementación y Mantenimiento, al número 981-325-625.

Sin otro en particular, quedo de usted.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA  
GERENCIA DE SERVICIOS A LA CIUDAD Y GESTIÓN AMBIENTAL  
SUBGERENCIA DE GESTIÓN AMBIENTAL  
FERNANDO RIVERA DIAZ  
JEFE



Adjunto: Correo electrónico (Copia)

- GMU-SIT

CC: - Subgerencia de Gestión Ambiental

Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental - MML  
Jr. Conde de Superunda N° 169 - 4to Piso

FPD/alra/wjcs



Proyecto Especial para la Gestión de Tránsito  
Jr. Cuzco N° 288 - 11° Piso - Cercado de Lima  
Central Telefónica (511) 426-2066