



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

Facultad de
**INGENIERÍA GEOGRÁFICA,
AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA
CALIDAD DEL AIRE POR NO₂ Y SO₂ EN PLAZAS
HISTÓRICAS DEL MERCADO DE LIMA**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR (A)

Limas Moya, Diana Carolina

ASESOR (A)

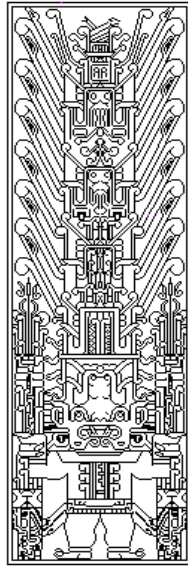
Gómez Lora, Jhon Walter

Lima - Perú
2016

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS:

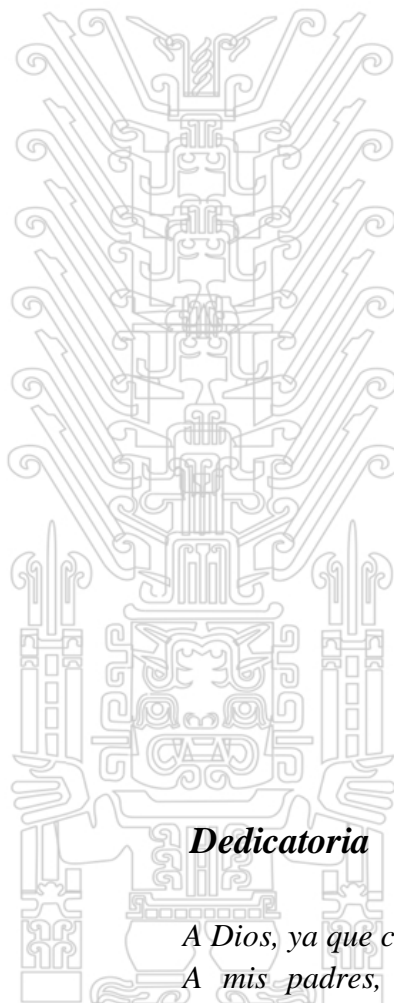
INCIDENCIA DEL FLUJO VEHICULAR EN LA CALIDAD DEL AIRE POR NO₂ Y SO₂ EN PLAZAS HISTÓRICAS DEL CERCADO DE LIMA

Presentado por la:
Bach. Limas Moya Diana Carolina

Para obtener el Título Profesional de:
Ingeniero Ambiental

LIMA - PERÙ

2016



Dedicatoria

*A Dios, ya que con él a mi lado todo es posible.
A mis padres, Adalberto y Olga, por ser mi punto de apoyo incondicional, alentándome para conseguir las metas propuestas. A mi hermano Lenin, por sus muestras de cariño y afecto en todo momento.*

Agradecimientos

Agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

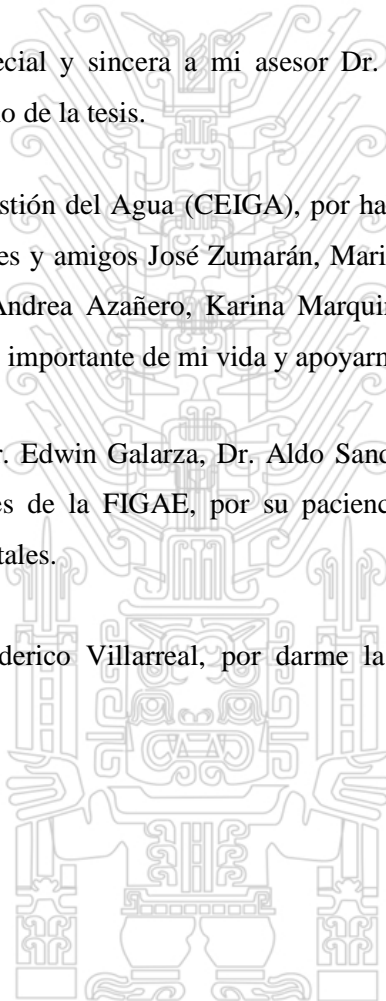
Le doy gracias a mis padres Olga y Adalberto por inculcarme el deseo de superación, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, así mismo, a mi hermano Lenin por su cariño, apoyo y comprensión.

Agradezco de manera muy especial y sincera a mi asesor Dr. Walter Gómez Lora por su apoyo incondicional durante el desarrollo de la tesis.

Al Centro de Investigación y Gestión del Agua (CEIGA), por haber contribuido en mi formación de investigadora, a mis colaboradores y amigos José Zumarán, Maricruz Valenzuela, Alejandro Aldana, Ángel Merino, Yoselin Abad, Andrea Azañero, Karina Marquina, Carol Reynaga y en especial a Fredy Condori, por ser parte muy importante de mi vida y apoyarme durante el desarrollo de mi tesis.

A mis Docentes informantes: Dr. Edwin Galarza, Dr. Aldo Sandoval, Dr. Noé Zamora y Dr. Cesar Arguedas y a todos los docentes de la FIGAE, por su paciencia, tiempo y aportes para nuestra formación de Ingenieros Ambientales.

A mi Universidad Nacional Federico Villarreal, por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.



RESUMEN

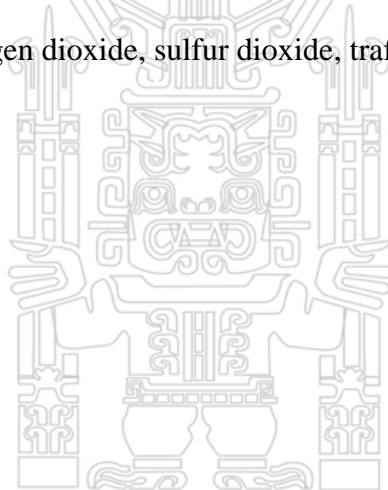
El presente trabajo de tesis tiene como objetivo, conocer la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ mediante tubos pasivos en plazas históricas del Cercado de Lima, los puntos muestreados se realizaron en las siguientes plazas: Bolognesi, Dos de Mayo, San Martín y el Parque Universitario. Se realizó un estudio observacional del comportamiento vehicular para cuantificar el flujo, estableciendo puntos de conteos de manera que no se repitan dos veces el paso de los vehículos por un mismo punto. La metodología para analizar la concentración de NO₂ y SO₂, se realizó por el método de difusión pasiva, que consistió en instalar estratégicamente cuatro equipos muestreadores en postes de alumbrado público a una altura de 3 m, por un período de un mes aprox. (entre los meses de enero y febrero del 2016). Al finalizar el tiempo de muestreo, fueron retiradas cuidadosamente y se enviaron al laboratorio Passam AG de Suiza, por medio de la empresa Klepel Consulting SAC., para su análisis correspondiente. Finalmente se identificó la relación del flujo vehicular con respecto a la concentración de SO₂ y NO₂, obteniendo como resultados, el mayor flujo vehicular promedio fue en la plaza Dos de Mayo con 8284 vehículos/hora entre pesados, livianos y menores, y el menor flujo vehicular fue en la plaza San Martín con 3315 vehículos/hora. La mayor concentración de NO₂, se obtuvo en la plaza Dos de Mayo con 50,9 µg/m³, y el menor valor en la plaza San Martín con 33,35 µg/m³.

Palabras claves: Calidad del aire, Dióxido de nitrógeno, Dióxido de azufre, Flujo vehicular.

ABSTRACT

This thesis work has as objective, to know the incidence of traffic flow in the air quality by NO₂ and SO₂ using tubes liabilities in historic town squares of Lima Cercado, points sampled was carried out in the following places: Bolognesi, Two May, San Martín and the University Park. An observational study was conducted of the vehicular behavior to quantify the flow, establishing points of counts so as not to repeat twice the passage of vehicles by a same point. The methodology for analyzing the concentration of NO₂ and SO₂, was made by the method of passive diffusion, which consisted of installing strategically five teams samplers in public lighting poles at a height of 3 m, for a period of one month approx. (between the months of January and February 2016). At the end of the sampling time, were withdrawn carefully and is sent to the laboratory Passam AG of Switzerland, by means of the company Klepel Consulting SAC., for scanning. Finally identified the relationship of vehicle flow with regard to the concentration of SO₂ and NO₂, obtaining as results, increased traffic flow average was in the Plaza Dos de Mayo with 8284 vehicles/hour between heavy, light and minors, and the less traffic flow was in the plaza San Martín with 3315 vehicles/hour. The largest concentration of NO₂, was obtained in the Plaza Dos de Mayo with 50.9 µg/m³, and the smallest value in the plaza San Martín with 33, 35 µg/m³.

Key words: Air quality, Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, traffic flow.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.1.1 Nacionales	13
1.1.2 Internacionales	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Descripción del Problema	18
1.2.2 Formulación del Problema	20
1.2.2.1 Problema Principal	20
1.2.2.2 Problemas Secundarios	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.3.1 Objetivo General	20
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 HIPÓTESIS	21
1.5 VARIABLES	21
1.6 JUSTIFICACIÓN	21
1.7 IMPORTANCIA	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2.1 BASE TEÓRICA	23
2.1.1 El motor de Combustión Interna, la Contaminación del Aire y su relación	23
2.1.1.1 Motor de combustión interna	23
2.1.1.2 Flujo vehicular	26
2.1.1.3 Combustible	28
2.1.1.4 Emisiones contaminantes del parque vehicular	30
2.1.1.4.1 Motor a gasolina	30
2.1.1.4.2 Motor diésel	32
2.1.1.5 Gases emitidos	34
2.1.1.5.1 Gases no contaminantes	34
2.1.1.5.2 Gases contaminantes	35
2.2 MARCO REFERENCIAL	37
2.2.1 Concepto de Aire	37
2.2.1.1 Composición del Aire	37
2.2.1.2 Contaminación Atmosférica	38

2.3. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE	55
2.3.1 Efectos sobre la Salud	55
2.3.2. Efectos sobre el Ambiente	61
2.3.2.1 Lluvia Ácida	61
2.3.2.2 Smog	61
2.4 MARCO INSTITUCIONAL DE LA CALIDAD DEL AIRE	65
2.5. MARCO LEGAL DE LA CALIDAD DEL AIRE	67
2.6. LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES COMO FUENTES DE EMISIÓN	79
2.7. SECTOR TRANSPORTE EN EL PERÚ	82
2.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE	85
2.9 INCERTIDUMBRE DE DIFUSIÓN PASIVA	93
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	96
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	96
3.1.1. MATERIALES	96
3.1.2. EQUIPOS	97
3.1.3 SOFTWARE	98
3.2 MÉTODOS	99
3.2.1 Diseño y Tipo de Investigación	99
3.2.2 Tipo de Muestreo	99
3.2.2.1 Muestreo por conveniencia (no probabilístico).	99
3.2.3 Unidad de Análisis	99
3.2.4 Delimitación Temporal	99
3.2.5 Delimitación Espacial	99
3.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	100
3.3.1. Ubicación política y geográfica	100
3.3.2. Datos generales del distrito de Cercado de Lima	100
3.3.3. Límites del distrito Cercado de Lima	102
3.4 PROCEDIMIENTOS	103
3.4.1. ETAPA 1: Identificación y Ubicación de los puntos de muestreo.	103
3.4.2. ETAPA 2: Cuantificación del Número de Vehículos que circulan por cada plaza.	104
3.4.3. ETAPA 3: Procedimientos para la adquisición e instalación de muestreadores pasivos	105
3.4.4. ETAPA 4: Relación del flujo vehicular vs la concentración del NO ₂ y SO ₂	107
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	108
4.1 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	108
4.1.1. Punto 01: Plaza Dos de Mayo	108
4.1.2 Punto 02: Plaza Bolognesi	110
4.1.3 Punto 03: Plaza San Martín	112
4.1.4 Punto 04: Parque Universitario	114

4.2 RESULTADOS DEL FLUJO VEHICULAR POR PUNTOS DE MUESTREO	116
4.2.1 Flujo vehicular en la Plaza Dos de Mayo	116
4.2.2 Flujo vehicular en la Plaza Bolognesi	122
4.2.3 Flujo vehicular en el Parque Universitario	128
4.2.4 Flujo vehicular en la plaza San Martín	134
4.2.5 Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas	140
4.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL NO₂ Y SO₂ POR PUNTOS DE MUESTREO.	141
4.3.1 Resultados del Análisis de laboratorio de NO ₂ en los cuatro puntos de muestreo.	141
4.3.2 Resultados de los Análisis de laboratorio de SO ₂ en los cuatro puntos de muestreo.	142
4.3.3 Comparación de la concentración del NO ₂ y SO ₂ con diferentes estándares.	143
4.4 RELACIÓN Y COMPARACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR VS LA CONCENTRACIÓN DEL NO₂ Y SO₂ EN LOS PUNTOS DE ESTUDIO	145
4.4.1 Relación y comparación del flujo vehicular vs la concentración del NO ₂	145
4.4.2 Relación y comparación del flujo vehicular vs la concentración del SO ₂	146
4.5 ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO	147
4.5.1 Análisis con los datos de la Estación Meteorológica VILLARREAL	147
4.5.2 Análisis con los datos de la Estación Meteorológica Campo de Marte - SENAMHI	150
CAPÍTULO V: PROPUESTA	153
5.1 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA TEÓRICA	156
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	161
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	166
6.1 CONCLUSIONES	166
6.2 RECOMENDACIONES	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
ANEXOS	170

ÍNDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
1.	<i>Variables e Indicadores</i>	21
2.	<i>Clasificación de los contaminantes atmosféricos</i>	39
3.	<i>Clasificación de los contaminantes primarios y secundarios</i>	40
4.	<i>Fuentes naturales de contaminación</i>	42
5.	<i>Comparación entre partículas finas y gruesas</i>	49
6.	<i>Contaminantes peligrosos con efectos no carcinogénicos</i>	51
7.	<i>Contaminantes peligrosos con efectos carcinogénicos</i>	52
8.	<i>Individuos sensibles por contaminación del aire</i>	58
9.	<i>Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre el sistema respiratorio</i>	59
10.	<i>Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos</i>	60
11.	<i>Compuestos originarios del “Smog”</i>	64
12.	<i>Normativa de la Calidad del Aire en el Perú</i>	71
13.	<i>Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire - 2001</i>	74
14.	<i>Valores de Tránsito</i>	75
15.	<i>Estándares de Calidad Ambiental para Aire - 2008</i>	76
16.	<i>Estándar de Calidad Ambiental para el Dióxido de Azufre SO₂</i>	76
17.	<i>Índice de Calidad del Aire</i>	77
18.	<i>Clasificación de los estados de la calidad del aire</i>	78
19.	<i>Algunos contaminantes emitidos por los automóviles</i>	79
20.	<i>Sector transporte - demanda de energía</i>	84
21.	<i>Valores límites para SO₂</i>	90
22.	<i>Valores límites para NO₂</i>	91
23.	<i>Ventajas y Desventajas de los métodos de medición de la calidad del aire</i>	92
24.	<i>Ubicación de los Puntos de Muestreo Pasivo</i>	100
25.	<i>Población del Distrito del Cercado de Lima por año.</i>	101
26.	<i>Coordenadas UTM de la Plaza Dos de Mayo</i>	108
27.	<i>Características del punto de muestreo de la Plaza Dos de Mayo (PD1)</i>	109
28.	<i>Coordenadas UTM de la Plaza Bolognesi</i>	110
29.	<i>Características del punto de muestreo de la Plaza Bolognesi (PBI)</i>	111
30.	<i>Coordenadas UTM de la Plaza San Martín</i>	112
31.	<i>Características del punto de muestreo de la Plaza San Martín (PSM1)</i>	113
32.	<i>Coordenadas UTM del Parque Universitario</i>	114
33.	<i>Características del punto de muestreo del Parque Universitario (PUI)</i>	115
34.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (18 de Enero)</i>	116
35.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (18 de Enero)</i>	117
36.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (20 de Enero)</i>	118
37.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (20 de Enero)</i>	119
38.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (22 de Enero)</i>	120
39.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (22 de Enero)</i>	121
40.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (25 de Enero)</i>	122
41.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (25 de Enero)</i>	123
42.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (27 de Enero)</i>	124
43.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (27 de Enero)</i>	125
44.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (29 de Enero)</i>	126
45.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (29 de Enero)</i>	127
46.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (01 de Febrero)</i>	128
47.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (01 de Febrero)</i>	129
48.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (03 de Febrero)</i>	130

49.	Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (03 de Febrero)	131
50.	Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (05 de Febrero)	132
51.	Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (05 de Febrero)	133
52.	Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (08 de Febrero)	134
53.	Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (08 de Febrero)	135
54.	Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (10 de Febrero)	136
55.	Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (10 de Febrero)	137
56.	Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (12 de Febrero)	138
57.	Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (12 de Febrero)	139
58.	Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas	140
59.	Resultados de la concentración de NO ₂ por punto de muestreo.	141
60.	Resultados de la concentración de SO ₂ por punto de muestreo.	142

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Motor de combustión interna	23
2.	Fases de motor (4 tiempos).	24
3.	Componentes de Entrada y Salida de la Combustión	26
4.	Contaminación del aire por vehículos	27
5.	Porcentaje aproximado de los gases de escape de un motor a gasolina	32
6.	Porcentaje aproximado de los gases de escape de un motor diésel	33
7.	Composición del aire	38
8.	Contaminantes primarios y secundarios en el ambiente	41
9.	Comparación de las emisiones vehiculares e industriales	42
10.	Esquema de emisión, evolución de contaminantes en la atmósfera e inmisión	53
11.	Esquema de deposición húmeda y seca	55
12.	Efectos de los contaminantes del aire en la salud	56
13.	Efectos de los contaminantes del aire sobre el sistema respiratorio.	57
14.	Fotooxidación de los contaminantes ácidos	61
15.	Clasificación de parque vehicular en el Perú	83
16.	Muestreador de alto volumen para PTS y PM ₁₀	86
17.	Monitor automático para gases criterio	86
18.	Mediciones desde base en tierra, LIDAR	87
19.	Principio de la difusión	89
20.	Componentes de un tubo de difusión pasiva	89
21.	Muestreador pasivo para dióxido de azufre (SO ₂)	90
22.	Muestreador pasivo para dióxido de nitrógeno	91
23.	Escalera retráctil de aluminio	105
24.	Camioneta Panel CHEVROLET con la escalera retráctil de aluminio	106
25.	Tubos pasivos para SO ₂ y NO ₂ instalados en el Portatubo.	106
26.	Fotografía de la Plaza Dos de Mayo	108
27.	Fotografía de la Plaza Bolognesi	110
28.	Fotografía de la Plaza San Martín	112
29.	Fotografía del Parque Universitario	114
30.	Rosa de Vientos generado de la estación meteorológica Weatherlink - UNFV	148
31.	Rosa de Vientos superpuesto en Google Earth- UNFV	149
32.	Rosa de Vientos generado de la estación meteorológica Jesús María	151
33.	Rosa de Vientos superpuesto en Google Earth- SENAMHI	152

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N°	Descripción	Pág.
1.	<i>Población del Distrito de Cercado de Lima por año</i>	101
2.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (18 de Enero)</i>	116
3.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (18 de Enero)</i>	117
4.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (20 de Enero)</i>	118
5.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (20 de Enero)</i>	119
6.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (22 de Enero)</i>	120
7.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (22 de Enero)</i>	121
8.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (25 de Enero)</i>	122
9.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (25 de Enero)</i>	123
10.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (27 de Enero)</i>	124
11.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (27 de Enero)</i>	125
12.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (29 de Enero)</i>	126
13.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (29 de Enero)</i>	127
14.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (01 de Febrero)</i>	128
15.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (01 de Febrero)</i>	129
16.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (03 de Febrero)</i>	130
17.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (03 de Febrero)</i>	131
18.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (05 de Febrero)</i>	132
19.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (05 de Febrero)</i>	133
20.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (08 de Febrero)</i>	134
21.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (08 de Febrero)</i>	135
22.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (10 de Febrero)</i>	136
23.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (10 de Febrero)</i>	137
24.	<i>Flujo vehicular de 9:00am – 10:00am. (12 de Febrero)</i>	138
25.	<i>Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (12 de Febrero)</i>	139
26.	<i>Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas</i>	140
27.	<i>Concentración de NO₂ en los Puntos de Muestreo</i>	141
28.	<i>Concentración de SO₂ en los Puntos de Muestreo</i>	142
29.	<i>Comparación de la concentración del SO₂ con el ECA, OMS y Suiza</i>	143
30.	<i>Comparación de la concentración del SO₂ con el ECA y la OMS</i>	144
31.	<i>Relación del flujo vehicular vs concentración de NO₂</i>	145
32.	<i>Relación del flujo vehicular vs concentración de SO₂</i>	146
33.	<i>Distribución de frecuencias de la clase de viento- UNFV</i>	148
34.	<i>Distribución de frecuencias de la clase de viento- SENAMHI</i>	151
35.	<i>Disminución de SO₂ en Centro de Lima, 2000-2014</i>	164

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
1.	<i>Propiedades Físicas de la Gasolina</i>	29
2.	<i>Perfil de emisiones por tipo de combustible – Kg./Km de operación</i>	36
3.	<i>Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao del año 2010</i>	44
4.	<i>Catálogo de incertidumbres para la medición de la calidad del aire mediante Tubos</i>	94
5.	<i>Incertidumbres expandidas para los tubos pasivos de Passam S.A., 2001</i>	95
6.	<i>Incertidumbres expandidas para los tubos pasivos de Passam S.A., 2004</i>	95
7.	<i>Áreas verdes por tipo, 2010</i>	102
8.	<i>Velocidad y Dirección del Viento en el Cercado de Lima</i>	147
9.	<i>Velocidad y Dirección del Viento en Jesús María</i>	150
10.	<i>Promedio de total de vehículos livianos en las cuatro plazas</i>	153
11.	<i>Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público en la Plaza Dos de Mayo</i>	154
12.	<i>Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público en la Plaza Bolognesi</i>	154
13.	<i>Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público en la Plaza San Martín</i>	155
14.	<i>Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público en el Parque Universitario</i>	155
15.	<i>Propuesta aplicada a la Plaza Dos de Mayo</i>	156
16.	<i>Propuesta aplicada a la Plaza Bolognesi</i>	157
17.	<i>Propuesta aplicada a la Plaza San Martín</i>	158
18.	<i>Propuesta aplicada al Parque Universitario</i>	159
19.	<i>Total de Vehículos livianos que circulan y dejarían de circular en las cuatro plazas, si se aplica la propuesta</i>	160
20.	<i>Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas, 2010</i>	162
21.	<i>Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas, 2016</i>	163
22.	<i>Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas de España, 2016</i>	165
23.	<i>Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas históricas, 2016</i>	165

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe una gran cantidad de vehículos en todo el mundo desarrollando un proceso de combustión incompleto, responsable de la generación de gases contaminantes emitidos a la atmósfera, estos provocan daños irremediables en la salud de las personas y el medio ambiente **(Vintimilla, 2015)**

El transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de gases contaminantes producto de la combustión de los motores, por tanto representan una fuente importante de contaminación del aire. El parque automotor incluye un numeroso y activo conjunto de vehículos propulsados por la combustión de hidrocarburos (automóviles y camiones).

Los principales contaminantes producidos por las emisiones vehiculares son: Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y material particulado (MP). **(Defensoría del Pueblo, 2006)**.

Las ciudades de Lima, México, Santiago de Chile, Sao Paulo, y Río de Janeiro tienen el aire más contaminado de América Latina, siendo las principales causantes los humos asfixiantes que arrojan los vehículos viejos importados sin restricción **(Banco Mundial, 2006)**

En América Latina, la ciudad con peores indicadores de calidad de aire es Lima y la que tiene un aire más limpio es Salvador de Bahía (Brasil), que revela que más de la mitad de la población mundial reside en urbes con índices de polución 2.5 veces mayores de los recomendados por el organismo. **(OMS, 2014)**

En la actualidad la mayor parte de la contaminación del aire en la Ciudad de Lima es producida por las emisiones del Parque Automotor. Al respecto, PROTRANSPORTE, (Municipalidad de Lima, 2005) menciona que aproximadamente el 86 % de los contaminantes atmosféricos son aportados por las emisiones vehiculares. **(Defensoría del Pueblo, 2006)**

La presente investigación tiene como objetivo, conocer la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ mediante los métodos de conteo observacional y de difusión pasiva en plazas históricas del Cercado de Lima, con la finalidad de proponer medidas de prevención para reducir los contaminantes emitidos por el flujo vehicular, ya que es fundamental para la salud de la población que labora y transita a diario.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

CAPÍTULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Nacionales

Tantaleán, J. (2006). Realizó la Tesis titulada: “Evaluación de la calidad del aire en el centro histórico de Lima en el mes de febrero del 2005”, para optar el Título de Ingeniero Ambiental (UNALM), teniendo como objetivo evaluar el estado de la Calidad del Aire originado por el parque automotor en el Centro Histórico de Lima, mientras que los objetivos específicos fueron los siguientes: determinar la diferencia entre métodos de muestreo de Tubos pasivos y el de analizador de los gases; la variabilidad temporal de los contaminantes; y las relaciones entre los factores de dispersión (V, T y HR) y los contaminantes SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5}. Utilizo el **método pasivo** que consistió en las mediciones de las concentraciones de NO₂ y SO₂, mediante tubos pasivos expuestos por 20 días, en 8 puntos distribuidos y ubicados estratégicamente en el centro histórico de Lima, los que permitieron analizar su comportamiento espacial, para obtener así información panorámica de las zonas más afectadas y ver su relación con los factores de dispersión (viento, temperatura y humedad relativa); y también se utilizaron equipos analizadores electrónicos para analizar el comportamiento temporal, en el cual estos se colocaron en un punto dado del sector Centro Histórico y se midió durante una semana los siguientes parámetros: SO₂, NO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀, dando una lectura horaria con lo que se pudo analizar el comportamiento horario, diario, y semanal de los gases y material particulado. Sus resultados muestran que las concentraciones de SO₂ y NO₂ obtenidas con los tubos pasivos son menores que los obtenidos con los analizadores, las diferencias son 30% para el SO₂ y 86% para NO₂. Las variaciones temporales horarias de contaminantes SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5} muestran concentraciones máximas bimodales, la primera ocurre entre 7 y 10 horas y la otra entre 19 y 22 horas; las concentraciones de SO₂, NO₂, CO están muy por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad del Aire (ECA) del país.

Barba, L. (2006). Realizó la Tesis titulada: “Calidad del aire en el sistema de transporte de ciclovías: caso Av. Oscar R. Benavides”, Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental (UNFV), teniendo como objetivo “Determinar cuál es el estado de la calidad ambiental del Componente Aire del sistema de transporte de ciclovías, tomando como base la ciclovía de la Avenida Oscar R. Benavides (ex Colonial), con la finalidad de determinar cuál es el impacto que ejerce la carga vehicular y por ende sus emisiones en la salud de los ciclistas”, utilizando la **metodología de cuantificación rápida** de emisiones aplicando los

factores de emisión, calculando las emisiones de Partículas totales en suspensión (PTS), partículas menores a 10 micras (PM₁₀), dióxido de azufre (SO₂), partículas de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), contaminantes orgánicos volátiles (COV) y plomo (Pb), llegando a la conclusión que los mayores generadores de partículas contaminantes procedentes del parque automotor son: los ómnibus (44.13% de SO₂., 43.07% de NO_x y 26.18% de COV). Los automóviles (42.49% de CO, 85.4% de Pb), las camionetas rurales y los camiones, y teniendo como resultados lo siguiente: CO es 12 kg, de NO_x fue 5.30 Kg, de SO₂ fue de 2.36 Kg, COV fue de 2.60 Kg y de PTS fue de 0. 363 kg.

Araujo, B. & Belaunde, F. (2008). Realizaron la Tesis titulada: “**Incidencia de Emisiones vehiculares sobre la calidad del aire y los casos de infecciones respiratorias en Lima Metropolitana y Callao**”, para Optar el Título de Biólogo (UNALM), teniendo como objetivo “Determinar la relación de las emisiones vehiculares del Parque Automotor y la calidad del aire con los casos de infecciones respiratorias en Lima Metropolitana y Callao dentro del período 2001 – 2007”, utilizando como **método de Espectrofotometría de absorción atómica**, llegando a la conclusión que las emisiones vehiculares han aumentado durante el período 2001 – 2007, sin embargo, este crecimiento no ha sido tan significativo como el del Parque Automotor, y que esto se debe principalmente a la incorporación de vehículos con tecnologías más modernas, al cambio de la matriz energética y una mejora en la calidad de los combustibles.

Calisaya, C. (2012). “**Construcción y Validación de dispositivos para el monitoreo pasivo de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y Dióxido de Azufre (SO₂) en la ciudad de Arequipa - Perú**”. Para obtener el grado de magíster en química del Medio Ambiente (UCSM), tuvo como objetivo construir dispositivos de difusión pasiva tipo tubo, para el monitoreo de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en distintas zonas de la ciudad de Arequipa. Para la construcción del dispositivo que sirvió para la determinación de dióxido de nitrógeno, se consideró las dimensiones establecidas por el Laboratorio analítico para el medio ambiente (Männedorf SUIZA, cuya empresa representante en el Perú es Klepel Consulting S.A.C.). Por otro lado, para el caso de los dispositivos para el monitoreo de dióxido de azufre se utilizó como diseño modelo a los empleados por la empresa Deuman S.A.C. Antes de realizar las determinaciones de concentración para ambos contaminantes, se hizo la validación de las metodologías; para las cuales se aplicó espectrofotometría. Se realizó el monitoreo pasivo de

Tesis dióxido de nitrógeno desde Agosto del 2011 a Febrero del 2012, haciendo un total de 6 meses y en 10 zonas de la ciudad de Arequipa; mostrando mayor concentración de dióxido de

UNFV

nitrógeno la zona del Óvalo San Lázaro Cercado. La determinación de dióxido de azufre se hizo por dos meses (Enero y Febrero del 2012) y en tres zonas de la ciudad, siendo la concentración más elevada para la zona de Urb. Terminal Terrestre.

Sotomayor, A. & Marín, G. (2010). Realizaron la Tesis titulada: “**Evaluación e interpretación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en el aire de Lima Metropolitana**”, para optar al título profesional de Químico Farmacéutico (UNMSM), teniendo como objetivo: Establecer una línea base de investigación como instrumento de gestión ambiental en la calidad del aire; a partir de la evaluación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en el aire de Lima Metropolitana. El **método** empleado para la determinación de **dióxido de nitrógeno** fue de **Griess – Saltzman** y para determinar el **dióxido de azufre** se usó el método modificado de **West Gaeke**. Llegando a la conclusión mediante tales resultados, el promedio de las concentraciones de dióxido de nitrógeno fue de 60,294 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual se encuentra dentro del límite establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y por encima del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El promedio de las concentraciones de dióxido de azufre fue de 35,121 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual está dentro del límite establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y por encima del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Rivera, J. (2012). Realizó la Tesis titulada: “**Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos críticos en Lima – Callao**”, para optar el grado académico de magíster en Ingeniería Industrial (UNMSM), teniendo como objetivo “Determinar la calidad del aire de la zona urbana de Lima y el Callao, durante el periodo de 2001 a 2010”, utilizando el **método de Muestreadores pasivos** en el cual se determinan los diferentes factores de contaminación que influyen en la calidad de aire en la zona Metropolitana de Lima y Callao, mediante el análisis estadístico de los principales contaminantes para un periodo de 10 años. Luego se establece los criterios de medición de la calidad del aire y las relaciona con los diferentes factores de la población y termina con una proyección del 2011 al 2021 en condiciones reales, mediante un modelo dinámico, teniendo en cuenta las condiciones de crecimiento de la población, contaminantes, crecimiento, muertes, nacimientos, etc. Este modelo dinámico permite simular situaciones futuras mediante cambios en sus condiciones.

1.1.2 Internacionales

Boffi, L. & Zellner, M. (2003). “Análisis de índices de contaminación del aire en la Ciudad de Buenos Aires- Argentina”, El objetivo de este trabajo es: validar empíricamente un índice potencial de contaminación del aire para la Ciudad de Buenos Aires (Zellner, 1995), el cual supone que el transporte automotor es la principal fuente emisora de contaminantes en la ciudad. Para tal fin, se utilizaron **dos métodos** de evaluación del nivel de contaminación: 1) químico, a través de la medición de la concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) con **muestreadores pasivos** y, 2) biológico, mediante la abundancia de líquenes, como bio-indicadores de la calidad del aire. Los **resultados** obtenidos mostraron, para los valores del índice calculados en los mismos puntos, una correlación positiva significativa con las mediciones de NO₂ y una negativa significativa con la abundancia de líquenes. Los dos métodos utilizados para la validación demostraron que los índices elegidos resultaron ser buenos predictores de la calidad del aire, en un punto de la Ciudad de Buenos Aires.

Zapata, C. (2008). “Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos - Colombia”. El objetivo del estudio fue fortalecer la monitoría de la calidad del aire del Valle de Aburrá mediante los **muestreadores pasivos** de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, compuestos orgánicos volátiles específicamente benceno, tolueno y xilenos (BTX) y la tasa de sedimentación de partículas en las principales vías. Los muestreadores se instalaron en 15 sitios del Área Metropolitana durante un año. En la medición de gases se utilizaron los tubos pasivos de difusión y en la medición de partículas sedimentables se utilizó el principio de gravedad; posteriormente, las muestras se analizaron mediante sólidos totales. Los resultados de los dióxidos de azufre y nitrógeno no sobrepasan la Norma Colombiana Anual, pero en 12 estaciones de monitoreo se superó el valor guía de la OMS para dióxido de nitrógeno.

Hernández, J. & Carabali, J. (2009). realizaron la Tesis titulada: “**Determinación de la incidencia que tiene la medida de la restricción vehicular (pico y placa) en la emisión de material particulado PM₁₀ en el sector de la calle 80 con intersecciones entre la Av. 68 y la Av. Boyacá- Colombia**”. Para obtener el Título de ingenieros ambientales y sanitarios. En el cual proponen como objetivo general: Determinar la incidencia que tiene la medida de restricción de flujo vehicular (pico y placa) en el comportamiento de las concentraciones de material particulado MP₁₀ en el sector de la calle 80 con intersecciones entre la av. 68 y la av.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Boyacá; mediante el método de simulación por computadora con el programa CALINE 4 de

UNFV

CALTRANS (California Department of Transportation), para ello se requirió de parámetros meteorológicos de la estación de calidad de aire de Carrefour, flujo vehicular de la zona, coordenadas de los receptores, geometría de la vía y Factores de emisión. Los resultados que se presentan de concentración de MP₁₀ fueron calculados para transporte liviano y pesado.

Cocha, L. (2009). Realizó la Tesis titulada: “**Análisis de la Concentración de contaminantes SO₂, NO₂ y BTX usando Sensores Pasivos**”, para la obtención del título de Ingeniería en Biotecnología Ambiental, El muestreo de los niveles de concentración de contaminantes en estudio, se realizó mediante técnicas pasivas de monitoreo de calidad del aire. Se diseñó e instaló una red de seis puntos de monitoreo. Se tomaron como referencia la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire y los valores establecidos en las Guías de la OMS para los compuestos de SO₂, NO₂ y los niveles registrados de estos gases no exceden los límites permisibles.

Chachapoya, V., & Priscila, M. (2015). Realizaron la Tesis titulada: “**Valoración de la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad 2013-2014**”, para la obtención del título de: Máster en Gestión Ambiental en la Industria. El objetivo fue Valorar la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad, utilizando la metodología de **monitores pasivos** para determinar la calidad del aire de la ciudad de Ambato (Ecuador). Los resultados se presentaron en tablas y gráficos, para lo cual se monitorearon los siguientes contaminantes: ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y benceno. El dióxido de azufre presenta concentraciones mensuales y media de siete meses dentro de la media anual establecida en la NECA de 60 µg/m³ y de la guía de la OMS de 50 µg/m³, los mayores valores registrados fueron de 24,31 µg/m³ y 8,47 µg/m³ respectivamente.

Berdugo, J. & Ramírez, D. (2016). Realizaron 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**”, para optar el Título de ingeniero civil, teniendo como objetivo evaluar la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en tres sitios ubicados en la ciudad de Cartagena de indias, mediante un analizador de partículas con diámetro menor a 2.5 micrómetro (PM_{2.5}) y un analizador de monóxido de carbono (CO) ambos de carácter automático, asimismo se realizaron ocho aforos vehiculares por mes, registrando autos, buses, vehículos pesados y motos, llegando a la conclusión que la categoría vehicular que tiene mayor ajuste al comportamiento de las

concentraciones en la mayoría de los sitios de monitoreo son las motos, y con respecto al PM_{2.5} en los tres sitios incumple los límites establecidos en la resolución 610 de 2010 superando en la mayoría de los días la concentración de 50 µg/m³, siendo la Carretera de la Cordialidad sector Bomba el Amparo tiene las concentraciones más elevadas de PM_{2.5}, seguido del Corredor de carga sector Ceballos y por último la Avenida Pedro de Heredia sector María Auxiliadora. Las concentraciones de monóxido de carbono en todos los sitios son inferiores al límite de 40000 µg/m³ cada hora establecidos en la norma, siendo el pico de 7000 µg/m³ medido en el corredor de carga –Ceballos, que es el más alto en toda la investigación que realizaron. Por lo que la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en los sitios que escogieron, es alta.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del Problema

La calidad del aire constituye un elemento esencial para la vida, sin embargo se está viendo afectada en muchos lugares del mundo, por el incremento de la contaminación atmosférica causada por las actividades antropogénicas y otras actividades que tienen lugar cotidianamente en el medio ambiente, por lo que se considera como una de las principales preocupaciones de la salud pública, es por ello que resulta de relevancia el monitoreo de contaminantes atmosféricos, ya que brinda información acerca de las concentraciones de estos a los cuales se está expuesto. (Corleto A., 2012)

Las ciudades de Lima, México, Santiago de Chile, Sao Paulo, y Río de Janeiro tienen el aire más contaminado de América Latina, siendo las principales causantes los humos asfixiantes que arrojan los vehículos viejos importados sin restricción (Banco Mundial, 2006)

En América Latina, la ciudad con peores indicadores de calidad de aire es Lima y la que tiene un aire más limpio es Salvador de Bahía (Brasil), que revela que más de la mitad de la población mundial reside en urbes con índices de polución 2.5 veces mayores de los recomendados por el organismo. (OMS, 2014)

En la actualidad la mayor parte de la contaminación del aire en la Ciudad de Lima es producida por las emisiones del Parque Automotor. Al respecto, PROTRANSPORTE, (Municipalidad de Lima, 2005) menciona que aproximadamente el 86 % de los contaminantes atmosféricos son aportados por las emisiones vehiculares (Defensoría del Pueblo, 2006).

El deterioro de la calidad del aire, se debe a las emisiones provenientes de las fuentes móviles como el transporte; y de las actividades industriales, mineras y pesqueras. Entre las principales causas de la contaminación del aire, se pueden señalar la presencia de combustibles fósiles en la matriz energética del país y la limitada implementación de tecnologías limpias en las actividades productivas, debido a variables de orden tecnológico y económico que impiden disminuir las emisiones y mejorar la calidad del aire. **(Agenda Ambiente Perú 2013-2014)**

Los principales contaminantes producidos por las emisiones vehiculares son: Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y material particulado (MP) **(Defensoría del Pueblo, 2006)**.

La principal fuente de contaminación del aire en la ciudad de Lima está constituida por la gran cantidad de unidades de transporte público que circulan sin ningún control serio, por los camiones y por las unidades a motor Diésel los mismos que emiten gran cantidad de óxido de nitrógeno y material particulado. **(Rivera, 2012)**

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica 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 permisibles establecidos.

Por la sola exposición al material particulado, en Lima mueren más de 6 000 personas/año y los gastos de salud por dicha exposición, representan un aproximado de US\$ 300 millones de dólares. Se estima que la contaminación urbana del aire acarrea costos de 0,9 % del PBI, los cuales inciden en mayor medida en las zonas de mayor pobreza (entre 75-300% adicionales). **(Banco Mundial, 2006)**.

Por tal motivo, en el presente trabajo de investigación se conocerá la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ mediante los métodos de conteo observacional y de difusión pasiva en plazas históricas del Cercado de Lima, con la finalidad de proponer medidas de prevención para reducir los contaminantes emitidos por el flujo vehicular, ya que es fundamental para la salud de la población que labora y transita a diario.

1.2.2 Formulación del Problema

1.2.2.1 Problema Principal

- ♦ ¿Cuál es la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ en las plazas históricas del Cercado de Lima?

1.2.2.2 Problemas Secundarios

- ♦ ¿De qué manera se cuantificará el flujo vehicular que circulan en las Plazas: Bolognesi, Dos de Mayo, San Martín y el Parque Universitario?
- ♦ ¿Qué metodología se aplicará para determinar la concentración de NO₂ y SO₂?
- ♦ ¿Cuál es la relación entre el flujo vehicular y la concentración de NO₂ y SO₂ en cada plaza histórica?
- ♦ ¿Qué propuestas se pueden realizar para reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por NO₂ y SO₂?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

- ♦ Conocer la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ mediante el conteo observacional y el método de difusión pasiva en plazas históricas del Cercado de Lima, con la finalidad de proponer estrategias para reducir el flujo vehicular.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ♦ Cuantificar el número de vehículos que circulan en las Plazas: Bolognesi, Dos de Mayo, San Martín y el Parque Universitario, mediante el conteo observacional en puntos estratégicos, con el fin de determinar el flujo vehicular.
- ♦ Determinar la concentración de NO₂ y SO₂ en cada plaza, mediante el muestreo por difusión pasiva, con el fin de establecer si se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental.
- ♦ Analizar la relación entre el flujo vehicular y la concentración de NO₂ y SO₂ en las plazas históricas, con la finalidad de identificar si existe un grado de asociación.

- ♦ Proponer estrategias para reducir el flujo vehicular y mejorar la calidad del aire por SO₂ y NO₂.

1.4 HIPÓTESIS

A mayor flujo vehicular en las plazas históricas, se presentará una mayor concentración de SO₂ y NO₂ en la calidad del aire.

1.5 VARIABLES

En el siguiente cuadro, se presentan las variables dependiente e independiente, así como sus indicadores. Ver cuadro N°1.

Cuadro N° 1 Variables e Indicadores

Variable Dependiente		Indicadores
Calidad del Aire (Parámetros)	NO ₂	ug/m ³
	SO ₂	ug/m ³

Variable Independiente	Indicador
Flujo Vehicular	Vehículos/hora

Fuente: Elaboración propia.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La contaminación atmosférica tiene un efecto directo sobre la salud pública y el ambiente. La exposición de las personas a contaminantes del aire, dependiendo de factores tales como concentración, tiempo de exposición, edad entre otros, puede provocar o agravar enfermedades respiratorias, cardiacas u otras, especialmente a la población más vulnerable como son los niños, ancianos, mujeres embarazadas y personas con enfermedades pre-existentes. (Korc, 2000)

La presente investigación tuvo como prioridad, evaluar la contaminación ocasionada por el flujo vehicular, considerando que el 86% de la contaminación del aire es ocasionada por el parque automotor.

Tesis publicada con autorización del autor.
No olvide citar esta tesis

UNFV

Con la presente investigación se pretende conocer la incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire en las plazas históricas del Cercado de Lima, asimismo determinar si la concentración de los parámetros SO₂ y NO₂ se encuentran dentro de los estándares de calidad ambiental, ya que estas producen consecuencias adversas al hombre y al medio ambiente.

En Lima Metropolitana carecen de monitoreos permanentes de la calidad del aire por los altos costos que estos demandan, es por ello que se eligió los muestreadores de difusión pasiva para analizar la concentración de dichos parámetros, por las siguientes ventajas, tales como: bajo costo, operación de muestreo sencillo y fácil transporte. Además, pueden utilizarse para evaluar simultáneamente una gran cantidad de puntos distintos dentro de un área sin necesidad de energía eléctrica ni mantenimiento.

Se realiza esta investigación con el propósito de proponer medidas para reducir el flujo vehicular en las plazas históricas, ya que estas generan a diario congestión vehicular emanando gases contaminantes que deterioran la calidad del aire.

1.7 IMPORTANCIA

El presente trabajo de investigación va dirigido a las autoridades de la ciudad de Lima y especialmente al distrito Cercado de Lima, debido que son las autoridades competentes para proponer y plantear proyectos de control de la calidad del aire ante problemas de contaminación atmosférica. Así mismo la siguiente investigación nos permitirá evaluar el estado de la calidad del aire por NO₂ y SO₂ en las plazas del Cercado de Lima con mayor flujo vehicular, por el período de un mes mediante el método de difusión pasiva.

Es importante conocer el estado de la calidad del aire con relación a la emisión de gases como son el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre producidos por la demanda de flujo vehicular, ya que afecta a la salud de las personas expuestas en las avenidas, que laboran y transitan a diario, entre ellos tenemos: profesionales, turistas, comerciantes, ambulantes, prestadores de servicio, trabajadores casuales de la construcción (carpinteros, albañiles, plomeros, electricistas, etc.), controladores de vehículos públicos, limosneros, entre otros, que se sienten hacinados ante la cantidad de vehículos que circulan alrededor de las plazas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 BASE TEÓRICA

2.1.1 El motor de Combustión Interna, la Contaminación del Aire y su relación

El motor de combustión interna tiene como misión transformar la energía química contenida en el combustible en energía mecánica de movimiento.

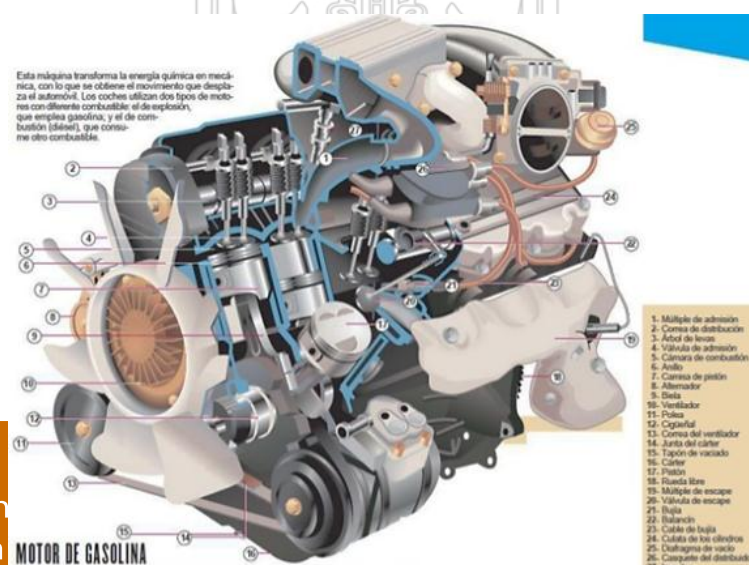
Los motores de los vehículos funcionan con diferentes tipos de combustibles: gasolina, diésel, gas licuado de petróleo, gas natural, etc.

La contaminación causada por los gases de escape de los automotores se ha convertido en un serio problema para todos los países, siendo tan grave, que constituye una grave amenaza para la salud pública y la del planeta. La relación de vehículos motorizados versus la contaminación ambiental se traduce en buscar opciones para reducir esta última.

2.1.1.1 Motor de combustión interna

Un motor de combustión interna es básicamente una máquina que mezcla oxígeno con combustible gasificado (este combustible es suministrado desde la bomba de inyección y es previamente filtrado desde su ingreso al tanque de combustible pasando por un sistema de filtros los cuales evitan posibles impurezas). Una vez mezclados íntimamente y confinados en un espacio denominado cámara de combustión, los gases son encendidos para quemarse (combustión). Ver Figura N° 1.

Figura N° 1 Motor de combustión interna



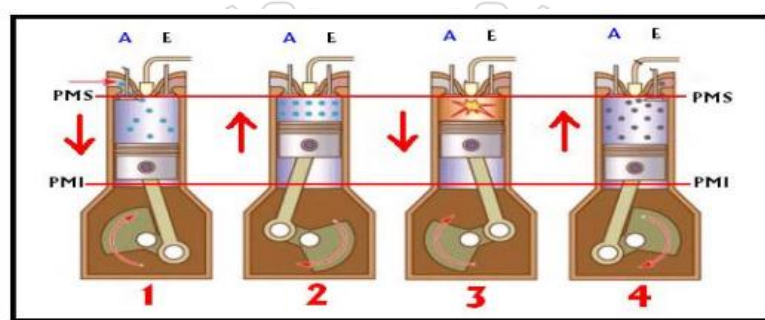
Tesis publicada con
No olvide citar esta

NFV

A. Proceso de combustión.

El motor de combustión interna es el proceso termoquímico que ocurre entre dos elementos, el aire que se encuentra en el ambiente (oxígeno 21% y 79% nitrógeno) y el combustible (aceite combustible para motor). Este proceso no ocurre por si solo para lograr la combustión, el motor sigue la siguiente secuencia en cuatro tiempos o carreras del pistón. Ver Figura N° 2.

Figura N° 2 Fases de motor (4 tiempos).



Fuente: STT de Bogotá, 2006

A : válvula de admisión.

E : válvula de escape.

PMS : punto muerto superior.

PMI : punto muerto inferior.

1, 2, 3, 4 : tiempos del motor.

a) Fase de admisión (1).

Proceso en el cual el pistón pasa del PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior), válvula de admisión abierta (proceso de succión de aire), válvula de escape cerrada (evita salida de aire dentro de la cámara). La cámara de combustión se encuentra llena de aire tomado del ambiente más combustible dosificado

b) Fase de compresión (2).

Proceso en el cual el pistón pasa del PMI (punto muerto inferior) al PMS (punto muerto superior), existe un aumento de temperatura al interior de la cámara debido a que el aire más combustible que se encuentra en el interior, se comprime. Válvula de admisión y de escape cerradas.

c) Fase de expansión (3).

Proceso en el cual el pistón pasa del PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior), este paso lo logra debido a la contrapresión generada por la ignición instantánea de los componentes de la mezcla, gracias al aumento de temperatura generado por la presión para lograr la carrera de fuerza en el motor. Las válvulas de admisión y escape se mantienen cerradas.

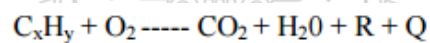
d) Fase de expulsión (4).

Proceso en el cual el pistón pasa del PMI (punto muerto inferior) al PMS (punto muerto superior), se abre la válvula de escape y salen todos los gases contaminantes producto de la combustión de la mezcla, generados por la explosión al interior de la cámara. La válvula de admisión permanece cerrada.

Para que se produzca la reacción de una manera efectiva el combustible debe someterse a una pulverización (proceso generado por los inyectores), la cual permite como fue nombrado anteriormente la ignición de la mezcla, una vez el aire al interior de las cámaras alcanza como mínimo 51°C de temperatura.

El combustible pulverizado reacciona en milisegundos, culminando el proceso de combustión. Debido a que el proceso no es eficaz 100%, parte de los reactivos no se transforman en CO₂ y H₂O, sino que se forman sustancias contaminantes que van al exterior en forma de emisiones.

Reacción estequiometría de la combustión:



C_xH_y: Combustible.

O₂: Oxígeno.

CO₂: Dióxido de carbono.

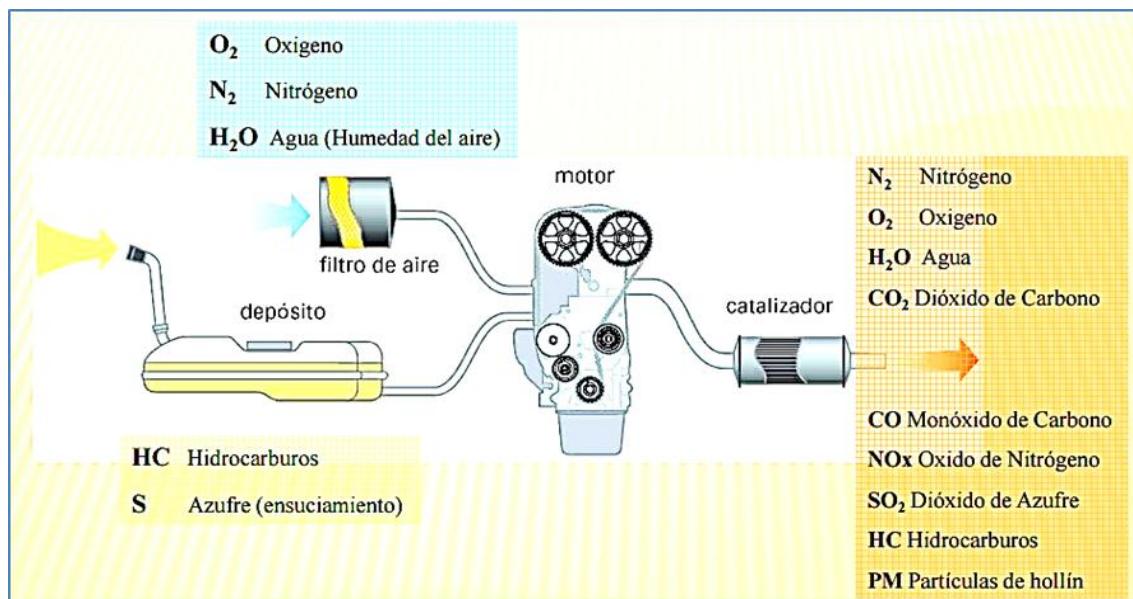
H₂O: Agua.

R: Demás sustancias contaminantes

Q: Calor expulsado en el proceso.

Si cualquiera de las entradas varía en su proporción, es decir que la cantidad de oxígeno o combustible no cumple con la relación de compresión, las emisiones expulsadas varían significativamente, por ejemplo una mayor cantidad de combustible sobre una porción pequeña de aire nos da un comportamiento del motor alto en emisiones, debido a que no hay suficiente quema de los componentes, los cuales al ser expulsados generan humos muy densos de contaminación alta. Ver Figura N° 3.

Figura N° 3 Componentes de Entrada y Salida de la Combustión



Fuente: Gallegos, 2010.

En un motor de combustión interna, el aire y el combustible entran al motor donde se produce la combustión y de ahí se generan gases, los cuales son llevados a través del exhosto y algunas veces a través de un mecanismo de control como un catalizador. La combustión es una reacción química y como tal, es evaluada a través de parámetros de consumo de reactivos y cálculos estequiométricos los cuales no son otra cosa que la estimación de las cantidades de toda las sustancias que participan en cualquier proceso o reacción química.

2.1.1.2 Flujo vehicular

Es la principal fuente de emisión en los sistemas urbanos, en este estudio, debido que solo se puede inferir en esta fuente, es la única que se ha tenido en específica consideración, los contaminantes derivados de otras fuentes quedan incluidos dentro de la contaminación de fondo de la ciudad. Las emisiones provenientes del flujo vehicular dependen de multitud de factores complicando así su estimación. Se puede considerar que no hay dos vehículos que emitan la misma cantidad de gases contaminantes. Los factores de los que dependen estas

emisiones son: (1) factores propios del vehículo como la tipología de vehículo, la antigüedad de éste, el peso, el combustible que usa o la velocidad a la que circula, (2) factores externos como la del tramo, el tipo de pavimento de la vía por donde circula o la temperatura ambiente y (3) factores personales tales como la forma de conducir o la longitud de los recorridos. Todos estos factores hacen casi imposible un cálculo determinado de las emisiones producidas por el tráfico de vehículos y se ha optado por una estimación a partir del máximo número de factores posibles. (Gasteiz, 2007)

2.1.1.2.1 Fuentes móviles contaminantes

Las fuentes móviles se definen como aquellas que tienen la capacidad de auto desplazamiento, emitiendo contaminantes en su trayectoria. Estas pueden ser automóviles, autobuses, camiones, trenes, aviones, barcos, entre otros.

Los motores de combustión interna usados en vehículos, tanto de gasolina como de diésel, emiten gases como monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas en suspensión, emitidos al exterior por parte del sistema de escape, afectando de esta manera la salud de las personas y el ambiente que los rodea. Ver Figura N° 4.

Figura N° 4 Contaminación del aire por vehículos



Fuente: Padilla, 2010.

Los gases de escape producidos por los vehículos, pueden clasificarse como lo indica la Universidad Nacional Abierta y a Distancia de Colombia (2012), en donde se diferencian según el tipo de emisión como se señala a continuación.

a. Emisiones húmedas calientes

Son emisiones originadas a causa de la volatilización del combustible en el sistema de dosificación del mismo, al apagarse el motor. Dicho efecto se produce debido al calor residual en el motor.

b. Emisiones en circulación

Estas son provocadas por las emisiones de fugas de combustible en fase líquida o de vapor. Se producen cuando el motor se encuentra en operación.

c. Emisiones diurnas

Son aquellas que provienen del tanque de combustible del vehículo, provocadas por las altas temperaturas y al aumento de la presión de vapor del combustible. Esto es producido por el incremento en las temperaturas ambientales.

d. Emisiones en la recarga del combustible

Estas emisiones son desplazadas del depósito de combustible durante la recarga del mismo. Se presentan cuando el vehículo está en reposo.

e. Emisiones en reposo

Estas son diferentes de las emisiones húmedas calientes, diurnas y de recarga de combustible, ocurren por fugas o debido a la permeabilidad de los conductos de combustible.

2.1.1.3 Combustible

Por medio de la destilación fraccionada del petróleo se pueden obtener diferentes tipos de combustibles de características muy diferentes entre sí, esto se debe a que los componentes al ser sometidos al proceso de destilación, poseen puntos de ebullición a diferentes temperaturas.

La gasolina también llamadas naftas, es el principal producto de la refinación del petróleo, corresponden a una mezcla de hidrocarburos utilizados como combustible en motores de combustión interna, obteniéndose este combustible entre los 40 y los 200°C.

La calidad de una gasolina o bencina utilizada en un motor de combustión (auto, avión) indica las cualidades antidetonantes de este combustible, La gasolina comercial es una mezcla de hidrocarburos, y cuando se combina con aire y se comprime fuertemente tiene la tendencia a inflamarse en forma más bien explosiva. El agregado de pequeñas cantidades de algunos compuestos a la gasolina permite reducir notablemente las propiedades detonantes del combustible y, por lo tanto, la utilización de mayor compresión en los cilindros, lo que se traduce en mayor potencia para el automóvil.

Ciertas sustancias químicas que se encuentran en los combustibles pueden evaporarse fácilmente, en tanto otras pueden disolverse más fácilmente en agua.

Las características más importantes de la Gasolina se reportan en la siguiente tabla N° 1.

Tabla N° 1 Propiedades Físicas de la Gasolina

Propiedades	Unidades	Valor específico
Densidad	Kg/m ³	700-800
Densidad de vapor	Kg/m ³	3.879 - 5.172
Punto ebullición	°C	1.06-1.72
Coefficiente de reparto octanol/agua	Adimensional	2 - 7
Punto inflamación	°C	1.07
Solubilidad	Sin unidad	0.0
Temperatura de auto ignición	°C	1.90
Límite de explosividad	% v/v en aire	1.3 – 7.1
Azufre total	% masa	0.1
Numero de octano	Sin unidad	97

Fuente: Ecopetrol, 2011.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

2.1.1.3.1 Función del Combustible

El combustible en un motor produce energía química (cámaras de combustión) la cual es transformada en energía mecánica (cigüeñal, eje de levas, pistones). En un motor diésel cuando se atomiza y se mezcla este contenido con aire a alta presión al interior de las cámaras de combustión. Se inflama y la energía se desprende para empujar los pistones hacia abajo y hacer girar el cigüeñal. Un combustible ideal se quemaría por completo, arrojando como disposición final cero contaminantes debido a que toda esta energía desarrollada en el transcurso del proceso se aprovecharía al máximo, sin dejar residuos ni humo.

2.1.1.3.2 Características de los combustibles utilizados en el parque vehicular

En el mercado peruano existen los siguientes tipos de combustibles:

- ♦ Gasolina de 84 octanos sin plomo
- ♦ Gasolina de 90 octanos sin plomo
- ♦ Gasolina de 95 octanos sin plomo
- ♦ Gasolina de 97 octanos sin plomo
- ♦ Petróleo diésel
- ♦ Gas licuado de petróleo
- ♦ Gas natural vehicular

2.1.1.4 Emisiones contaminantes del parque vehicular

Los motores de combustión interna son los más usados en vehículos automotores. “Para generar potencia en los motores de combustión interna se transforma la energía química del combustible en energía calórica por medio de la combustión, luego el calor generado es transformado en energía mecánica gracias a la expansión de la mezcla dentro del cilindro” (Bosch, 2005)

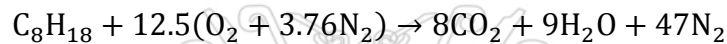
2.1.1.4.1 Motor a gasolina

El proceso de combustión en los motores Otto se da al obtener una mezcla gaseosa de aire con gasolina, posteriormente se enciende esta mezcla por medio de una chispa. “la combustión perfecta expulsa al ambiente dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) los cuales no son tóxicos, esta combustión se produce al tener una mezcla estequiométrica, es decir se

RELACIÓN AIRE – COMBUSTIBLE 14.7:1

<p>Aire</p> <p>Nitrógeno: 79</p> <p>Oxígeno: $\frac{21}{3.76}$</p>
--

Gas + Aire → Dioxido de Carbono + Agua

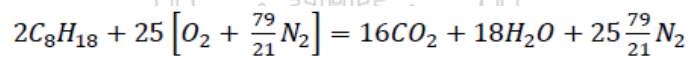


$$\frac{12.5(16.2) + 12.5(3.76)(14)(2)}{8(12) + 1(18)} = \frac{1716}{114} = \frac{15}{1}$$

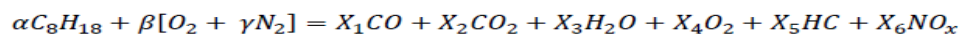
El motor durante su funcionamiento experimenta diferentes estados, no siempre se consigue la mezcla estequiométrica, es decir que no se da una combustión completa, por lo que se liberan otros gases como monóxidos de carbonos (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estos, a diferencia de los anteriores, si son tóxicos; y, dependiendo de qué tan incompleta sea la combustión, mayor será la cantidad de gases tóxicos expulsados al ambiente.

Siguiendo el libro del ingeniero Gordon Blair (1999), el proceso de combustión, tanto teórico como real de un motor de gasolina, se puede representar con las siguientes ecuaciones:

- ♦ **Proceso de combustión teórico**



- ♦ **Proceso de combustión real**

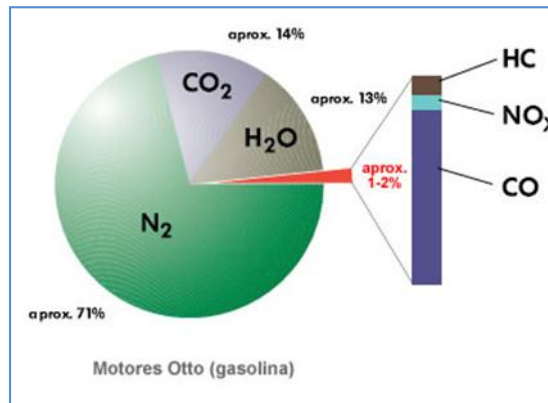


Como se puede diferenciar del proceso de combustión teórico, en el proceso real intervienen diferentes porcentajes tanto de combustibles como comburente, dependiendo de la altura en la que se desempeñe el motor

- **Composición de los gases de escape en un motor a gasolina.**

En la Figura N° 5, se muestra la composición aproximada de los gases que despiden los motores de gasolina.

Figura N° 5 Porcentaje aproximado de los gases de escape de un motor a gasolina



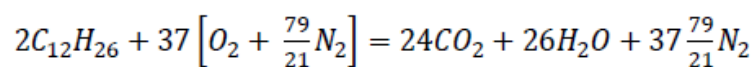
Fuente: Dídac Forner, 2015.

2.1.1.4.2 Motor diésel

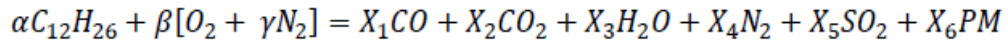
La combustión perfecta libera, al igual que en el motor a gasolina, gases no contaminantes como el CO₂ y N₂. En este caso debido al funcionamiento del motor no se da siempre una combustión completa y se expulsan, además de los gases liberados en los motores a gasolina explicados anteriormente, dióxidos de azufre (SO₂) y partículas sólidas, los cuales también son tóxicos. “El proceso de combustión en un motor de encendido por compresión se produce al mezclar el aire con el diésel, a diferencia del motor de gasolina en este caso no se produce el encendido por chispa sino por la alta presión y temperatura dentro del cilindro debido a la compresión de la mezcla” (Payri & Desantes, 2011).

Al igual que para un motor a gasolina, el ingeniero Gordon Blair (1999), establece las ecuaciones para el proceso de combustión en motores diésel teórico y real respectivamente.

♦ **Proceso de combustión teórico**



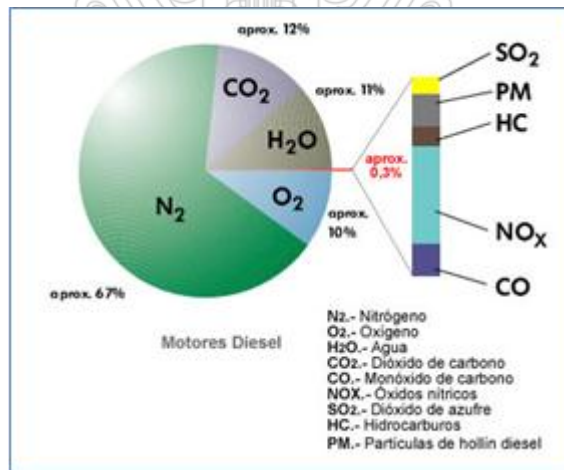
♦ **Proceso de combustión real**



- **Composición de los gases de escape en un motor diésel.**

Los gases de escape de los motores diésel, aparte de las sustancias nocivas que ya se conocen del motor Otto (a saber, CO, HC y NO_x), contienen adicionalmente emisiones sólidas (hollín). Ver Figura N° 6.

Figura N° 6 Porcentaje aproximado de los gases de escape de un motor diésel



Fuente: Dídac Forner, 2015.

Si se comparan las emisiones de escape del motor Otto con las del motor diésel convencional, se comprueba que el motor diésel sin depuración de gases de escape alcanza valores más bajos de CO y HC, mientras que las concentraciones de NO_x son similares en los dos tipos de motores. (En los motores de gasolina, con la acumulación de kilómetros aumentan los NO_x y en los diésel disminuyen).

Si se analizan las emisiones de partículas, las concentraciones más altas corresponden al motor diésel. Las partículas sólidas, denominadas comúnmente hollín, constan de un núcleo de carbono puro, al que se hallan adheridos los siguientes componentes:

- ♦ Hidrocarburos (HC).
- ♦ Agua (H₂O).
- ♦ Sulfato (SO₄).
- ♦ Azufre y óxidos metálicos varios.

2.1.1.5 Gases emitidos

Los gases que son el resultado del proceso de combustión, se clasifican en dos categorías: contaminantes y no contaminantes. El primero, ocasionando problemas en la salud y efectos dañinos en el medio ambiente.

2.1.1.5.1 Gases no contaminantes

- ♦ **Dióxido de carbono (CO₂)**

Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (p. ej. gasolina, gasoil). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro, no combustible.

Es un componente natural que se encuentra en la atmósfera en niveles aproximadamente 0.035%. Las exposiciones a corto plazo de CO₂, es decir a niveles por debajo del 2%, no produce efectos nocivos. El dióxido de carbono CO₂ a pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta).

- ♦ **Nitrógeno (N₂)**

Es un gas incoloro e inodoro no combustible; es un componente esencial del aire que respiramos, ya que representa el 78% del mismo y alimenta el proceso de combustión junto al aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno que ingresa al motor, es expulsado puro en los gases de escape, sin embargo una mínima parte se combina con el oxígeno formando óxidos nítricos (NO_x).

- ♦ **Oxígeno (O₂)**

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Representa el 21% del aire que respiramos. Es imprescindible para el proceso de combustión, al darse una mezcla ideal el consumo de oxígeno debería ser total, sin embargo, cuando se da una combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape.

- ♦ **Agua (H₂O)**

Es aspirada por el motor debido a la humedad del aire o puede ser producida por la combustión fría, es decir la combustión en fase de calentamiento del motor. Es un subproducto de la combustión y es expulsado por el sistema de escape del vehículo. Por lo tanto es un componente inofensivo de los gases de escape.

2.1.1.5.2 Gases contaminantes

- ♦ **Dióxido de azufre (SO₂)**

Se produce durante la quema de combustibles y el procesamiento de los minerales. Es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo.

La principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmosfera es la combustión de productos derivados del petróleo y del carbón, sin embargo algunas fuentes naturales de igual forma contribuyen a su formación, como el metabolismo anaerobio y los volcanes.

- ♦ **Óxidos de nitrógeno (NO_x)**

Tienen un aspecto amarillento, se forma durante la combustión en los vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Es un gas toxico, irritante y precursor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos en el ambiente.

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) se producen de dos maneras: primero, por las altas temperaturas a las que se llega en las combustiones que provocan la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno del aire para dar óxido nítrico, y este luego se oxida parcialmente a NO₂. Por lo tanto los motores de combustión interna emiten óxidos de nitrógeno con proporciones variables de NO y NO₂.

- ♦ **Monóxido de carbono (CO)**

Se produce producto de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente toxico. Es uno de los principales contaminantes expulsados por los motores de combustión interna.

♦ **Hidrocarburos (HC)**

Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla.

Los combustibles no quemados, o quemados parcialmente, emitidos por el tubo de escape de un automóvil, son denominados hidrocarburos, están formados por la unión de hidrogeno y carbono.

♦ **Material particulado**

Está compuesto por partículas sólidas y líquidas minúsculas que se originan en la quema incompleta del combustible. Los motores diésel producen más partículas que los motores a gasolina. Ver Tabla N° 2.

Tabla N° 2 Perfil de emisiones por tipo de combustible – Kg./Km de operación

EMISIÓN	UN	CARRO GAS NATURAL	CARRO GASOLINA 84	CARRO GASOLINA 90	CARRO GASOLINA 97	CARRO DIESEL EURO3
Dióxido de azufre	kg	9.412E-07	6.034E-06	6.034E-06	6.034E-06	5.547E-06
Óxidos de nitrógeno	kg	2.064E-05	0.0000513	0.0000513	0.0000513	0.000518
Partículas, < 2.5µm	kg	7.367E-06	8.48E-06	8.48E-06	8.48E-06	0.0000371
Monóxido de carbono, fósil	kg	0.0004465	0.000984	0.000984	0.000984	0.0006104

Fuente: ECOINVENT, 2008.

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.1 Concepto de Aire

Actualmente, la Real Academia de la Lengua Española (**RAE, s.a.**) define aire como “**Fluido que forma la atmósfera de la Tierra**”. Es una mezcla gaseosa, que, descontado el vapor de agua que contiene en diversas proporciones, se compone aproximadamente de 21 partes de oxígeno, 78 de nitrógeno y una de argón y otros gases semejantes a este, al que se añaden algunas centésimas de dióxido de carbono”.

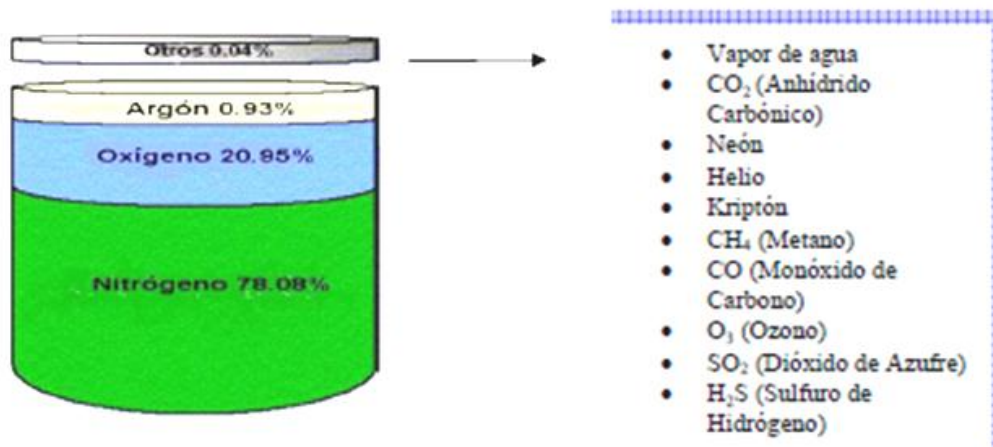
La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al aire puro como “la mezcla de gases, vapor de agua y partículas sólidas y líquidas cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0,5 milímetros,” los cuales en su conjunto envuelven al globo terrestre. (**OMS, 2004**).

El concepto de aire “limpio o puro” descrito sirve de base para medir la calidad del aire en otras circunstancias. Es decir, cualquier medición de calidad del aire será producto de la comparación de la concentración de alguno de sus componentes con la concentración de ese mismo componente en el aire limpio.

2.2.1.1 Composición del Aire

Los principales gases que conforman el aire son el Nitrógeno y el Oxígeno (con un porcentaje de 78.08% y 20.95% respectivamente), destacando el Argón entre los menos comunes, con 0.93%. Todos los componentes del aire deben encontrarse en equilibrio en la atmósfera de acuerdo a los porcentajes señalados. Si se agregara alguna sustancia en cantidades mayores a las que normalmente posee, el aire se contaminaría. De la misma manera sucederá para el resto de gases (0.04%). Estos contaminantes incluyen: Ozono Troposférico (O₃), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO), óxidos de material particulado (PM), entre otras. (**Swisscontact, 2004:7**). Ver Figura N° 7.

Figura N° 7 Composición del aire



Fuente: Manual de gestión de la calidad del aire. Swisscontact. 2004.

2.2.1.2 Contaminación Atmosférica

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS): “Existe contaminación del aire cuando en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar o el uso de los bienes”

Kenneth Wark y Cecil Warner definen a la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

Es la alteración de la composición del aire por la introducción de sustancias ajenas al medio o por la presencia de sustancias gaseosas y/o partículas sólidas o líquidas en suspensión, en proporciones distintas a las naturales, lo cual puede provocar afectaciones a las personas, demás seres vivos, ambiente y bienes materiales. En la contaminación del aire intervienen el emisor (tipo de fuente, tasa de emisión, tipo de contaminante, legislación, prevención y control), la atmosfera (dispersión, remoción, transformación, meteorología) y el receptor (consecuencias e impactos). (Oviedo, 2013)

Los contaminantes gaseosos del aire son gases o vapores, la diferencia entre estos dos radica en que a temperatura ambiente, un gas se encuentra en forma gaseosa, mientras que un vapor se encuentra en forma sólida o líquida. Al encontrarse los contaminantes gaseosos diluidos en

el aire, la probabilidad de que sus moléculas sean capturadas en la superficie de las vías respiratorias, superficies ambientales o equipos monitores de contaminación, es la misma para todas las moléculas. Mientras tanto, en lo que respecta a las partículas dispersas, conocidas también como aerosoles, se debe considerar adicionalmente el tamaño y forma de las mismas ya que ello influye en la sedimentación, dispersión, coagulación y propiedades ópticas de éstas. (Moreno Grau, 2003)

2.2.1.2.1 Clasificación de contaminantes atmosféricos

Existe una gran cantidad de sustancias consideradas como contaminantes atmosféricos, mismas que han sido clasificadas de acuerdo a varios criterios, algunos de los cuales se muestran en la cuadro N° 2.

Cuadro N° 2 Clasificación de los contaminantes atmosféricos

Criterio	Contaminantes	Descripción
Por su origen	Primarios	Se emiten desde un foco identificable.
	Secundarios	Se forman en la atmósfera por reacciones químicas de los contaminantes primarios o precursores.
Estado físico	Gaseosos	Se encuentra como gases o vapores diluidos en el aire.
	Particulados: sólidos o líquidos	Son sólidos o líquidos suspendidos en el aire.
Escala espacial de sus efectos	Locales	Influyen sobre un área específica de hasta 4 km.
	Urbanos	Efectos sobre una ciudad.
	Regionales	Aquellos que causan impactos sobre un área rural de geografía relativamente homogénea, puede extenderse de decenas hasta cientos de kilómetros.
	Globales	Tienen efectos sobre una nación o el mundo como un todo.

Fuente: Villacís, 2015.

La clasificación general de los contaminantes atmosféricos es la siguiente:

- a. Material particulado o partículas
- b. Compuestos que contienen azufre
- c. Compuestos orgánicos
- d. Compuestos que contienen nitrógeno
- e. Monóxido de carbono

- f. Compuestos halogenados
- g. Compuestos radioactivos

Por otro lado, la materia particulada se divide en las siguientes categorías:

- **Polvo fino:** Su diámetro es menor de 100 µm.
- **Polvo grueso:** Su diámetro es mayor de 100 µm
- **Vapores:** Su diámetro está en el rango 0.001-1 µm; son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química (en ocasiones también se le conoce como “humo”).
- **Neblinas:** Su diámetro está en el rango 0.1-10 µm.

Asimismo, los compuestos azufrados, orgánicos, nitrogenados, halogenados, radiactivos y el monóxido de carbono se agrupan en las siguientes categorías:

- **Contaminantes primarios.-** Proceden directamente de la fuente de emisión.
- **Contaminantes secundarios.-** Se originan a causa de la interacción química entre los contaminantes primarios y los componentes de la atmósfera.

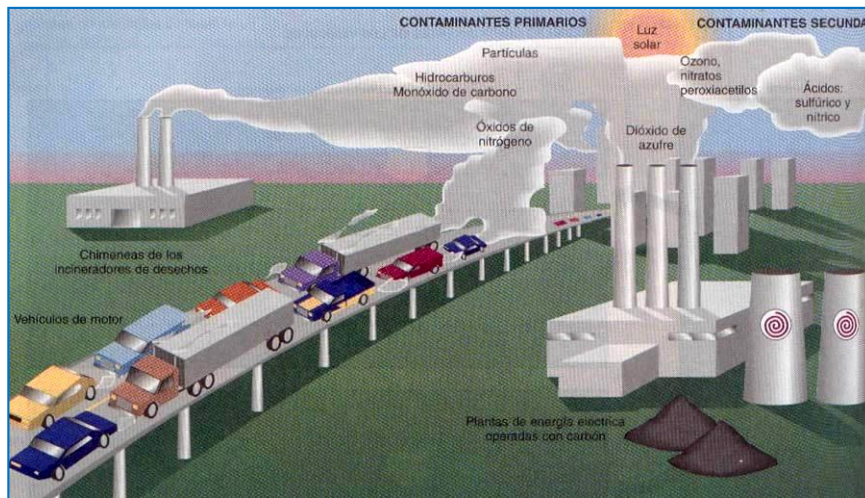
A continuación se muestra en el Cuadro N° 3 y Figura N° 8, la clasificación de los principales contaminantes primarios y secundarios.

Cuadro N° 3 Clasificación de los contaminantes primarios y secundarios

Tipo	Contaminante primario	Contaminante secundario
Compuestos de S	SO ₂ , H ₂ S	SO ₃ , H ₂ SO ₄ , MnSO ₄ *
Compuestos de N	NO, NH ₃	NO ₂ , MnNO ₃ *
Compuestos orgánicos de C	Compuestos C ₁ -C ₇	Aldehídos, cetonas, ácidos
Óxidos de C	CO, CO ₂	Ninguno
Compuestos de halógenos	HF, HCl	Ninguno

* MnSO₄ y MnNO₃ indican la fórmula general de los sulfatos y de los nitratos respectivamente

Figura N° 8 Contaminantes primarios y secundarios en el ambiente



Fuente: Clasificación de contaminantes atmosféricos, 2006

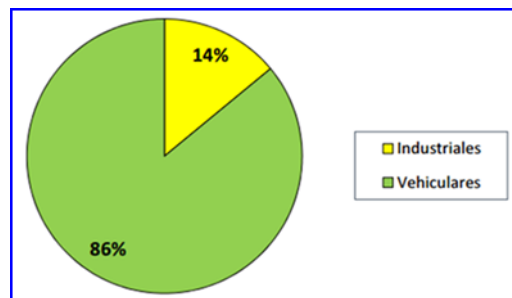
2.2.1.2.2 Fuentes de contaminación atmosférica

En el año 2001, el entonces Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), actualmente MINAM, realizó el inventario de emisiones atmosféricas totales y estimó que los aportes sectoriales de transporte e industria significaron el 86% y 14% del inventario respectivamente, lo que permite identificar al sector transporte como la principal fuente de emisiones atmosféricas en la zona Metropolitana de Lima y Callao (CONAM, 2001)

El problema de la contaminación atmosférica no tiene que ver únicamente con la cantidad de contaminantes emitidos tanto por fuentes de origen natural como antropogénico, sino principalmente porque estas emisiones, especialmente las de origen antropogénico, se concentran en las ciudades donde hay actividad industrial y gran flujo vehicular, que a la vez son donde se localiza la mayoría de la humanidad. Al ser el aire un elemento indispensable para la vida, es importante procurar una buena calidad del mismo, pues su baja calidad repercute especialmente sobre las personas, produciendo enfermedades y muerte. Por tanto es de suma importancia actuar consecuentemente para mantener una buena calidad del aire. (Hernández Berasaluce, s.f.)

Las **fuentes fijas** es donde se agrupan todos los puntos de emisión establecidos en un lugar (como las plantas industriales) y las **fuentes móviles**, que agrupan principalmente a la contaminación producida por el sector transporte. Ver Figura N° 9.

Figura N° 9 Comparación de las emisiones vehiculares e industriales



Fuente: CONAM, 2001

2.2.1.2.2.1 Fuentes de área

Las fuentes de área son una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire en una región. Por ejemplo: el uso de madera para cocinar o calentar la casa, las imprentas, las estaciones de servicio y las tintorerías, entre otros. (SENAMHI, 2011)

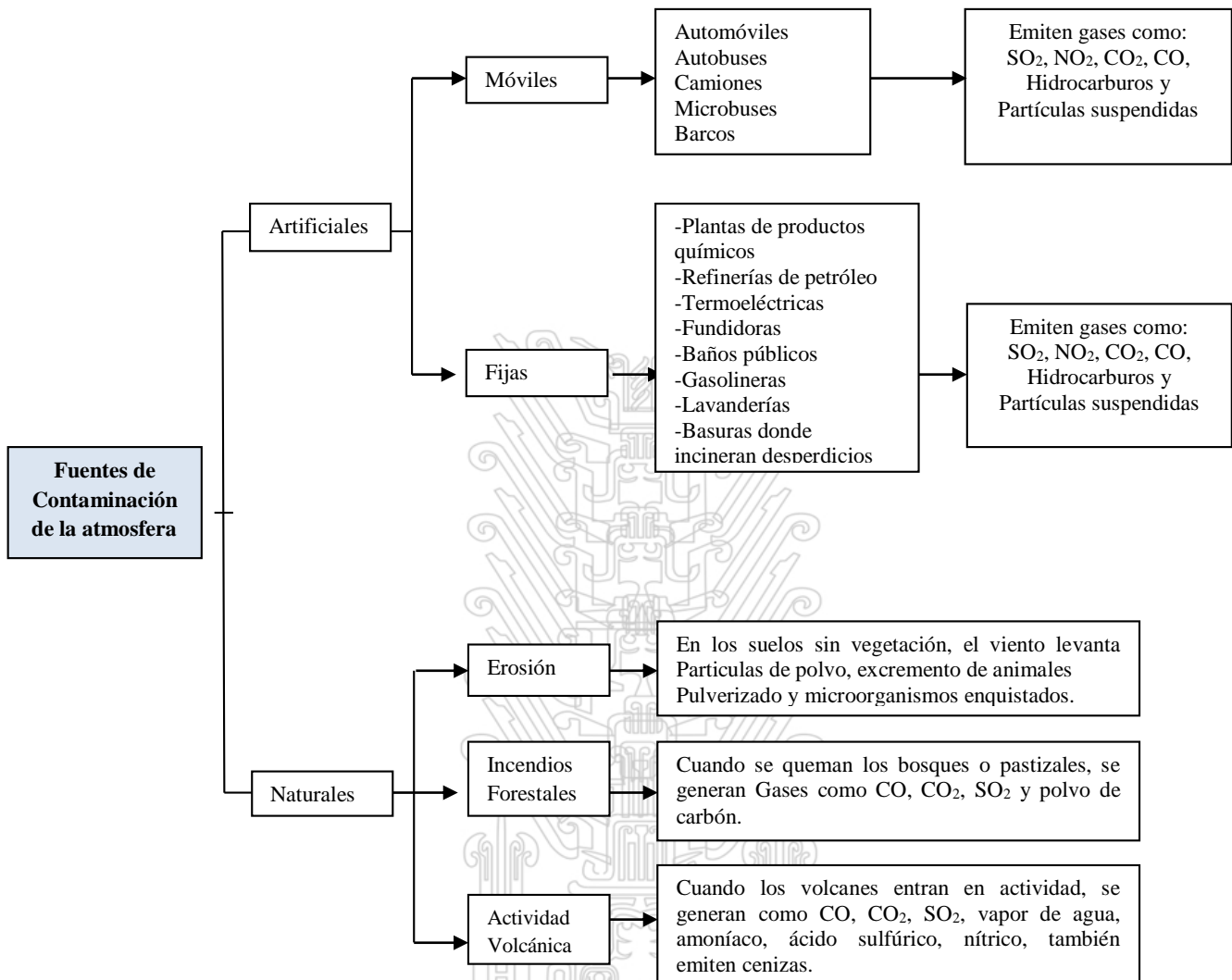
2.2.1.2.2.2 Fuentes naturales

Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida animal y vegetal pueden jugar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. Un gran número de investigadores han establecido que la vegetación (como pastos, cultivos, arbustos y bosques) emite cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera, llamadas emisiones biogénicas. (SENAMHI, 2011). Ver Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4 Fuentes naturales de contaminación

FUENTE	CONTAMINANTES
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas
Fuegos forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas
Vendavales	Polvo
Plantas(vivas)	Hidrocarburos, polen
Plantas (en descomposición)	Metano, sulfuro de hidrógeno
Suelo	Virus, polvo
Mar	Partículas de sal

Diagrama de Fuentes de contaminación de la atmósfera



Fuente: ATSDR-Agency for toxic substances and desage registry, 2002.

2.2.1.2.2.3 Fuentes móviles

Las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte como automóviles, camiones y aviones, entre otros.

La principal fuente móvil de contaminación del aire es el automóvil, pues produce grandes cantidades de monóxido de carbono (CO) y cantidades menores de óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

La cantidad de emisiones que produce un vehículo automotor depende de una serie de factores como el tipo y la calidad del combustible que consume, el estado de conservación del motor,

Tesis publicada con autorización del autor
su antigüedad, tecnología, si cuenta o no con un sistema de control de emisiones, la

No olvide citar esta tesis

UNFV

morfología de la ciudad donde transita, los hábitos del chofer, el tiempo que permanece operativo, el tráfico en las vías y, finalmente, su recorrido (Pérez, 2010).

Los motores de combustión interna (MCI) generan emisiones tóxicas, contenidas en los vapores del combustible, en los gases del cárter y en el tubo de escape. Cerca del 1% de los gases de escape contienen aproximadamente 300 sustancias, de las cuales la mayoría son tóxicas (CENERGIA, 1998). Ver Tabla N° 3.

Tabla N° 3 Estimación de las emisiones del parque automotor de Lima-Callao del año 2010

Categorías	Porcentaje de emisiones (%)					
	PTS	SO ₂	NO _x	CO	Plomo	COV
Automóviles y vehículos familiares	5	4	6	13	31	21
Taxis y moto-taxis	16	12	21	68	51	46
Camionetas, rural y panel	21	19	11	13	16	16
Camiones, buses y remolcadores	58	65	62	6	2	17
Emisiones (toneladas/año)	6,205	11,261	70,501	329,814	203	72,512

Fuente: Korc, Figari, et al. 2009.

2.2.1.2.2.4 Fuentes puntuales o fuentes fijas

Una fuente puntual se refiere a una fuente en un punto fijo o estacionario. Existen cientos de miles de fuentes estacionarias de contaminación del aire, como las plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo y fábricas. Según la industria o proceso específico, las fuentes estacionarias pueden emitir uno o varios contaminantes criterio del aire además de muchos otros contaminantes peligrosos.

Desde el punto de vista ambiental, los distritos con mayor riesgo son Lima, Ate y Callao. El distrito de Lima cuenta con el mayor número de establecimientos, entre los que predominan los dedicados a las industrias de papel, alimentos y bebidas, metálicas y maquinarias, textil,

curtido y adobo de cueros, que representan el 52% del total de empresas. (PISA I, 2004).

2.2.1.2.3 Principales contaminantes del aire

Según **Roberts Alley** (2009:2) los problemas de calidad del aire están relacionados con diferentes factores: geofísicos, meteorológicos y socioeconómicos, éste último debido a la presión ejercida por el crecimiento de la economía y población. La población, el desarrollo industrial y la dependencia por los motores de combustión interna explican el incremento sostenido de las emisiones gaseosas y material particulado, los cuales han sobrecargado la capacidad natural del aire para diluirlos.

Los contaminantes más importantes derivados de los combustibles fósiles (diesel, gasolina, petróleo y gas), que son los más usados por automóviles y buses antiguos en nuestro país y América latina son: el material particulado (PM), Dióxido de Azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO₂), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COVs). Todos éstos compuestos componen lo que usualmente conocemos como humo negro vehicular. (Roberts A, 2009)

2.2.1.2.3.1 Contaminantes criterio

Son aquellas sustancias que se identifican como comunes y perjudiciales para la salud, el ambiente y el bienestar de los seres humanos; las concentraciones de estos contaminantes dan una medida de la calidad del aire. Se consideran como contaminantes criterio el material particulado, ozono troposférico, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono. (Oviedo, 2013)

Según la **OMS**, se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de evaluaciones publicadas en documentos de calidad del aire en Estados Unidos, con el objetivo de establecer niveles permisibles que protegieran la salud, el medio ambiente y el bienestar de la población. Actualmente el término “contaminantes criterio” ha sido adoptado en muchos países, y son:

- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Material Particulado (PM)
- Plomo (Pb)

A. Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre es un gas incoloro, de olor acre, soluble en agua, reactivo e irritante para el sistema respiratorio y puede conducir, con una exposición de larga duración, al incremento de enfermedades de las vías respiratorias como la bronquitis. En periodos cortos de exposición puede producir cambios en la función pulmonar en asmáticos (OMS, 2004).

Según Gerard Kiely (1999:446), el dióxido de azufre 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. Forma núcleos de condensación y por eso generan problemas de visibilidad en la atmósfera que corroen materiales y producen la lluvia ácida.

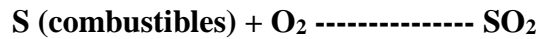
Gas incoloro, irritante, olor asfixiante, soluble en agua. Es el componente principal de la deposición de ácido. Precursor de sulfatos. Sus fuentes naturales son las erupciones volcánicas, la oxidación del sulfuro de hidrógeno originado por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanos, océanos, lodazales, etc. Como fuentes antropogénicas se tiene las emisiones producidas por la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre (para calefacción doméstica, generación eléctrica y vehículos a motor especialmente los de diesel); fundición de menas que contienen azufre; uso de fertilizantes. Se lo ha denominado como un contaminante que “pasa a través de” debido a que la cantidad emitida al aire es similar a la cantidad presente en el combustible. (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

La combinación de dióxido de azufre con partículas o humedad del aire, tienen efectos sinérgicos, es decir son mayores; siendo el más preocupante la contribución de este contaminante a la formación de la lluvia ácida. (Oviedo, Curso de gestión de la calidad del aire, 2013)

La mayor parte de las emisiones de azufre se liberan en forma de SO₂ (dióxido de azufre), que es a su vez oxidado y se transforma en SO₃. Bajo la presencia de humedad, se forma ácido sulfúrico, el cual está presente como aerosol o partículas sólidas, es decir, el SO₂ es un precursor en la formación de material particulado secundario o fino. El SO₂, es un gas incoloro, no inflamable y no explosivo, y es considerado precisamente como contaminante del aire. (Cocha, L. 2009)

❖ Reacciones del Dióxido de azufre, SO₂

- Es un contaminante primario que se produce por combustión de carbón y petróleo que contienen azufre:



- El SO₂ también se produce en la refinación de ciertos minerales que son sulfuros.



- El SO₂ es el contaminante del aire derivado del azufre más importante; sin embargo, algunos procesos industriales emiten trióxido de azufre, SO₃, el cual se forma también en la atmósfera en pequeñas cantidades debido a la reacción entre el SO₂ y el oxígeno:



Algunas macropartículas del aire catalizan esta reacción. A veces, el SO₂ y el SO₃ se mencionan en forma conjunta como óxidos de azufre, SO_x.

B. Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico, relativamente insoluble en agua. Este gas puede inhalarse en grandes cantidades y penetrar a las vías respiratorias inferiores del pulmón afectando este sistema. Al igual que el SO₂, los individuos que padecen de asma son más susceptibles de desarrollar una respuesta de constricción bronquial. Se ha comprobado que el dióxido de nitrógeno es unas cuatro veces más tóxico que el monóxido de nitrógeno; presenta toxicidad cruzada con el ozono y de ahí su importancia toxicológica al formar nitratos de peracilo (**Capó Martí, 2002**)

Gas naranja – marrón, soluble en agua. Desde el punto de vista toxicológico el dióxido de nitrógeno junto con el óxido nítrico son los principales contaminantes entre los varios óxidos de nitrógeno. Ambos son reactivos y pueden alcanzar concentraciones significativas en el aire. El óxido de nitrógeno (NO) que se incorpora a la atmósfera se oxida lento pero constantemente a dióxido de nitrógeno (NO₂). El dióxido de nitrógeno forma la niebla fotoquímica, la deposición de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ácido y es precursor de la formación de partículas de nitrato. Desempeña un papel importante en la formación de ozono en la tropósfera. (**Moreno Grau, 2003**)

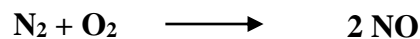
UNFV

Las fuentes naturales del dióxido de nitrógeno son la descomposición de la materia orgánica, incendios forestales, actividad volcánica y descargas eléctricas de las tormentas. Su origen antropogénico tiene como principales causas el transporte y los procesos de combustión a altas temperaturas. (Kiely, 1999)

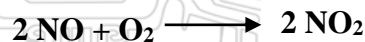
Las concentraciones ambientales de NO₂ en el aire son variables. Las concentraciones naturales de fondo en el aire ambiental pueden ubicarse en el rango de menos de 1 µg/m³ a más de 9 µg/m³. Las concentraciones anuales medias en el aire ambiental urbano pueden variar entre 20 y 90 µg/m³ con concentraciones máximas de 75 a 1.000 µg/m³ por hora. Las concentraciones de NO₂ en interiores pueden alcanzar concentraciones promedio de 200 µg/m³ durante varios días, con concentraciones máximas de 2.000 µg/m³ por hora en los casos en que hay dispositivos de calefacción de gas con poca ventilación (OMS, 2004)

❖ Reacciones del Dióxido de nitrógeno, NO₂

El monóxido de nitrógeno (óxido nítrico) se forma cuando el oxígeno y el nitrógeno atmosférico reaccionan a altas temperaturas, esta reacción ocurre cuando, por **ejemplo**, en los motores de combustión de los automóviles es de la siguiente forma.



Sin embargo, el óxido nítrico es una molécula altamente inestable en el aire ya que se oxida rápidamente en presencia de oxígeno convirtiéndose en dióxido de nitrógeno según la reacción:



C. Material Particulado (PM)

El material particulado menor a 10 micrómetros de diámetro (PM₁₀) corresponde de uno a dos tercios de las emisiones totales de material particulado. La principal afectación a la salud que puede producir el PM₁₀ es su acumulación y daño en los pulmones. (OMS, 2005)

Mezcla compleja de partículas sólidas o líquidas (excepto el agua no combinada) suspendidas en el aire, que varían en tamaño, número, origen, forma y naturaleza química. De acuerdo a su diámetro aerodinámico se clasifican en: nanopartículas (<0,1 µm), ultrafinas (<1 µm), finas (<2,5µm), gruesas (<10 µm) y sedimentables (> 10 µm). (Oviedo, 2013)

En el Cuadro N° 5, se presenta una comparación entre partículas finas y gruesas presentes en el aire ambiente.

Cuadro N° 5 Comparación entre partículas finas y gruesas

Características	Partículas finas	Partículas gruesas
Se forma a partir de	Gases	Sólidos grandes/ gotas pequeñas
Formadas por	Reacción química, nucleación, condensación, coagulación, evaporación de niebla y gotas de nubes donde los gases se han disuelto y reaccionado	Disrupción mecánica (trititación, abrasión de superficies); evaporación de atomizadores; suspensión de polvo.
Composición	Sulfato; nitrato; amonio, ión hidrógeno; carbón elemental; compuestos orgánicos (HAP's); metales (Pb, Cd, V, Ni, Cu, Zn, Mn, Fe); agua ligada a las partículas.	Polvos resuspendidos; ceniza de carbón y petróleo, óxidos metálicos de elementos presentes en la corteza terrestre (Si, Al, Ti, Fe); CaCO ₃ , NaCl, sal marina; polen, esporas de moho; fragmentos de animales y plantas; restos de llantas gastadas.
Solubilidad	Muy soluble, higroscópico y deliquescente	Muy insoluble y no higroscópico
Fuentes	Combustión de carbón, hidrocarburos; madera; productos de transformación atmosférica de NO _x , SO ₂ y compuestos orgánicos, procesos de altas temperaturas, etc.	Resuspensión del polvo industrial; suspensión de tierra removida; fuentes biológicas; construcción y demolición; combustión de carbón e hidrocarburos; brisa marina.
Tiempo de vida	De días a semanas	De minutos a horas
Distancia de viaje	Cientos a miles de kilómetros	Hasta 10 kilómetros

Fuente: WHO/SDE/OEH, 2000.

D. Plomo (Pb)

En los motores de los autos que trabajan con combustible, al quemarse la gasolina con plomo, que sigue siendo uno de los carburantes más utilizados en Lima metropolitana debido a su precio en comparación de otros que no lo contienen. Allí se producen sales de Plomo como los cloruros, bromuros y óxidos que ingresan al ambiente a través de los tubos de escape y que tienen efectos abrasivos en distintos materiales. (Aguilar O, 1997)

E. Monóxido de Carbono (CO)

Gas incoloro, inodoro e insípido, poco soluble en agua, altamente tóxico, su densidad es el 96,5% de la del aire y es el más ampliamente distribuido y abundante de los contaminantes de referencia. **(Kiely, 1999)**

Su origen natural se debe a incendios forestales y principalmente a reacciones de oxidación atmosférica del metano (producto de la reacción anaerobia de la materia orgánica). Respecto a su origen antropogénico, es el producto de la combustión incompleta de combustibles carbonosos (carbón, petróleo, gasolina, madera, gas, tabaco, etc.), en el aire urbano la principal fuente es la circulación vehicular. **(Orozco B., 2003)**

Alrededor del 70% proviene de fuentes móviles pues prácticamente todo emana por la combustión incompleta de los vehículos a motor. La concentración de CO es un parámetro adecuado para el seguimiento de la contaminación primaria de origen vehicular, porque su determinación es comparativamente sencilla respecto a otros contaminantes atmosféricos. Además, se puede utilizar para establecer correlaciones con otros contaminantes primarios, en particular óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y material particulado. Este hecho es relevante para inferir la evolución horaria de material particulado en suspensión, cuya determinación sobre períodos cortos de tiempo es más dificultosa, y permitirá obtener indirectamente concentraciones de compuestos orgánicos volátiles, previo análisis de la composición de la flota vehicular y la distribución de vehículos por tipo de combustible. **(Defensoría Del Pueblo, 2009)**

F. Ozono (O₃)

Gas incoloro altamente reactivo. Existen dos tipos de ozono: el estratosférico (“bueno”), que es aquel que forma una capa que protege a los seres vivos de la radiación solar ultravioleta; y el troposférico (“malo”), que es un contaminante secundario y criterio que se forma por la oxidación fotoquímica de hidrocarburos reactivos y dióxido de nitrógeno en presencia de la luz solar. El ozono troposférico es el principal componente del smog fotoquímico, además de ser el de mayor trascendencia toxicológica **(Moreno G., 2003)**

G. Dióxido de Carbono (CO₂)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Conocido como el principal responsable del efecto invernadero, se produce por la combustión de carburantes fósiles y en la respiración de vegetales y animales. Es parte importante en

UNFV

procesos como la fotosíntesis y la respiración, así como a ayudar a mantener en la tierra una temperatura habitable siempre y cuando se establezca en cantidades determinadas. Los productos fósiles referidos son el petróleo y carbón, que en conjunto con todas las actividades humanas llegan a ser un 22% de la actual concentración de CO₂ en la atmósfera. Esto genera el gran cambio climático que se siente en el Perú y que ya es conocido como uno de los más vulnerables al cambio de clima global. (Defensoría Del Pueblo, 2009)

2.2.1.2.3.2 Contaminantes Peligrosos (No Convencionales)

El aire ambiental contiene otras sustancias tóxicas además de los “contaminantes criterio”, mismas que han sido agrupadas bajo el nombre de contaminantes peligrosos del aire. Estos contaminantes generalmente son productos químicos que proceden de fuentes específicas y que afectan a áreas aisladas; varios de ellos tienen efectos carcinogénicos (mismos que no tienen dosis mínima, debido a que incluso una pequeña cantidad puede producir cáncer) que pueden producir efectos irreversibles en la salud de las personas; la mayoría son compuestos orgánicos volátiles. (OPS/CEPIS, 2002). Ver Cuadros N° 6 – 7.

Cuadro N° 6 Contaminantes peligrosos con efectos no carcinogénicos

COMPUESTO	EFEECTO DE SALUD
Acetaldehído	Irritante. Relacionado con carcinogeneidad en ratas.
Acetona	Malos olores
Acroleína	Irritación de los ojos en humanos. Malos olores
Bromuro de metilo	Reducción del índice de fertilidad en ratas.
Cadmio	Efectos renales en la población.
1,4 dicloro benceno	Aumento en el peso renal y proteínas urinarias
Disulfuro de carbono	Cambios funcionales del sistema nervioso central en los trabajadores. Malos olores.
Mercurio	Efectos tubulares renales en humanos.
Tetracloruro de carbono	Hepatotoxicidad en ratas
Tolueno	Efectos en el sistema nervioso central de trabajadores. Malos olores
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores.
Xilenos	Efectos en el sistema nerviosos central en humanos voluntarios. Neurotoxicidad en ratas. Malos olores.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Cuadro N° 7 Contaminantes peligrosos con efectos carcinogénicos

COMPUESTO	EFECTO DE SALUD
Acetaldehído	Tumores nasales en ratas
Acrilonitrilo	Cáncer al pulmón en trabajadores
Arsénico	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Benceno	Leucemia en trabajadores expuestos
Benzo (a) pireno	Cáncer al pulmón en humanos
Cromo VI	Cáncer al pulmón en trabajadores expuestos
Níquel	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
HAPs	Cáncer al pulmón en humanos expuestos
Cloruro de vinilo	Hemangiosarcoma en trabajadores expuestos. Cáncer de hígado en trabajadores expuestos

Fuente: Oviedo, 2013.

2.2.1.2.4 Transporte y dispersión de los contaminantes atmosféricos

La concentración de contaminantes en la atmósfera está influenciado por factores diversos, dentro de los cuales es preciso incidir en dos conceptos importantes:

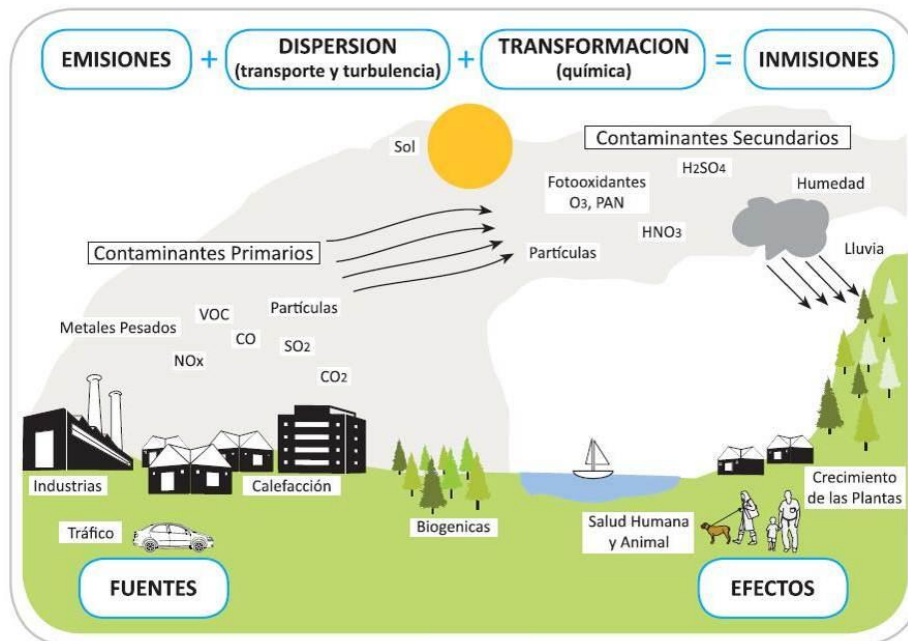
- Emisión

Es la cantidad total de contaminantes vertidos a la atmósfera en un período de tiempo, desde un foco determinado. La concentración de contaminantes se mide a la salida del foco emisor. Estos focos o fuentes pueden ser fijos o móviles. (Mendoza R., Montañés S., & Palomares G., 1998)

- Inmisión

Es la concentración de contaminantes presentes en una atmósfera determinada, a nivel del suelo, por tanto, son valores a los que están expuestos los seres bióticos y abióticos cuya actividad se desarrolla en esa atmósfera concreta. Por ello la inmisión es un parámetro de medida de la calidad del aire ambiente. (Orozco B., 2003). Ver Figura N° 10.

Figura N° 10 Esquema de emisión, evolución de contaminantes en la atmósfera e inmisión



Fuente: Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, (SUR), Universidad de los Andes.

2.2.1.2.4.1 Principios de Transporte y Dispersión

El **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria** explica que el transporte y dispersión de contaminantes del aire están influenciados por variaciones de clima y las condiciones topográficas locales. Los principales factores del transporte y dispersión son el **viento o movimiento horizontal** y la **estabilidad o movimiento vertical**. La dispersión de contaminantes de una fuente depende de otro fenómeno conocido como **turbulencia**. Esta puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la atmósfera.

La velocidad del viento puede afectar en gran medida la concentración de contaminantes en un área, mientras mayor sea, menor será la concentración. El viento se genera por las diferencias en la presión atmosférica. La presión es el peso de la atmósfera en un punto dado.

La altura y temperatura de una columna de aire determinan el peso atmosférico. Debido a que el aire frío pesa más que el caliente, la masa de alta presión está constituida de aire frío y pesado. Por el contrario, una masa de baja presión de aire está formada por aire más caliente y liviano. Las diferencias de presión hacen que el aire se mueva de las áreas de alta presión a las de baja presión.

La estabilidad de la atmósfera también afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire. Esta se origina por condiciones atmosféricas inestables. Generalmente, durante el día el aire cerca de la superficie de la tierra es más caliente y liviano que el aire en la atmósfera superior debido a la absorción de la energía solar. El aire caliente y liviano de la superficie sube y se mezcla con el aire frío y pesado de la atmósfera superior que tiende a bajar. Este movimiento constante crea condiciones inestables y dispersa el aire contaminado. Cuando hay una ligera mezcla vertical o no hay mezcla, los contaminantes permanecen en la zona baja y tienden a aparecer en concentraciones mayores. (CEPIS, 2005: VI)

Los factores que influyen en el transporte y dispersión de los contaminantes del aire son:

- **Turbulencia Termal.-** La temperatura atmosférica disminuye en 1°C por cada 100 metros de altura. Este fenómeno favorece la subida del aire caliente superficial y contaminado, y la bajada del aire frío y puro. (Gómez M. 2006)
- **Inversión Térmica.-** En la noche, con suelo frío no se puede calentar el aire superficial como para favorecer su penetración en las capas superiores, como consecuencia el aire superficial contaminado queda cerrado sobre la superficie del suelo. Es un fenómeno que causa una estabilidad atmosférica fuerte por generar capas de estratificación isothermal estables, capaces de bloquear totalmente los intercambios verticales. (Buenos Aires, 2001)

2.2.1.2.4.2 Transporte de los contaminantes.

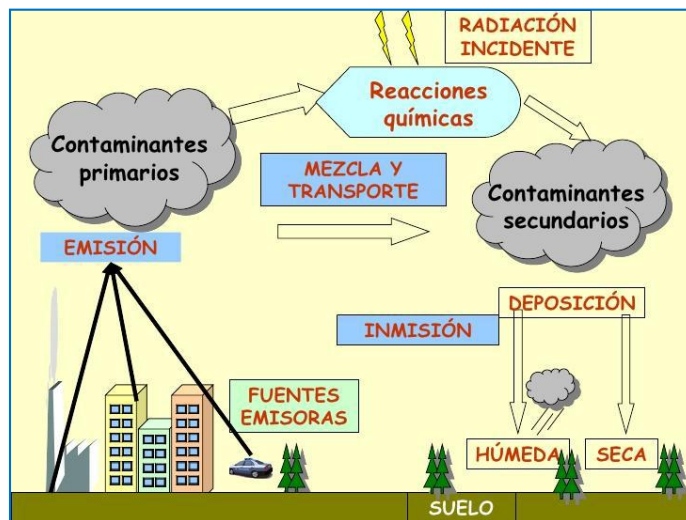
Al considerar el ataque de contaminantes del aire, primero se debe considerar el proceso de transporte, las concentraciones y el tipo de contaminantes químicos. La longitud de tiempo que los contaminantes permanecen en la atmósfera, la distancia que recorren, y las concentraciones atmosféricas que alcancen dependerá de las condiciones meteorológicas y de los procesos de deposición.

Los procesos para el transporte en la superficie de la atmósfera generalmente se consideran en dos grandes grupos – deposición seca y deposición húmeda.

A la **deposición seca** se le define como la recaudación directa de especies gaseosas y particuladas sobre una superficie. Los procesos involucrados son complejos y se puede considerar en términos de la “velocidad de deposición” que es una combinación de la concentración atmosférica y la resistencia de la superficie a la deposición.

Para la **Deposición húmeda**, se debe considerar la incorporación de contaminantes en las nubes (Rainout) que se liberan cuando hay una precipitación (Washout) o una combinación de ambos. Una vez más, este es un proceso complejo, que implica la intensidad de la lluvia, su origen y la exposición previa de la superficie. (**Brimblecombe, 2003**). Ver Figura N° 11.

Figura N° 11 Esquema de deposición húmeda y seca



2.3. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

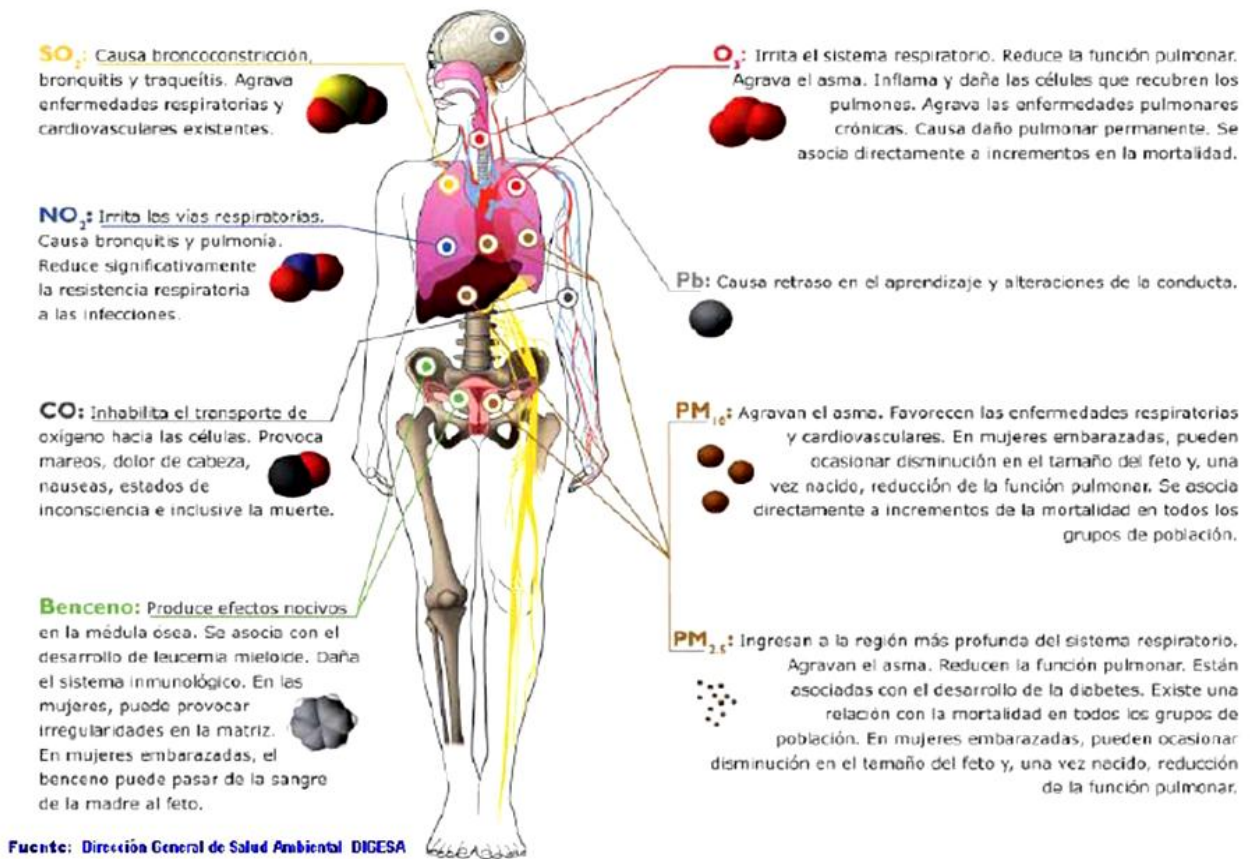
Existe evidencia real que la contaminación del aire afecta la salud de las personas, animales, daña la vegetación, ensucia y deteriora los materiales, afecta el clima, reduce la visibilidad y la radiación solar, perjudica los procesos de producción, aumenta los riesgos, en general dificulta el disfrute de la vida y de las cosas. (**MINAM, 2009**)

Entre algunas de las consecuencias que genera la contaminación del aire se citarán las más relevantes

2.3.1 Efectos sobre la Salud

La exposición a contaminantes del aire puede causar efectos agudos (corto plazo) y crónicos (largo plazo) en la salud. Usualmente, los efectos agudos son inmediatos y reversibles cuando cesa la exposición al contaminante. A veces los efectos crónicos tardan en manifestarse, duran indefinidamente y tienden a ser irreversibles. (**CEPIS, 2005**). Ver Figura N° 12.

Figura N° 12 Efectos de los contaminantes del aire en la salud



Fuente: DIGESA, 2005

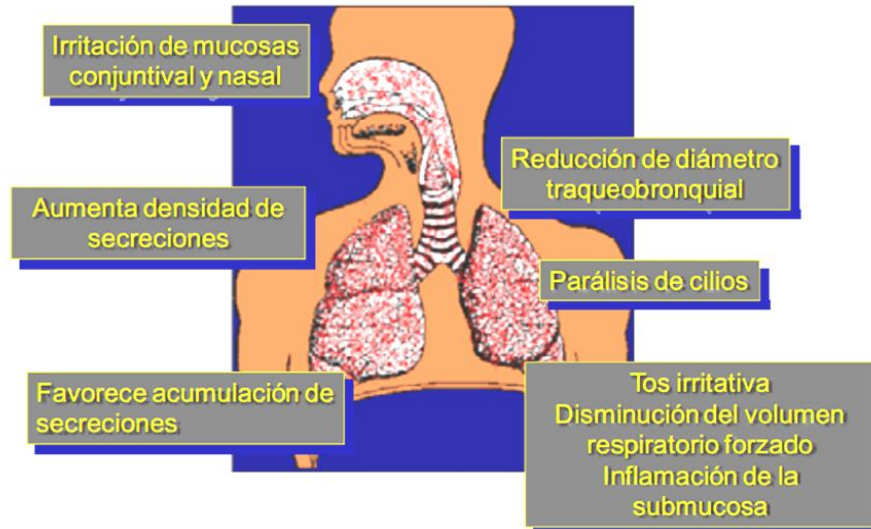
Los contaminantes penetran en el cuerpo humano a través del **sistema respiratorio**:

- Las partículas grandes son filtradas por los pelos del conducto nasal y la tráquea, las otras se precipitan hacia los pulmones.
- Otras partículas son interceptadas también por los pelitos finos que tapizan las paredes de todo el sistema respiratorio, ahí son retenidas hacia la garganta, donde son eliminadas por deglución.
- La mayoría de las partículas de tamaño superior a 5 micras son eliminadas por el sistema respiratorio superior.
- Las partículas de radio inferior y mayores a 1 micra, se depositan en las paredes de los bronquios inmediatamente después de la bifurcación del árbol bronquial.
- Las partículas de radio inferior a 1 micra están influidas por el movimiento browniano (movimiento rápido e irregular causado por las colisiones de la partícula con moléculas de aire). Cuando las partículas son demasiado grandes para ser afectadas por

Tesis publicada en el portal de la UNFV. No olvide citar esta tesis

este movimiento y demasiado pequeñas para ser retenidas en la parte superior del pulmón, pueden penetrar profundamente en el pulmón. Ver Figura N° 13.

Figura N° 13 Efectos de los contaminantes del aire sobre el sistema respiratorio.



Fuente: MINAM, 2009.

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de los contaminantes presentes, ver Figura 1, del tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes. Hay que tener muy en cuenta la graduación del efecto a medida que aumentan la concentración y el tiempo de exposición. (Uribazo, 2006). Ver Cuadros N° 8 - 10

Cuadro N° 8 Individuos sensibles por contaminación del aire

CONTAMINANTE	INDIVIDUOS SENSIBLES
Ozono	Niños que pasan tiempo en exteriores, adultos que realizan actividad física significativa en exteriores e individuos con enfermedades respiratorias como el asma.
Material particulado	Personas que presentan enfermedades de los pulmones o el corazón, tales como asma, obstrucción pulmonar crónica, congestiones cardíacas o similares. Niños, ancianos y mujeres embarazadas.
Monóxido de carbono	Personas con enfermedades cardiovasculares, tales como angina o aquellas con afectaciones que comprometen al sistema cardiovascular respiratorio (por ejemplo, fallas congestivas del corazón, enfermedades cerebro vasculares, anemia, obstrucción crónica del pulmón) y las mujeres embarazadas, los bebés en gestación y recién nacidos.
Dióxido de azufre	Niños, adultos con asma u otras enfermedades respiratorias crónicas y personas que realizan actividades físicas en exteriores.
Dióxido de nitrógeno	Niños y adultos con enfermedades respiratorias como el asma.

Fuente: CIDATT, 2004

Cuadro N° 9 Efectos de los contaminantes atmosféricos sobre el sistema respiratorio

CONTAMINANTES	EFEECTO A CORTO PLAZO	EFEECTO A LARGO PLAZO
Material particulado “respirable” (PM10) y fino (PM2.5)	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de morbilidad respiratoria - Disminución en la función pulmonar - Interferencia en mecanismos de defensa pulmonar: fagocitosis y depuración mucociliar - Síndrome bronquial obstructivo 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño y menor desarrollo de la estructura y función del sistema respiratorio. - Mayor riesgo de cáncer en la edad adulta
Particulado Ultra fino (PM 0.1)	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor respuesta inflamatoria. (Comparando con PM10 Y PM2.5). - Ingreso rápido al sistema circulatorio y a otros órganos. 	
Ozono (O₃)	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de frecuencia respiratorio de CVF y VEF - Alveolitis neutrofílica, aumento de permeabilidad e hiperactividad bronquial. - Alteración del epitelio alveolar (células tipo II) 	<ul style="list-style-type: none"> - Daño de células epiteliales, “bronquiolización” alveolar - Disminución del desarrollo de CVF y VEF1
Dióxido de azufre (SO₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Obstrucción bronquial - Hipersecreción bronquial 	Bronquitis crónica
Dióxido de nitrógeno (NO₂)	<ul style="list-style-type: none"> - Hiperactividad bronquial. - Aumento de síntomas respiratorios y exacerbaciones de asma. - Aumenta la respuesta a la provocación con alérgenos - Disminución de la actividad mucociliar. 	Possible decremento del desarrollo pulmonar
Monóxido de carbono (CO)	Disminución en la capacidad de ejercicio	

CVF: Capacidad vital forzada, VEF: Volumen espiratorio forzado en el primer segundo.

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar esta tesis

Fuente: CIDATT, 2004

UNFV

Cuadro N° 10 Efectos no respiratorios de los contaminantes atmosféricos

ÓRGANO / SISTEMA	CONTAMINANTES	EFFECTOS
Cardiovascular	Material particulado Monóxido de carbono Plomo / Vanadio Ozono (O ₃)	Disminución de la variabilidad en la frecuencia cardiaca ante el estrés. Interfiere el transporte de O ₂ por la hemoglobina Mayor frecuencia de hipertensión arterial en población adulta Comunicación interventricular (administración prenatal en ratas)
Unidad	CO y PM _{2.5} materno-fetal (Hidrocarburos aromáticos policíclicos: HAP)	Bajo peso de nacimientos Baja talla al nacer
Sistema nervioso Central y Autonómico	Monóxido de carbono Plomo Ozono (O ₃)	Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual, compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas. Cefalea, irritabilidad, disminución de percepción auditiva y visual. Compromiso progresivo y letal de conciencia en concentraciones altas. Hiperquinesis, trastornos del aprendizaje, encefalopatía, cólicos intestinales Daño cerebeloso en células de Purkinje (administrado prenatalmente en ratas)
Renal	Cadmio y Vanadio Plomo	Toxicidad renal Tubulopatía
Hematopoyético	Plomo	Anemia
Óseo	Plomo	Reemplazo del Ca ₁₂ en los huesos produciendo descalcificación

2.3.2. Efectos sobre el Ambiente

Además de los efectos sobre la salud mencionados anteriormente, hay muchos otros efectos secundarios sobre la vegetación, suelo, agua, materiales hechos por el hombre, clima y visibilidad.

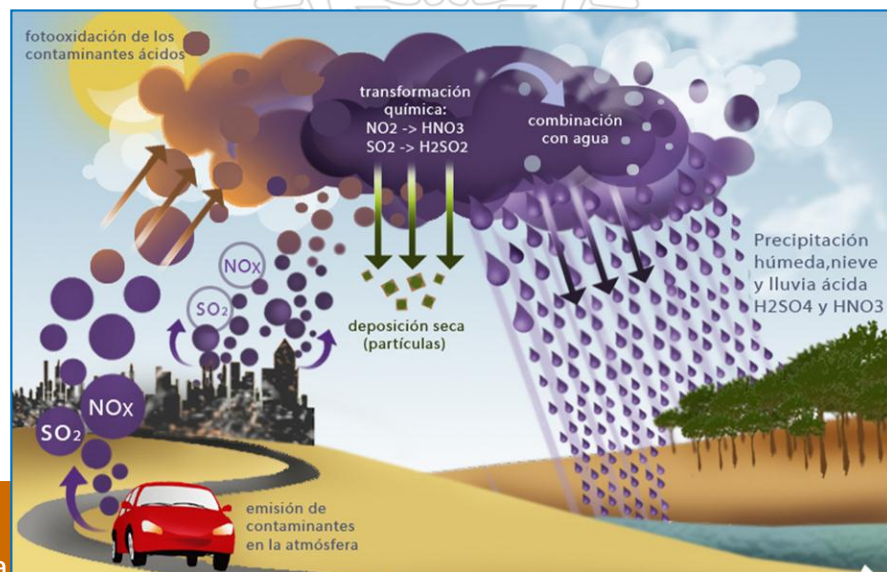
Entre los efectos que produce la contaminación del aire podemos encontrar a la formación de smog, smog industrial, smog fotoquímico, destrucción de la capa de ozono, la lluvia ácida, el efecto invernadero, el cambio climático, entre otros.

2.3.2.1 Lluvia Ácida

En la atmósfera los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los óxidos de azufre (SO_x) son convertidos en ácido nítrico y sulfúrico que vuelven a la tierra con las precipitaciones de lluvia o nieve (lluvia ácida). Otras veces, aunque no llueva, van cayendo partículas sólidas con moléculas de ácido adheridas (deposición seca).

“La lluvia ácida se forma cuando los contaminantes del aire, tales como el dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) se transforman en ácidos en la atmósfera. Posteriormente, la precipitación resultante (lluvia, nieve o niebla) deposita los ácidos en lagos y suelos. El control de la lluvia ácida se ha convertido en una preocupación internacional, ya que a menudo la fuente de estos contaminantes se encuentra alejada del lugar donde se registran los efectos” (CEPIS, 2005). Ver Figura N° 14.

Figura N° 14 Fotooxidación de los contaminantes ácidos



2.3.2.2 Smog

El smog es una mezcla química de humo y niebla, que es extremadamente desagradable y nocivo para la salud. Es un tipo de polución atmosférica con concentraciones de óxido de sulfuro y de nitrógeno, hidrocarburos y millones de partículas de plomo, manganeso, cobre, níquel, cinc y carbón. Todas estas sustancias tienen origen en las chimeneas de las industrias, los humos de las calefacciones, y miles de automóviles.

En grandes ciudades como Lima, México D.F, Nueva York, y Santiago de Chile, se puede observar una nube gris en el cielo que cubre generalmente toda la ciudad, a esta nube se le llama "smog" y se forma por la acumulación de agentes contaminantes en la atmósfera.

Entre estos agentes contaminantes están: El Monóxido de Carbono, el Óxido de Azufre y el Carbón que en general se presentan inicialmente como polvo negro que se forma por la quema incompleta de la gasolina y otros productos derivados del petróleo. (Vizcarra, 2006)

a) Smog industrial

El llamado smog industrial de color gris fue muy típico en algunas ciudades grandes, como Londres o Chicago, con mucha industria, en las que, hasta hace unos años, se quemaban grandes cantidades de carbón y petróleo pesado con mucho azufre, en instalaciones industriales y de calefacción. En estas ciudades se formaba una mezcla de dióxido de azufre, gotitas de ácido sulfúrico y una gran variedad de partículas sólidas en suspensión, que originaba una espesa niebla cargada de contaminantes, con efectos muy nocivos para la salud de las personas y para la conservación de edificios y materiales.

b) Smog fotoquímico

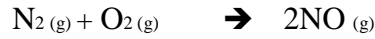
Se denomina smog fotoquímico a la contaminación del aire, principalmente en áreas urbanas, por ozono originado por reacciones fotoquímicas, y otros compuestos como el dióxido de nitrógeno. Como resultado se observa una atmósfera de un color marrón rojizo.

El origen del "smog" fotoquímico está en la combustión de los motores, una mezcla compleja que se forma a partir de la interacción de la luz solar con dos de los principales componentes de los gases de escape, el NO_x y los hidrocarburos dando ozono como principal oxidante

(Vianney, 2006)

- **Reacciones de formación**

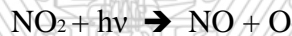
1. El óxido nítrico se forma cuando el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos reaccionan a altas temperaturas en los motores de combustión de los automóviles de la siguiente forma.



El óxido nítrico es una molécula altamente inestable ya que se oxida rápidamente en presencia de oxígeno convirtiéndose en dióxido de nitrógeno según la reacción:



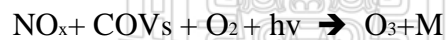
La luz del sol cataliza la descomposición fotoquímica del dióxido de nitrógeno (a una longitud de onda poco menor de 400 nm), se disocia en NO y O:



El O por ser reactivo se combina con oxígeno molecular generando ozono:



2. También se verifican las siguientes reacciones:

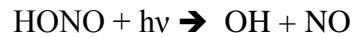
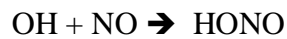


A partir de estos compuestos más los NO_x y oxígeno también se produce ozono y otros productos como el PAN.

3. La formación del HNO₃ se produce al final del día por reacción del NO₂ con radicales hidroxilo:

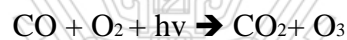


Durante la noche los radicales OH pueden reaccionar con el NO dando ácido nitroso, que se disocia en presencia de luz, pero es estable durante la noche.



Durante la noche las reacciones de smog fotoquímico se ven muy reducidas al necesitar la luz para funcionar, aunque éstas pueden continuar a través de otros compuestos. Ver Cuadro N° 11.

4. También se puede producir ozono a partir de las siguientes reacciones:



5. A demás también la oxidación del metano produce O₃.



Cuadro N° 11 Compuestos originarios del “Smog”

TIPO DE CONTAMINANTE	FUENTE DE CONTAMINANTE
Monóxido de Carbono (CO)	Gases de escape de vehículos de motor. Algunos procesos industriales
Dióxido de Azufre (SO₂)	Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso; plantas de ácido sulfúrico
Partículas en suspensión	Gases de escape de vehículos de motor; procesos industriales; incineración de residuos, generación de calor y electricidad, reacción de gases contaminantes en la atmósfera
Plomo (Pb)	Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo, fábricas de baterías.
Óxidos de Nitrógeno (NO) (NO₂)	Gases de escape de vehículos de motor, generación de calor y electricidad, explosivos, fábricas de fertilizantes
Oxidantes fotoquímicos (fundamentalmente ozono O₃)	Se forman en la atmósfera como reacción a los ácidos de nitrógeno, hidrocarburos y luz solar
Hidrocarburos (incluye etano, etileno, propano, butanos, pentanos, acetileno)	Gases de escape de vehículos de motor, evaporación de disolventes; procesos industriales; eliminación de residuos sólidos, combustión de combustibles.
Dióxido de carbono (CO₂)	Todas las fuentes de combustión

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar esta tesis

Fuente: Vianny, 2006

UNFV

2.4 MARCO INSTITUCIONAL DE LA CALIDAD DEL AIRE

2.4.1 Instituciones involucradas en la gestión de la calidad del aire en el Perú

La gestión ambiental se desarrolla a nivel internacional, nacional, regional y local, con acciones, responsabilidad e instrumentos de gestión, y la implementación institucional, como mecanismo integrador del desarrollo productivo, la equidad social y la protección ambiental; las instituciones involucradas son:

2.4.1.1 Ministerio del Ambiente

- a. Formular, aprobar, coordinar, supervisar, ejecutar y evaluar el plan Nacional de Acción Ambiental y la agenda de acción ambiental.
- b. Dirigir el Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- c. Elaborar estándares de Calidad Ambiental y los Límites Máximos Permisibles.
- d. Aprobar los lineamientos, las metodologías, los procesos y los planes para la aplicación de los estándares de Calidad Ambiental y Límites Permisibles en los niveles de gobierno.
- e. Dirigir el Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y el Sistema Nacional de Información Ambiental.
- f. Establecer los criterios y procedimientos para la formulación, coordinación y ejecución de planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados.
- g. Ejercer sanciones de amonestación, multa, comiso, inmovilización, clausura, suspensión, y la ejecución coactiva en los casos que corresponda.

2.4.1.2 Ministerio de Salud – DIGESA

- a. Propone y hace cumplir la política nacional en salud ambiental, a fin de controlar los agentes contaminantes y mejorar las condiciones ambientales para proteger la salud de las personas.
- b. Establecer las normas de salud ambiental y monitorear su cumplimiento.
- c. Conducir la vigilancia de riesgos ambientales y planificar medidas de prevención y control.
- d. Desarrollar investigación aplicada en función de la contaminación del aire.

2.4.1.3 Ministerio de la Producción – PRODUCE

- a. Formular, dirigir, coordinar, supervisar y evaluar la política de promoción de los sectores involucrados;
- b. Establecer el marco normativo de la actividad extractiva y productiva, la promoción a la libre competencia.
- c. Fiscaliza y supervisa el cumplimiento de la normas.
- d. Proporcionar políticas y normas de protección del medio ambiente y recursos naturales.

2.4.1.4 Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento

- a. Diseñar, normar, ejecutar la política nacional y acciones del sector en materias de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;
- b. Actualizar el marco normativo relacionado con su ámbito de competencia , en concordancia con el avance tecnológico y características socioculturales de la población de las diferentes regiones del país, fiscalización y supervisando su cumplimiento;
- c. Formular, proponer y en su caso, ejecutar políticas de prevención de riesgos frente a fenómenos naturales;
- d. Coordinar con los sectores, gobiernos regionales, locales, instituciones y organismos públicos y privados, nacionales e internacionales, la generación de programas y proyectos de desarrollo del hábitat y conservación del medio urbano.

2.4.1.5 Ministerio de transporte y comunicaciones- MTC

- a. Proponer las políticas del sector transporte en materia socio ambiental;
- b. Proponer normas socio- ambientales del sector;
- c. Evaluar, aprobar y supervisar los componentes socioambientales de los proyectos de infraestructura en todas sus etapas;
- d. Emitir opinión técnica especializada sobre asuntos socio ambiental del sector.

2.5. MARCO LEGAL DE LA CALIDAD DEL AIRE

El Perú como miembro de las Naciones Unidas, desarrolla acciones de coordinación con el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, participa en los diversos foros; asimismo en la Comunidad Andina de Naciones, es miembro de la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica.

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, es una de las principales áreas programáticas de la agenda 21, para la protección y fomento de la salud humana. Su objetivo es reducir los riesgos y mantener el medio ambiente, que no se ponga en peligro la salud y seguridad humana, y que se siga fomentando el desarrollo.

En relación a la contaminación del aire en zonas urbanas, propone el desarrollo de tecnología adecuada para combatir la contaminación; propone la creación de capacidad de control de la contaminación del aire en las grandes ciudades, con programas de vigilancia.

2.5.1 Política Nacional del Ambiente

Establecida en la Ley General del Ambiente, es un instrumentos de carácter público, que tiene como propósito definir y orientar el accionar de las entidades del gobierno nacional, regional y local; y del sector privado y de la sociedad civil, en materia ambiental; se diseñan y aplican de conformidad con lo establecido en la Política Nacional del Ambiente y deben guardar concordancia entre sí.

La Política Nacional del Ambiente tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

La Política Nacional del Ambiente, aprobada por Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM por el Ministerio del Ambiente, instrumento de cumplimiento obligatorio que orienta las actividades públicas y privadas. Esta política sirve de base para la formulación del Plan Nacional de Acción Ambiental, la Agenda Nacional de Acción Ambiental y otros instrumentos de gestión pública en el marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental¹¹.

Ha sido elaborada en base al análisis de la situación ambiental del país, tomando en cuenta las políticas implícitas y diversos lineamientos.

Dentro de su **Eje de Política 2: Gestión Integral de la Calidad Ambiental**, se señalan los Lineamientos de Política para la Calidad del Aire. Siendo los siguientes:

- a. Establecer medidas para prevenir y mitigar los efectos de los contaminantes del aire sobre la salud de las personas.
- b. Implementar medidas de alerta y prevención de emergencias por contaminación del aire, privilegiando las zonas con mayor población expuesta a contaminantes críticos.
- c. Incentivar la modernización del parque automotor promoviendo instrumentos, uso de medios de transporte y combustibles que contribuyan a reducir los niveles de contaminación atmosférica.
- d. Identificar y modificar prácticas operativas y consuetudinarias inadecuadas que afectan la calidad del aire.
- e. Impulsar mecanismos técnico-normativos para la vigilancia y control de la contaminación sonora y de las radiaciones no ionizantes.

(Política Nacional del Ambiente, aprobada por Decreto Supremo N° 012- 2009-MINAM por el Ministerio del Ambiente)

2.5.2 Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) 2011-2021.

Mediante Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM se aprobó el Plan Nacional de Acción Ambiental (PLANAA) 2011-2021. Este documento constituye un instrumento de planificación nacional de largo plazo, formulado sobre la base de la Política Nacional del Ambiente anteriormente referida.

El PLANAA contiene las metas prioritarias en materia ambiental para los próximos diez años. Realiza un diagnóstico situacional, así como las acciones estratégicas por metas priorizadas, entre las que se encuentra el Aire. Así, la Meta N° 3 para el año 2021, referida a la calidad del Aire, señala: “Meta prioritaria: 100% de las ciudades priorizadas implementan sus planes de acción para la mejora de la calidad del aire y cumplen los ECA para Aire”. (PLANAA 2011-2021, 2011: 56).

La **Meta N° 3** tiene como acciones estratégicas:

- ✓ Prevenir y controlar la contaminación atmosférica.
- ✓ Mejorar los mecanismos de prevención y control del ruido urbano.
- ✓ Ampliar la cobertura de áreas verdes en ambientes urbanos. (PLANAA 2011-2021, 2011: 57).

El PLANAA Perú: 2011 - 2021, establece a su vez que las entidades públicas de los tres niveles de gobierno, informen al MINAM sobre los avances en el cumplimiento del Plan, de acuerdo a sus competencias, tomando en consideración los indicadores y metas planteados, en el corto, mediano y largo plazo. Dichos informes deberán presentarse anualmente al MINAM, los primeros treinta (30) días de iniciado el año calendario. Asimismo, los resultados serán publicados en la página web del MINAM y otros medios que se consideren necesarios, para su difusión. (PLANAA 2011-2021, 2011: 77).

Además de ello, existen otros planes además de los desarrollados por el Ministerio del Ambiente, y datan de fechas anteriores. Tal es el caso del **Primer Plan Integral de Saneamiento Atmosférico (PISA) para Lima y Callao 2005 – 2010** y el **segundo Plan para los años 2011- 2015**.

2.5.3 Plan Integral de Saneamiento Atmosférico (PISA)

cabe señalar que los mencionados documentos conocidos como PISA, han sido elaborados por el **Comité de Gestión de la Iniciativa de Aire Limpio para Lima y Callao**, conformado originalmente por Resolución Suprema N° 768-98-PCM, el 31 de diciembre de 1998 (sujeto a modificaciones), que tiene por finalidad: “proponer los mecanismos de coordinación interinstitucional y los cambios normativos orientados a la mejora de la calidad del aire de Lima y Callao, planteando acciones para el fortalecimiento institucional, los sistemas de información y la generación de conciencia en la población involucrada, bajo el principio de objetivos compartidos y roles diferenciados”

Este Comité fue creado posteriormente a la participación de funcionarios peruanos en el lanzamiento de la Iniciativa de Aire Limpio para Latinoamérica, que fuera promovido por el Banco Mundial.

Dicho Comité además es miembro de la "Iniciativa de Aire Limpio para Ciudades de América Latina", y el Instituto de Aire Limpio, que tiene como principales ciudades socias a Lima - Callao, Buenos Aires, México, Río de Janeiro, Sao Paulo, Bogotá y Santiago de Chile.

El Comité cuenta entre sus miembros a los Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento (preside), Ministerio del Ambiente, Transportes y Comunicaciones, Producción, Energía y Minas, Salud-DIGESA. La Municipalidad Metropolitana de Lima, Municipalidad Provincial del Callao, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, Secretaria Técnica del Consejo de Transportes para Lima y Callao, Asociación Peruana de Consumidores y Usuarios-ASPEC y la Confederación Nacional de Instituciones Empresariales Privadas-CONFIEP

Su relevancia radica en la búsqueda de lograr que la calidad del aire en el área Metropolitana Lima – Callao presente niveles aceptables de contaminantes con el fin de preservar la salud de la población, para ello sus planes señalan una serie de objetivos generales y específicos a seguir.

2.5.4 El Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao 2011- 2015

De acuerdo al PISA II 2011 – 2015, su objetivo general es: “lograr que las concentraciones de contaminantes en el aire del Área Metropolitana Lima - Callao sean menores que los Estándares de Calidad Ambiental del Aire, procurando proteger la salud de la población así como la salud ambiental de los efectos nocivos causados por la contaminación atmosférica en nuestra ciudad.” (PISA II: 2011, 60).

El Plan Integral de Saneamiento Atmosférico para Lima y Callao 2011- 2015 realiza una evaluación de resultados de las medidas de acción establecidas en el Primer PISA 2005-2010, entre los que se encuentra gran parte de desarrollo normativo, así como la introducción de buses limpios en la Red Metropolitana de Vías Exclusivas para Buses, la implementación de centros de inspección técnica vehicular para Lima y Callao, las conversiones de vehículos a gas natural (112,484), la implementación del corredor vial COSAC I con 26 km entre Independencia y Chorrillos, la implementación del primer tramo del Tren Eléctrico con 21.48 km, la habilitación de semáforos inteligentes en 250 intersecciones críticas, y un Plan Integral para Ciclovías, entre otros. (II PISA 2011-2015: 56 a 59).

2.5.5 Ministerio del Ambiente

En octubre del 2005, se aprueba la Ley N° 28611 “Ley General del Ambiente”, el cual se constituye en la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

a. Estándares de calidad ambiental

Estándar de Calidad Ambiental – ECA, regulada mediante Ley General del Ambiente, artículo 31°, el ECA es la medida que establece el nivel de concentración de 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 el ambiente; según el parámetro en particular a que se refiera.

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.

Ver Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12 Normativa de la Calidad del Aire en el Perú

NORMAS	CONTENIDO	FECHA
Decreto Supremo N° 074-2001-PCM	Aprueban Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire. (Art. 12 y 13)	24/06/2001
Decreto Supremo N° 069-2003-PCM,	Establecen valor anual de concentración de plomo.	15/07/2003
Decreto Supremo N° 009-2003-S.A., su modificatoria y Directiva	Reglamento de Niveles de Estados de Alerta Nacionales de Contaminantes del Aire	2003
	GESTIÓN AMBIENTAL. Calidad del aire en	2006

	<p>exteriores.</p> <p>Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y método de ensayo. Parte 1. Requisitos generales. 1^a Edición</p>	
Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM	Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire.	22/08/2008
Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM	Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire.	19/06/2013
Resolución Ministerial N° 205-2013-MINAM.	Establecen cuencas atmosféricas a las cuales será aplicable los numerales 2.2, 2.3 del art.2 del D.S 006-2013-MINAM.	12/07/2013
Decreto Supremo N° 009-2015-MINAM.	Aprueban medidas destinadas a la mejora de la calidad ambiental del aire a nivel nacional.	07/08/2015
R.D. N° 1404/2005/DIGESA.	“Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos”	2005

Fuente: Elaboración propia adaptada

b. Reglamento de Estándares de Calidad del Aire - 2001

El 24 de junio del 2001 se aprobó mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire, el cual consta de 5 títulos, 28 artículos, nueve disposiciones complementarias, tres disposiciones transitorias y 5 anexos. Los estándares de calidad del aire tienen como objetivo proteger la salud de la población, son considerados estándares primarios. Los Estándares de Calidad del Aire son 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 el Reglamento.

Los Estándares Primarios de Calidad del Aire consideran los niveles de concentración máxima de los siguientes contaminantes del aire:

- ♦ Dióxido de Azufre (SO₂).
- ♦ Material Particulado con diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM₁₀).
- ♦ Monóxido de Carbono (CO).
- ♦ Dióxido de Nitrógeno (NO₂).
- ♦ Ozono (O₃).
- ♦ Plomo (Pb).
- ♦ Sulfuro de Hidrógeno (H₂S).

Asimismo, se considera el Material Particulado con diámetro menor o igual a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}) con el objeto de establecer su correlación con el PM₁₀. Los valores referenciales se muestran en el Cuadro N° 01-ML, así como los métodos de análisis de los contaminantes.

Reglamento promulgado mediante D.S. 074-2001-PCM, el reglamento tiene por objetivo, proteger la salud, mediante la aplicación gradual de estándares de calidad ambiental del aire. Ver Cuadros N° 13 – 14.

Cuadro N° 13 Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire - 2001

(Todos los valores son concentraciones en microgramos por metro cúbico),
NE (Significa no exceder)

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTÁNDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS [1]
		Valor	Formato	
Dióxido de Azufre	Anual	80	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	365	NE más de 1 vez al año	
PM10	Anual	50	Media aritmética anual	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	24 horas	150	NE más de 3 veces/año	
Monóxido de Carbono	8 horas	10000	Promedio móvil	Infrarrojo no dispersivo (NDIR)
	1	30000	hora NE más de 1 vez/año	(Método automático)
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio aritmético anual	Quimiluminiscencia (Método automático)
	1 hora	200	NE más de 24 veces/año	
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV (Método automático)
Plomo	Anual [2]			Método para PM10 de (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Mensual	1.5	NE más de 4 veces/año	
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas [2]			Fluorescencia UV (método automático)

[1] O método equivalente aprobado [2] A determinarse según lo establecido en el Artículo 5 del presente reglamento

Fuente: Decreto Supremo N° 074-2001-PCM.

Cuadro N° 14 Valores de Tránsito

Contaminantes	Periodo	Forma del Estándar		Método de Análisis
		Valor	Formato	
Dióxido de Azufre	Anual	100	Media aritmética anual	Fluorescencia UV (método automático)
PM-10	Anual	80	Media aritmética anual	Separación inercia / filtración (Gravimetría)
	24 horas	200	NE mpas de 3 veces/año	
Dióxido de Nitrógeno	1 hora	250	NE más de 24 veces /año	Quimiluminiscencia (método automático)
Ozono	8 horas	160	NE más de 24 veces / año	Fotometría UV (método automático)

Fuente: Decreto Supremo N° 074-2001-PCM.

c. Estándares de Calidad Ambiental para Aire - 2008

El 21 de agosto del 2008 se aprobó mediante Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM los Estándares de Calidad Ambiental para Aire de dióxido de azufre (SO₂), benceno, hidrocarburos totales, hidrógeno sulfurado y material particulado con diámetro menor a 2,5 micras. Asimismo, se dice que el Ministerio del Ambiente dictará las normas para la implementación de los estándares de calidad ambiental para aire y para la correspondiente adecuación de los límites máximos permisibles.

El parámetro dióxido de azufre (SO₂) establecido en el Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, han sido reemplazado por el presente decreto supremo. Los estándares contemplados en la presente norma entraron en vigencia el 01 de enero del 2009. Los valores referenciales se muestran en el Cuadro N° 08-ML, así como los métodos de análisis de los contaminantes. Ver Cuadros N° 2 – 16.

Cuadro N° 15 Estándares de Calidad Ambiental para Aire - 2008

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTÁNDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS
		Valor	Formato	
Dióxido de Azufre	24 horas	80 g/m ³ [1]	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20 g/m ³ [3]		
PM2.5	24 horas	50 g/m ³ [2]	Media aritmética	Separación inercial/ filtración (gravimetría)
	24 horas	25 g/m ³ [3]		
Hidrocarburos Totales (HT) expresado como Hexano	24 horas	100 mg/m ³ [2]	Media aritmética	Ionización de la llama de hidrógeno)
Benceno	Anual	4 g/m ³ [2]	Media aritmética	Cromatografía de gases
		2 g/m ³ gases [3]		
Hidrógeno Sulfurado	24 horas	150 g/m ³ [1]	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)

[1] vigencia a partir del 1 de enero del 2,009

[2] vigencia a partir del 1 de enero del 2,010

[3] vigencia a partir del 1 de enero del 2,014

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.

Cuadro N° 16 Estándar de Calidad Ambiental para el Dióxido de Azufre SO₂

PARAMETRO	PERIODO	VALOR (µg/m ³)	VIGENCIA	FORMATO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Dióxido de azufre (SO ₂)	24 horas	80	1 de Enero de 2009	Media aritmética	Fluorescencia UV (método automático)
	24 horas	20	1 de enero del 2014		

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM.

2.5.6 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

El índice de Calidad del Aire (ICA) se categoriza como bueno, moderado, malo, muy malo y alerta máxima.

La clasificación está basada en los valores establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire y los Niveles de Alerta Nacional de Contaminantes del Aire. Expresados en un ICA, los ICA son una herramienta muy simple que explica la calidad del aire en cada distrito monitoreado.

Para establecer la categoría global de cada estación se utiliza el índice más elevado de los contaminantes monitoreados, representados en el cuadro N° 17. El dióxido de nitrógeno y el ozono no presentan índices en las dos últimas categorías debido que la legislación vigente no lo establece.

Cuadro N° 17 Índice de Calidad del Aire (Basado en el DS 074-2001-PCM y DS 003-2008-MINAM)

Índice de calidad del aire (ICA)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
	24h	24h	1h	8h
0 – 50	0 - 50	0 - 20	0 - 40	0 - 60
>50 – 100	>50 - 150	>20 - 80	>40 - 200	>60 -120
>100 – 200	>150 - 250	>80 - 500	>200	>120
>200 – 300	>250 - 420	>500 - 2500		
> 300	>420	>2500		

Fuente: Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011, SENAMHI.

Los efectos a la salud humana de acuerdo a la categoría del estado de la calidad del aire y las acciones preventivas, son descritos en el cuadro N° 18.

Cuadro N° 18 Clasificación de los estados de la calidad del aire

Estado de calidad del aire	ICA	Efectos en la salud	Acciones preventivas
Bueno	0 a 50	No hay riesgos en la salud	
Moderado	>50 a 100	Las personas de los grupos sensibles pueden presentar síntomas como tos y cansancio	
Malo	>100 a 200	La población puede padecer síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta	Reducir el esfuerzo físico y el trabajo pesado al aire libre
Muy malo	>200 a 300	Toda la población puede presentar agravamiento de los síntomas como tos seca, ojos cansados, ardor en la nariz y garganta	Evitar cualquier esfuerzo físico al aire libre
Alerta máxima	>300 a 500	Toda la población puede padecer riesgos graves y manifestaciones de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Aumento de las muertes prematuras en personas de los grupos más sensibles.	Evitar cualquier actividad al aire libre

Fuente: Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011, SENAMHI.

2.6. LOS VEHÍCULOS AUTOMOTORES COMO FUENTES DE EMISIÓN

2.6.1. Contaminantes emitidos por las fuentes vehiculares y sus impactos en el medio ambiente y la salud

La gasolina y el diésel son mezclas, principalmente, de hidrocarburos, compuestos que contienen átomos de hidrógeno y carbono. Si la combustión en un motor fuera ideal, el oxígeno en el aire convertiría todo el hidrógeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono.

En la realidad, el proceso de combustión no es perfecto y, en consecuencia, los motores de los automóviles emiten varios tipos de contaminantes. En el cuadro N° 19 se muestran algunos de los contaminantes que son emitidos por las fuentes vehiculares.

Cuadro N° 19 Algunos contaminantes emitidos por los automóviles

Tipo de emisión	Contaminantes emitidos
Por el tubo de escape	Hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno partículas, bióxido de carbono, bióxido de azufre, plomo (sólo en el caso de gasolinas con plomo), amoníaco y metano.
Evaporativas	Hidrocarburos

Fuente: INE-SEMARNAT, 2005.

A continuación se describen de manera muy breve su importancia específicamente en términos de sus impactos en la salud y el ambiente de los siguientes parámetros a medir:

2.6.1.1 Óxidos de nitrógeno (NO_x):

Bajo las condiciones de alta temperatura y presión que imperan en el motor, los átomos de nitrógeno y oxígeno del aire reaccionan para formar monóxido de nitrógeno (NO), bióxido de nitrógeno (NO₂) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes, que se conocen de manera colectiva como NO_x.

Los óxidos de nitrógeno, al igual que los hidrocarburos, son precursores de ozono. Así mismo, con la presencia de humedad en la atmósfera se convierten en ácido nítrico, contribuyendo de

esta forma al fenómeno conocido como lluvia ácida. La exposición aguda al NO₂ puede incrementar las enfermedades respiratorias, especialmente en niños y personas asmáticas.

Efecto en la salud y el ambiente

- ♦ Durante un corto periodo de exposición el NO₂ puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular.
- ♦ Una exposición prolongada afecta al sistema inmune y al pulmón, causando cambios irreversibles en el tejido pulmonar.
- ♦ Es una sustancia corrosiva para la piel y el tracto respiratorio, provocando enrojecimiento y quemaduras cutáneas graves.
- ♦ En lo que tiene que ver con los daños producidos al medio ambiente tiene una gran incidencia en la formación del esmog fotoquímico.

2.6.1.2 Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ es un gas incoloro de fuerte olor, que se produce debido a la presencia de azufre en el combustible. Al oxidarse en la atmósfera produce sulfatos, que forman parte del material particulado.

Este compuesto es irritante para los ojos, nariz y garganta, y agrava los síntomas del asma y la bronquitis. La exposición prolongada al dióxido de azufre reduce el funcionamiento pulmonar y causa enfermedades respiratorias.

Efecto en la salud y el ambiente

- ♦ Los efectos de la exposición al dióxido de azufre varían según su concentración y duración
- ♦ Provoca daños en las mucosas oculares y vías respiratorias, afectando las defensas del sistema respiratorio provocando ataque de tos.
- ♦ El contacto con la humedad del aire del SO₂ forma ácido sulfúrico, lo que provoca la acidificación de suelos, lagunas y ríos, acelera la corrosión de materiales, monumentos y edificaciones y produce efectos negativos en los vegetales.

2.6.1.3 Hidrocarburos (HC)

Las emisiones de hidrocarburos resultan cuando no se quema completamente el combustible en el motor.

Existe una gran variedad de hidrocarburos emitidos a la atmósfera y de ellos los de mayor interés, por sus impactos en la salud y el ambiente, son los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos son precursores del ozono y algunos de ellos, como el benceno, formaldehído y acetaldehído, tienen una alta toxicidad para el ser humano.

2.6.1.4 Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono es un producto de la combustión incompleta y ocurre cuando el carbono en el combustible se oxida sólo parcialmente. El monóxido de carbono se adhiere con facilidad a la hemoglobina de la sangre y reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo ocasionando alteraciones en los sistemas nervioso y cardiovascular

2.6.1.5 Partículas (PM)

Las partículas también son producto de los procesos de combustión en el motor de los vehículos.

Este contaminante es uno de los que tiene mayores impactos en la salud humana; ha sido asociado con un aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, reducción de la función pulmonar, agravamiento del asma, y muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares.

2.6.1.6 Metano (CH₄)

El metano es también un gas de efecto invernadero generado durante los procesos de combustión en los vehículos. Tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor al del bióxido de carbono

2.6.1.7 Bióxido de carbono (CO₂)

El bióxido de carbono no atenta contra la salud pero es un gas con importante efecto invernadero que atrapa el calor de la tierra y contribuye seriamente al calentamiento global.

2.7. SECTOR TRANSPORTE EN EL PERÚ

2.7.1. El Parque Vehicular

El parque automotor en el Perú en los últimos años se ha incrementado en aproximadamente en 58.75%, en el año 2010 se registraron 1, 849,690 vehículos, mientras que en el año 2000 existían 1, 162,859 vehículos. Por tipo de vehículo los que mayor crecimiento registran son los del tipo automóvil con 595% (de 136,221 en el 2000 a 810,066 en el 2010) y las camionetas station wagon con 264% (de 108,184 en el 2000 a 285,272 en el 2010), uno de los efectos es el sobredimensionamiento del servicio de taxis.

Los vehículos de transporte de carga han crecido de 129,555 en el año 2000 a 213,025 en el 2010 (64.43%), ocasionando una sobreoferta de servicio, incremento de transportistas informales, inseguridad y dificultades operativas.








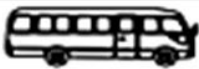



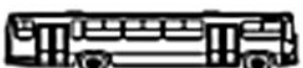
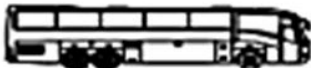

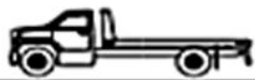


En el parque automotor del servicio de transporte de pasajeros (ómnibus interprovinciales) fue de 4,319 ómnibus en el año 2000 y de 7,973 en el año 2010, es decir un incremento de 84.60%; registrándose un importante proceso de modernización hacia el uso de unidades de mayor capacidad.

El parque automotor del país, en términos globales es antiguo, pues aproximadamente el 80% de los vehículos ingresados al país vía CETICOS y ZOFRATACNA, son usados y reacondicionados, influenciando en la edad promedio del parque automotor del servicio público es de 22,5 años, mientras que la edad del privado es 15,5 años, lo que ha generado el agravamiento de la contaminación ambiental, superando los estándares internacionales que miden la calidad del aire.

A fin de contribuir a revertir esta situación, crearon el Programa para la Renovación del Parque Automotor” (Chatarreo), inicialmente con vehículos de la Categoría M1 con más de 15 años de antigüedad. Así mismo, se ha establecido (D.S. N° 017-2009-MTC) que la antigüedad máxima de los vehículos de transporte público es de 15 años. Cabe resaltar que en los últimos cinco años la importación de vehículos nuevos viene superando a la importación de vehículos usados.

La actual situación del transporte urbano en la Ciudad de Lima y principales ciudades del país, está caracterizado por un estado caótico, contaminante, obsoleto e inseguro, generado básicamente por la sobreoferta de vehículos, lo cual es resultado a la falta de regulación y la debilidad institucional de las autoridades encargadas de hacer cumplir las normas. (MTC, Plan Estratégico Sectorial Multianual Sector Transportes y Comunicaciones 2012 – 2016). Ver Figura N° 15.

Figura N° 15 Clasificación de parque vehicular en el Perú

SEGMENTACIÓN DE VEHÍCULOS			
Código ARAPER	Descripción	Categoría RENAV *	Gráficos referenciales
VEHÍCULOS LIGEROS			
L1	Automóvil, Station Wagon, Van Familiar y Multipropósito (hasta 9 asientos y hasta 1500cc)	M ₁	 
L2	Automóvil, Station Wagon, Van Familiar y Multipropósito (hasta 9 asientos y de más de 1500cc)	M ₂	 
L3	SUV (hasta 9 asientos-excepcionalmente hasta 13 asientos)	M ₁ y M ₂	 
VEHÍCULOS COMERCIALES			
C1	Microbús (de 10 hasta 16 asientos)	M ₂	
C2	Minibús (de 17 a 33 asientos y hasta 7 L de PBV)	M ₂ y M ₃	
C3	Camioneta Pick-Up (hasta 5 L de PBV)	N ₁ y N ₂	
C4	Camioneta Panel y Furgón (hasta 3.5 L de PBV-excepcionalmente sólo Panel hasta 5 L.)	N ₁ y N ₂	 
OMNIBUS			
O1	Ómnibus (más de 7 y hasta 16 L de PBV)	M ₂	
O2	Ómnibus (más de 16 L de PBV)	M ₂	
PESADOS (CAMIONES Y REMOLCADORES)			
P2	Camión, (de 3,5 a 8 L de PBV)	N ₂	
P3	Camión, (de 8 a 16 L de PBV)	N ₂ y N ₃	
P4	Camión, (más de 16 L de PBV)	N ₂	
P5	Remolcador o Tracto Camión (más de 16 L de PBV)	N ₃	

Fuente: Reglamento Nacional de vehículos – DS 058-2003-MTC y modificatorias.

Te
No

2.7.2. Combustible en el Sector Transporte

Los combustibles que se utilizan en el Sector Transporte son: Gasolina de 84 octanos sin plomo desde el 1ro de enero del 2005, Gasolina de 90 octanos sin plomo, Gasolina de 95 octanos sin plomo, Gasolina de 97 octanos sin plomo, Diésel, Gas Natural Vehicular y Gas Licuado de Petróleo.

2.7.3. Consumo de Energía del Sector Transporte

El consumo de energía en el Sector Transporte se ha incrementado significativamente en los últimos años como consecuencia del aumento del parque automotor.

A nivel de sectores económicos el principal demandante de los derivados fue el Sector Transporte, de este modo, este sector se constituyó en el mayor consumidor de energía del Perú (53%). Es un mercado que está en continuo crecimiento en lo que respecta al consumo de energía.

El 53% del consumo energético en el Sector Transporte se efectúa en Lima - Callao, siendo los taxis (47%) el medio de locomoción que mayor consumo ha presentado.

En el resto del país, los camiones (49%) son los principales demandantes de energía en el transporte carretero.

En el Cuadro N° 20 se observa que la penetración del GLP, es moderada. Los principales consumidores de GLP serían taxis y camionetas.

Cuadro N° 20 Sector transporte - demanda de energía

Por fuente (mbls)

Fuentes	1998	2005	2010	2015	Tasa (%)
Combustible Jet	2 918	4 026,7	5 068,5	6 379,5	4,71
Diésel	13 536	16 727,3	18 498,0	21 460,5	2,75
Electricidad		33,7	69,0	75,3	
GNC		66,0	402,0	832,0	
Gas Licuado	37	25,5	40,5	63,3	3,42
Gasolina motor	7 897	10 857,8	12 487,5	14 544,0	3,66
Petróleo Residual	360	498,0	628,5	794,3	4,77
TOTAL	24 748	32 235,0	37 194,0	44 148,8	3,46

Fuente: MTC

2.7.4. Cantidad de Vehículos a nivel de Lima Metropolitana.

La cantidad de vehículos a nivel de Lima Metropolitana (ver Anexo 19)

2.7.4.1 Lima Hoy:

- ♦ 13 millones de viajes al día.
- ♦ 17,5% en auto particular= 2,3 millones de viajes.
- ♦ 76% en Transporte Público = 10 millones de viajes.
- ♦ 7% en Taxi = 1 millón de viajes.
- ♦ El GNV ya representa 9% del parque automotor.
- ♦ 11 millones de horas ‘viajando’ al día= 49 minutos por viaje.
- ♦ Consumo de 2,5 millones de galones de combustible líquidos al día.
- ♦ 11 mil toneladas de CO₂ al día.

Fuente: AATE, Municipalidad de Lima, Estimaciones Osinergmin.

2.8 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

La medición de contaminantes atmosféricos se puede lograr a través de diversos métodos que se agrupan de acuerdo a sus principios de medición en:

- ♦ Muestreadores activos.
- ♦ Método automático
- ♦ Método óptico de percepción remota
- ♦ Muestreo con Bioindicadores
- ♦ Muestreadores pasivos

2.8.1 Muestreadores Activos

Este tipo de equipos requieren energía eléctrica para bombear el aire a muestrear a través de un medio de colección físico o químico. El volumen adicional de aire muestreado incrementa la sensibilidad, por lo que pueden obtenerse mediciones diarias promedio.

Los muestreadores activos se clasifican en burbujeadores (gases) e impactadores (partículas); dentro de estos últimos, el más utilizado actualmente es el muestreador de alto volumen

“HighVol” (para PST, PM₁₀ y PM_{2.5}). Ver Figura N° 16.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Figura N° 16 Muestreador de alto volumen para PTS y PM₁₀



2.8.2 Método automático

Permite llevar a cabo mediciones de forma continua para concentraciones horarias y menores. El espectro de contaminantes que se pueden determinar van desde los contaminantes criterio (PM₁₀-PM_{2.5}, CO, SO₂, NO₂, O₃) hasta tóxicos en el aire como mercurio y algunos compuestos orgánicos volátiles.

Las muestras colectadas se analizan utilizando una variedad de métodos los cuales incluyen la espectroscopia y cromatografía de gases. Además, estos métodos tienen la ventaja de que una vez que se carga la muestra al sistema nos da las lecturas de las concentraciones de manera automática y en tiempo real.

Los equipos disponibles se clasifican en: analizadores automáticos y monitores de partículas. Los analizadores automáticos se usan para determinar la concentración de gases contaminantes en el aire, basándose en las propiedades físicas y/o químicas de los mismos. Los monitores de partículas se utilizan para determinar la concentración de partículas suspendidas principalmente PM₁₀ y PM_{2.5}. Ver Figura N° 17.

Figura N° 17 Monitor automático para gases criterio



2.8.3 Método óptico de percepción remota

Los métodos ópticos de percepción remota, se basan en técnicas espectroscópicas.

Transmiten un haz de luz de una cierta longitud de onda a la atmósfera y miden la energía absorbida. Con ellos es posible hacer mediciones, en tiempo real, de la concentración de diversos contaminantes. A diferencia de los monitores automáticos, que proporcionan mediciones de un contaminante en un punto determinado en el espacio, pueden proporcionar mediciones integradas de multicomponentes a lo largo de una trayectoria específica en la atmósfera (normalmente mayor a 100 m), y sistemas más complejos, pueden hasta proveer mediciones con rangos de resolución a lo largo de la trayectoria.

Se han llegado a detectar por ejemplo hasta 5 ppb de SO₂, en un patrón de 1 km. Sistemas móviles pueden proporcionar mapas tridimensionales detallados de concentraciones de contaminantes dentro de un área por un período de tiempo limitado.

Algunos de estos controles remotos se han llevado a cabo por medio de instrumentos montados en aviones o en satélites, cuyos métodos incluyen el uso de correlaciones espectrométricas, el reflejo de la luz solar en las partículas de los aerosoles, absorción infrarroja y emisión espectroscópica, láser de color y de inducción infrarroja fluorescente y la aplicación de técnicas astronómicas.

Las aplicaciones de los sensores remotos son muy especializadas y particularmente se utilizan para investigaciones cerca de las fuentes de emisión, en las plumas de las chimeneas y para mediciones verticales de contaminantes gaseosos y aerosoles en la atmósfera, como la investigación de la distribución del ozono en la troposfera y en la estratosfera. Sin embargo, desde un punto de vista comercial son instrumentos muy caros y extremadamente complejos, y presentan además dificultades con la validación de sus datos, niveles de confianza y calibración. Se requiere de un gran esfuerzo especializado y cuidadoso control de calidad para operar exitosamente estos sistemas y producir datos confiables. Ver Figura N° 18.

Figura N° 18 Mediciones desde base en tierra, LIDAR



2.8.4 Muestreo con Bioindicadores

Este método implica el uso de especies vivas generalmente vegetales, como árboles y plantas, donde su superficie funge como receptora de contaminantes. Sin embargo, a pesar de que se han desarrollado guías sobre estas metodologías, todavía quedan problemas no resueltos en cuanto a la estandarización y armonización de estas técnicas.

Se ha mostrado gran interés en el uso de bioindicadores para estimar algunos factores ambientales entre los que se incluye la calidad del aire, particularmente en la investigación de sus efectos. Tal es el caso del uso de la capacidad de la planta para acumular contaminantes o la estimación de los efectos de los contaminantes en el metabolismo de la planta, o en la apariencia de la misma, entre otros.

2.8.5 Muestreadores pasivos

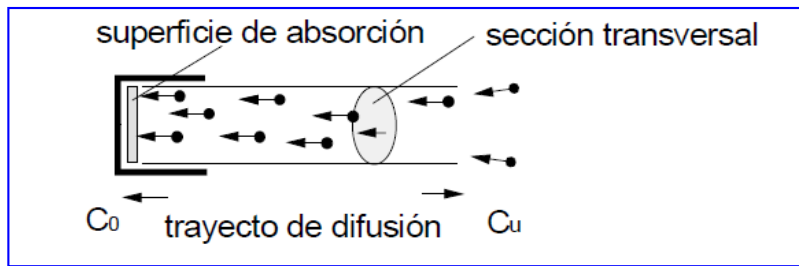
Son dispositivos que mediante absorción y adsorción en un sustrato químico captan un contaminante específico del aire durante un tiempo determinado, posteriormente se traslada la muestra a un laboratorio para realizar la desorción de la sustancia y determinar la concentración promedio. Tienen como ventajas la simplicidad y el bajo costo, entre los contaminantes que se pueden determinar con esta técnica están el dióxido de nitrógeno, el dióxido de azufre, compuestos orgánicos volátiles, ozono y amoníaco (PNUMA/OMS, 2002).

2.8.5.1 Tubos Pasivos de Difusión

Los tubos pasivos miden la contaminación del aire recolectado por su difusión en un medio absorbente. Los contaminantes presentes en el aire son determinados por análisis utilizando técnicas estándares tales como espectrofotometría, cromatografía gaseosa o cromatografía iónica. La fuerza impulsora es el gradiente entre el aire circundante y la superficie de absorción, donde la concentración del contaminante es cero.

Este movimiento se puede expresar por la ley de Fick donde el diámetro, largo del tubo y coeficiente de difusión son constantes para un sistema de muestreo y expresan cantidad relativa de muestreo del muestreador pasivo. (Walsh). Los captadores difusivos de gases se rigen por la **Ley de Fick** que relaciona el flujo de gas que difunde desde una región de alta concentración (externo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante (Delgado, 2004). Ver Figura N° 19.

Figura N° 19 Principio de la difusión



Fuente: Klepel, 2009

$$\text{Concentración } C = \frac{I * Q_1}{D * A * t}$$

C: Concentración (ug/m³)

A: Sección transversal (cm²)

Q₁: Cantidad absorbida (ug)

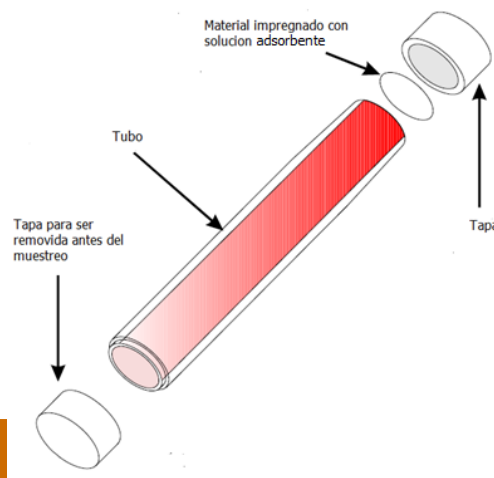
D: Coeficiente de difusión (cm²/seg)

I: Ruta de difusión (cm)

t: Tiempo de exposición (seg)

Los componentes típicos de los dispositivos de difusión pasiva tipo tubo consisten en un tubo, dos tapas y una membrana impregnada con la solución adsorbente. Ver Figura N° 20.

Figura N° 20 Componentes de un tubo de difusión pasiva



2.8.5.1.1 Muestreadores pasivos para el dióxido de azufre

El muestreador pasivo para dióxido de azufre está basado en el principio de la difusión molecular pasiva de dióxido de azufre hacia un medio absorbente en este caso de carbonato de potasio y de glicerina.

Los muestreadores utilizados consisten en un estuche de polipropileno con una apertura de 20 mm de diámetro. Para disminuir la influencia del viento se fija una membrana sostenida por una red metálica.

La cantidad de dióxido de azufre absorbida es proporcional a la concentración en el ambiente. Después de un cierto tiempo de exposición se extrae la cantidad total de dióxido de azufre y se determina por cromatografía iónica. Ver Figura N° 21.

Figura N° 21 Muestreador pasivo para dióxido de azufre (SO₂)



Fuente: Propia.

Los valores límites o las recomendaciones para el dióxido de azufre son fijadas de manera diferente según el país. Ver Cuadro N° 3.

Cuadro N° 21 Valores límites para SO₂

PAÍS	ECA
Perú	20 µg/m ³
Suiza	30 µg/m ³
EEC	20 µg/m ³
OMS	20 µg/m ³ (24horas)

2.8.5.1.2. Muestreadores pasivos para el dióxido de nitrógeno

El muestreador está basado en el principio de difusión molecular de dióxido de nitrógeno hacia un medio absorbente, en este caso de trietanolamina. El muestreador consiste en un tubo de polipropileno de 7.4 cm de largo y de 9.5 mm de diámetro interno. Los muestreadores se colocan en un dispositivo especial, para protegerlos de la lluvia y minimizar la influencia del viento.

La cantidad de dióxido de nitrógeno absorbida es proporcional a la concentración en el medio ambiente. Después de un cierto tiempo de exposición se extrae la cantidad total de dióxido de nitrógeno que se determina según la reacción Saltzman a 540nm utilizando un espectrofotómetro. Ver Figura N° 22.

Figura N° 22 Muestreador pasivo para dióxido de nitrógeno



Fuente: Propia.

Los valores límites anuales para el dióxido de nitrógeno son fijados de manera diferente según el país. Ver Cuadro N° 4.

Cuadro N° 22 Valores límites para NO₂

PAÍS	ECA
Perú	100 µg/m ³
Suiza	30 µg/m ³
Unión Europea, OMS/CEE	40 µg/m ³ (media anual)

2.8.6. Comparación entre métodos de medición de la calidad del aire

A continuación se presentan las ventajas y desventajas en los métodos de medición de la calidad del aire. Ver Cuadro N° 23.

Cuadro N° 23 Ventajas y Desventajas de los métodos de medición de la calidad del aire

METODOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Muestreadores Pasivos	Muy bajo costo. Muy simples. Útiles para cribado y estudios de base.	-No probado para algunos contaminantes. -En general sólo proveen promedios semanales y mensuales. -Requieren análisis de laboratorio.
Muestreadores Activos	Bajo costo. Fácil es de operar. Confiables en: operación y funcionamiento. Historia de bases de datos.	-Proporciona concentraciones pico o de alerta. -Trabajo intensivo. -Requieren análisis de laboratorio.
Monitores Automáticos	Alto funcionamiento comprobado. Datos horarios. Información online y bajos costos directos.	-Complejo. -Caro. -Requiere técnicos calificados. -Altos costos periódicos de operación.
Sensores Remotos	Proporcionan patrones de resolución de datos. Útiles cerca de fuentes y para mediciones verticales en la atmósfera. Mediciones de multicomponentes.	-Muy complejos y caros. -Difíciles de operar, calibrar y validar. -No son siempre comparables con los analizadores convencionales.
Bioindicadores	Baratos. Útiles para identificar la presencia de algunos contaminantes.	-Problemas en la estandarización de sus metodologías y otros inherentes a los procedimientos. -Algunos requieren análisis de laboratorio.

Fuente: Jorquera - USEPA, 2010

2.9 Incertidumbre de Difusión pasiva

Para calcular la incertidumbre de la medición con tubos pasivos, se parte de la siguiente función matemática:

$$\text{Concentración} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = \frac{m_d - m_b}{TR * t}$$

En la que

m_d : Masa de la sustancia desorbida (μg)

m_b : Blanco (μg)

TR: Tasa de recolección difusiva (ml/min)

t : Tiempo de exposición (min)

A partir de la función matemática se definen los parámetros de entrada y sus respectivas incertidumbres (abreviación u, por su sigla en inglés):

u_{md} : La determinación analítica de la masa de la sustancia desorbida. La incertidumbre estándar se puede caracterizar mediante la desviación estándar de la función de calibración.

u_{mb} : La variación de los blancos se tiene que sumar a u_{md} en términos absolutos.

u_{TR} : La variación de este parámetro está dada por repetidos experimentos de verificación en atmósferas estándares.

u_t : Este parámetro se debe considerar únicamente si el tiempo de exposición es menor a una semana.

Se debe introducir un parámetro adicional, el cual cubre la incertidumbre de mediciones repetidas, factores micro-ambientales, la variación de la geometría de los tubos pasivos etc.

u_P : Este parámetro está determinado por la triple exposición (tres tubos en un sitio).

u_{ext} : Este parámetro se tiene que tomar en cuenta en caso de exposición del dispositivo en condiciones extremas. El parámetro se tiene que estimar.

Los parámetros de entrada forma luego el catálogo de incertidumbres. Ver Tabla N° 4.

Tabla N° 4 Catálogo de incertidumbres para la medición de la calidad del aire mediante Tubos Pasivos.

Fuentes de incertidumbre	Aporte a incertidumbre
Tasa de recolección difusiva	u_{TR}
Pérdida de peso del tubo de permeación	X
Medición del flujo	X
Absorción en paredes de la cámara	X
Repetibilidad	XXX
Toma de muestra	u_p
Largo del tubo	X
Volumen del tubo	X
Precisión de la medición	XX
Análisis en laboratorio	u_{md}
Función de calibración	XXX
Reactivos básicos	X
Cristalería, jeringas, pipetas	X
Aparatos analíticos	X
Operador	
Balanza	X
Reproducibilidad	X
Blancos	u_{mb}
Blancos de laboratorio	X
Blancos de campo	X
Durabilidad de la muestra almacenada	X
Tiempo de vida de dispositivo pasivo	X
Tiempo de exposición	u_t
Toma de tiempo	X
Influencias externas	u_{ext}
Temperatura	X
Humedad	X
Velocidad de viento	XX
Interferencias	

Fuente: Catálogo de incertidumbres para la medición de la calidad del aire.

Una vez obtenido el catálogo de incertidumbres (véase tabla 5), se puede calcular la incertidumbre combinada U_k y posteriormente – aplicando el valor 2 como factor de cobertura – también la incertidumbre expandida U_e.

$$U_k = \sqrt{u_{TR}^2 + u_{md}^2 + u_{mb}^2 + u_p^2 + u_t^2 + u_{ext}^2}$$

$$U_e = 2 \cdot \sqrt{u_{TR}^2 + u_{md}^2 + u_{mb}^2 + u_p^2 + u_t^2 + u_{ext}^2}$$

El cálculo de las incertidumbres expandidas para varios tubos pasivos da los resultados expuestos en tabla N° 5 - 6.

Tabla N° 5 Incertidumbres expandidas para los tubos pasivos de Passam S.A., 2001

Contaminante	Rango de Concentración (µg/m ³)	Incertidumbre expandida
NO ₂	<40	20%
	>40	19%
SO ₂	<10	56%
	>20	29%

Fuente: Passam, 2001

Tabla N° 6 Incertidumbres expandidas para los tubos pasivos de Passam S.A., 2004

Contaminante	Rango de Concentración (µg/m ³)	Incertidumbre expandida
NO ₂	<10	26.0%
	20-40	22.6%
	>40	21.9%
SO ₂	<10	38.8%
	20-40	29.6%
	>40	25.4%

Fuente: Passam, 2004

Es de considerar que la incertidumbre depende de la exactitud del trabajo tanto en el laboratorio como en el campo, y por lo tanto puede variar de un año al otro y de un estudio al otro.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. MATERIALES

- ♦ **Tubos Pasivos Passam para NO₂ y SO₂**

Se utilizaron los tubos pasivos Passam, para medir las concentraciones de SO₂ y NO₂, en la que se colocaron por duplicado para cada parámetro, dentro de los porta tubos, en los puntos de muestreo correspondiente.

Los tubos pasivos fueron desarrollados en el Federal Institute of Technology, Zurich (Suiza), por el Dr. Markus Hangartner, permiten medir contaminantes como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, ozono, BTX, sulfuro de hidrógeno y amoníaco.

- ♦ **Porta tubos pasivos**

Los porta tubos pasivos sirven de soporte para proteger el tubo pasivo contra influencias del clima, así como la reducción del disturbio del viento a un mínimo.

- ♦ **Cintilla de plástico**

Se usó para sujetar los porta tubos, que fueron instalados en los postes de alumbrado público.

- ♦ **Escalera retráctil de aluminio**

La escalera sirvió para colocar los porta tubos pasivos en los puntos de muestreo (postes de alumbrado público), a una altura de 3 m aproximadamente.

- ♦ **Libreta de campo**

Se utilizó para realizar anotaciones cuando se ejecutó la salida de campo.

- ♦ **Tableros de apuntes**

Se utilizó tableros de madera que sirvieron de soporte para los formatos y documentos trabajados en campo, como el conteo del flujo vehicular.

- ♦ **Folder manila**

Se utilizó para la protección y el transporte de documentos.

- ♦ **Plano catastral del distrito de Cercado de Lima (Escala 1:7000)**

Se usó para realizar un diagnóstico de los puntos de muestreo a considerar.

- ♦ **Hojas Bond**

Material utilizado en la planificación, desarrollo e informe final de la investigación.

- ♦ **Trípode**

Se utilizaron trípodes para el soporte de las cámaras filmadoras, para grabar simultáneamente el paso de los vehículos por cada punto de conteo en las plazas históricas.

- ♦ **Lapiceros**

Se utilizaron para realizar las anotaciones.

3.1.2. EQUIPOS

Son parte de los equipos básicos para el trabajo en campo, así como para el procesamiento de la información en el gabinete.

- ♦ **GPS (Garmin etrex 30)**

Se utilizó para ubicar las coordenadas en cada punto de muestreo.

- ♦ **Cámara Digital Nikon (COOLPIX 16 megapíxeles)**

Se utilizó para el registro fotográfico y además para realizar grabaciones en el trabajo de campo.

- ♦ **Camioneta Panel CHEVROLET**

Se utilizó para el traslado de la escalera retráctil de aluminio en cada punto de muestreo de las plazas históricas. (Tanto para la instalación de los porta tubos pasivos, como para la desinstalación, al cabo de un mes aproximadamente), transporte de materiales y el equipo colaborador.

- ♦ **Computadora Corel Dúo**

Se utilizó para la redacción del presente trabajo de investigación, así como para elaborar los mapas correspondientes.

- ♦ **Impresora HP Deskjet 3050 (Formato A4 y A3)**

Se utilizó para la impresión del trabajo de investigación, así como de los mapas elaborados.

3.1.3 SOFTWARE

Se utilizaron los siguientes softwares:

- ♦ **AutoCAD 2014**

Se realizó los croquis de ubicación de las plazas históricas, con sus respectivos puntos de conteo de vehículos.

- ♦ **ArcGIS 10.2**

Se utilizó el ArcGis 10.2, para elaborar mapas de Isolíneas de concentración de SO₂ y NO₂, y así analizar el comportamiento espacial de dichos parámetros.

- ♦ **Microsoft Excel 2014**

Se utilizó el programa para procesar datos, así como realizar los gráficos correspondientes del flujo vehicular que circulan en las plazas y las concentraciones de los parámetros evaluados.

- ♦ **Microsoft Word 2014**

Se utilizó para redactar el presente trabajo de investigación.

- ♦ **Google Maps**

Se utilizó la imagen para sobreponer en el AutoCAD 2014, y así realizar los croquis de ubicación de las plazas históricas.

- ♦ **WRPLOT View – Freeware 7.0**

Se utilizó el siguiente programa para realizar el comportamiento de los vientos, mediante la representación de Rosa de Vientos, para ello se tomó datos de la dirección y velocidad de vientos de la Estación Meteorológica VILLARREAL – FIGAE y Campo de Marte – SENAMHI, durante el periodo de muestreo de enero y febrero del 2016.

- ♦ **Google Earth**

Se exportó la Rosa de vientos de WRPLOT a Google Earth, para poder visualizar la dirección del viento en la zona de estudio.

3.2 MÉTODOS

A continuación se describe el método utilizado para el desarrollo de la investigación.

3.2.1 Diseño y Tipo de Investigación

En el presente trabajo de investigación se detallan los procedimientos que se desarrollaron para evaluar la calidad del aire por NO₂ y SO₂ mediante el método de difusión pasiva, la cual abarca diseño, tipo y nivel de la investigación:

- ♦ **Diseño: No experimental**, porque no se manipularon las variables del estudio.
- ♦ **Tipo de Investigación: Empírica**, ya que se realizó en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio.
- ♦ **Nivel: Descriptiva**, porque se describió el estudio en una circunstancia temporal-espacial determinado.

3.2.2 Tipo de Muestreo

3.2.2.1 Muestreo no Probabilístico (por conveniencia).

Los puntos de muestreo fueron seleccionados a criterio del investigador.

3.2.3 Unidad de Análisis

Se tomó como unidad de análisis la concentración de SO₂ y NO₂.

3.2.4 Delimitación Temporal

El desarrollo del presente trabajo de investigación fue llevado a cabo por un período de un año y seis meses (Enero del 2015 hasta Julio del 2016), desde la búsqueda de la información, gestiones para la adquisición de los muestreadores pasivos, hasta la presentación final del informe de tesis. Con respecto al período de muestreo fue durante un mes aprox. (entre Enero – Febrero del 2016).

3.2.5 Delimitación Espacial

La investigación se realizó en las siguientes plazas históricas: plaza Dos de Mayo, plaza Bolognesi, plaza San Martín y Parque Universitario con la Av. Abancay, ubicados en el Cercado de Lima.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.3.1. Ubicación política y geográfica

La presente investigación se realizó en el distrito del Cercado de Lima, que se encuentra ubicado políticamente en la región Lima, provincia de Lima.

El área de estudio específicamente comprende principalmente las plazas históricas: Plaza Dos de Mayo, Plaza Bolognesi, Plaza San Martín y Parque Universitario, en donde se realizó la evaluación de la calidad del aire mediante el método de difusión pasiva para determinar la concentración de NO₂ y SO₂. Ver Cuadro N° 24.

Cuadro N° 24 Ubicación de los Puntos de Muestreo Pasivo

N° de Punto	Ubicación
01	Plaza Dos de Mayo
02	Plaza Bolognesi
03	Plaza San Martín
04	Parque Universitario

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Datos generales del distrito de Cercado de Lima

- ♦ **Dispositivo de Creación** : Ley N° 27972
- ♦ **Fecha de Creación** : 27/05/2003
- ♦ **Altura (m.s.n.m)** : 161 msnm
- ♦ **Superficie** : 21.98 km²
- ♦ **Densidad Poblacional** : 34703 hab./km²
- ♦ **Población** : 271 814 habitantes

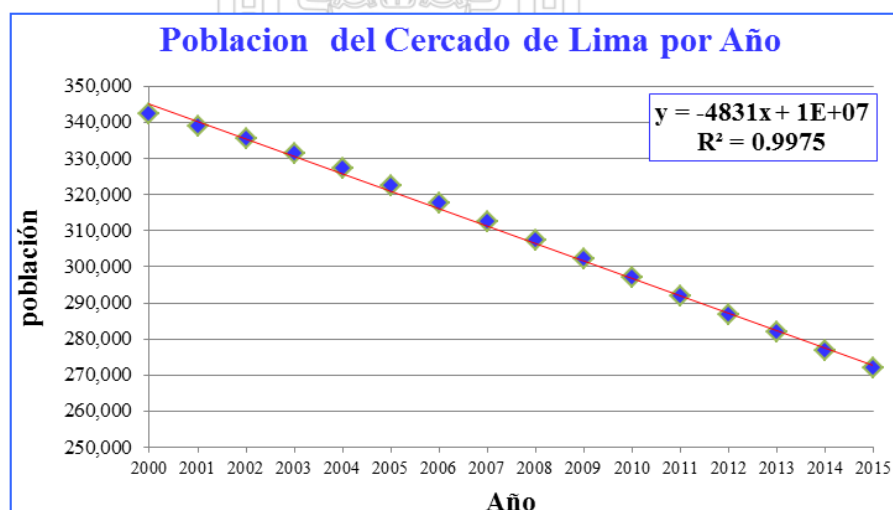
En la actualidad el Cercado de Lima, cuenta con una población de 271 814 habitantes, tal como señala el INEI, en su página web institucional. Es pertinente señalar, que de acuerdo a la misma fuente, la población de dicho distrito ha venido descendiendo constantemente, tal como puede observarse en el siguiente cuadro. Ver Cuadro N° 25 y Gráfico N° 1.

Cuadro N° 25 Población del Distrito del Cercado de Lima por año.

Año	Población
2000	342,476
2001	339,050
2002	335,342
2003	331,360
2004	327,110
2005	322,597
2006	317,755
2007	312,618
2008	307,339
2009	302,056
2010	296,890
2011	291,849
2012	286,849
2013	281,861
2014	276,857
2015	271,814

Fuente: INEI

Gráfico N° 1 Población del Distrito de Cercado de Lima por año



Fuente: Elaboración propia.

Áreas Verdes del Cercado de Lima: según el Instituto Nacional de Estadística e Informática-Registro Nacional de Municipalidades, el Cercado de Lima tiene 657 001m² de áreas verdes. Ver Tabla N° 7.

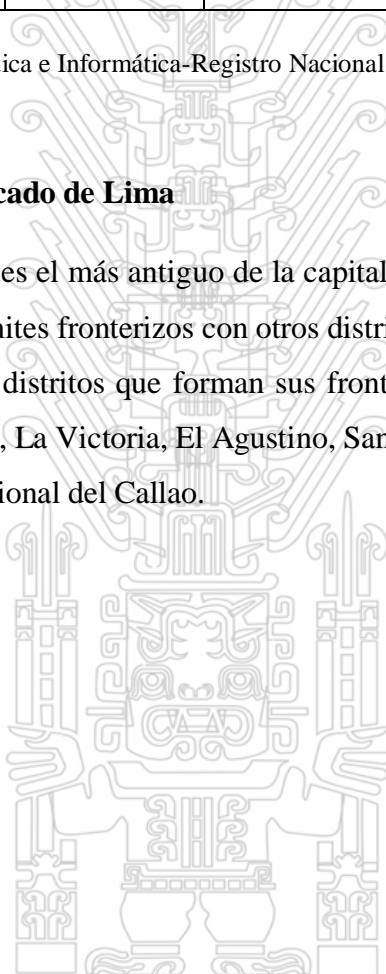
Tabla N° 7 Áreas verdes por tipo, 2010

Distrito	Tipo de Área				
	Plazas	Parques	Jardines y óvalos	Bermas	Total
Lima	37 514	353 852	45 403	220 232	657 001

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática-Registro Nacional de Municipalidades

3.3.3. Límites del distrito Cercado de Lima

El distrito de 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.



3.4 PROCEDIMIENTOS

3.4.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN Y UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.

♦ Primer paso

Se identificaron las plazas históricas del Cercado de Lima, para ello se planificó y realizó un diagnóstico para la elección de los puntos de muestreo.

Las plazas elegidas fueron:

- Plaza Dos de Mayo
- Plaza Bolognesi
- Plaza San Martín
- Parque universitario

♦ Segundo paso

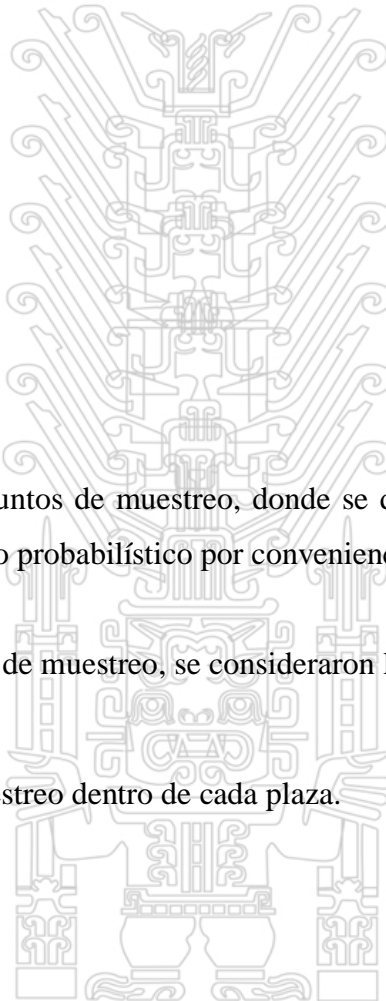
Se determinó la cantidad de puntos de muestreo, donde se designó un punto por cada plaza elegida, utilizando el método no probabilístico por conveniencia. (Ver Anexo 1)

Para la ubicación de los puntos de muestreo, se consideraron los siguientes criterios:

- Acceso al punto de muestreo dentro de cada plaza.
- La dirección del viento.
- Libre de obstáculos.

♦ Tercer paso

Se tomaron las coordenadas de ubicación de cada punto de muestreo mediante un GPS y fueron registradas en una libreta de campo. (Ver Anexo 2)



3.4.2. ETAPA 2: CUANTIFICACIÓN DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS QUE CIRCULAN POR CADA PLAZA.

♦ Primer paso

Para cuantificar el número de vehículos que circulan por cada plaza, se realizó un **estudio observacional** del desplazamiento vehicular, para ello se estableció puntos de conteos (de 2 a 4 puntos) en cada plaza, de manera que no se repitan dos veces, el paso de los vehículos por un mismo punto. (Ver Anexo 3- 6)

♦ Segundo paso

Se cuantificó el número de vehículos que circulan por cada plaza (en los puntos de conteo establecidos), tres días por semana, durante un mes, con la ayuda de dos colaboradores por cada punto de conteo. (Ver Anexo 7)

El conteo fue realizado en dos horarios: mañana (9:00 a. m. – 10:00 a. m.) y tarde (4:00 p. m. – 5:00 p. m.).

Se registró el número de vehículos (entre pesados, livianos y menores), con ayuda de un formato diseñado por el método de palotes. (Ver Anexo 8).

Las categorías de vehículos considerados fueron 3 y se describen a continuación

- **Vehículos livianos:** Automóvil (particular), Station Wagon (taxis), Pick up (cuatro por cuatro), Camioneta rural (combis), Camioneta Panel (carga ligera) y Microbús.
- **Vehículos pesados:** Camión Remolcador (tráiler), ómnibus y Camión (carga pesada)
- **Vehículos menores:** Motos lineales, Moto taxi y trimotos de carga.

3.4.3. ETAPA 3: PROCEDIMIENTOS PARA LA ADQUISICIÓN E INSTALACIÓN DE MUESTREADORES PASIVOS DE NO₂ Y SO₂ EN LOS PUNTOS DE MUESTREO.

♦ Primer paso

Se gestionó la adquisición de los materiales de muestreo (12 tubos de difusión pasiva para NO₂ y 12 para SO₂), además de 6 porta tubos pasivos a la empresa Klepel Consulting SAC. (Ver Anexo 9-10)

♦ Segundo paso

Se gestionó el permiso al Alcalde de la Municipalidad Metropolitana de Lima, el Dr. Luis Castañeda Lossio, para instalar los muestreadores pasivos en los postes de alumbrado público dentro de las plazas establecidas en el Cercado de Lima. (Ver Anexo 11).

♦ Tercer paso

Se realizó la adquisición de materiales para la instalación de los muestreadores (Cintilla de plástico, escalera retráctil de aluminio entre otros.). Ver Figura N° 23.

Figura N° 23 Escalera retráctil de aluminio



♦ Cuarto paso

Se realizó el alquiler de una camioneta panel para el traslado de los materiales (escalera, cintilla, wincha, cámara y otros) y colaboradores para la instalación de los porta tubos pasivos en los puntos establecidos en cada plaza. Ver Figura N° 24.

Figura N° 24 Camioneta Panel CHEVROLET con la escalera retráctil de aluminio



Fuente: Propia.

♦ **Quinto paso**

Se prepararon los porta tubos, colocando en su interior 2 tubos de difusión pasiva de NO₂ y 2 de SO₂, con el fin de hallar una mejor estimación de la concentración media de los resultados por cada punto. Ver Figura N° 25.

Figura N° 25 Tubos pasivos para SO₂ y NO₂ instalados en el Porta tubo.



Fuente: Propia.

♦ **Sexto paso**

Se instaló los porta tubos pasivos a una altura de 3 m, en los postes de alumbrado público, en los puntos establecidos de cada una de las plazas, llenando la hoja de custodia respectiva por cada punto, en el cual se anotó la hora, la fecha inicial, el código Passam y el lugar de muestreo a través de un código designado a cada punto de muestreo. (Ver Anexo 12 - 14).

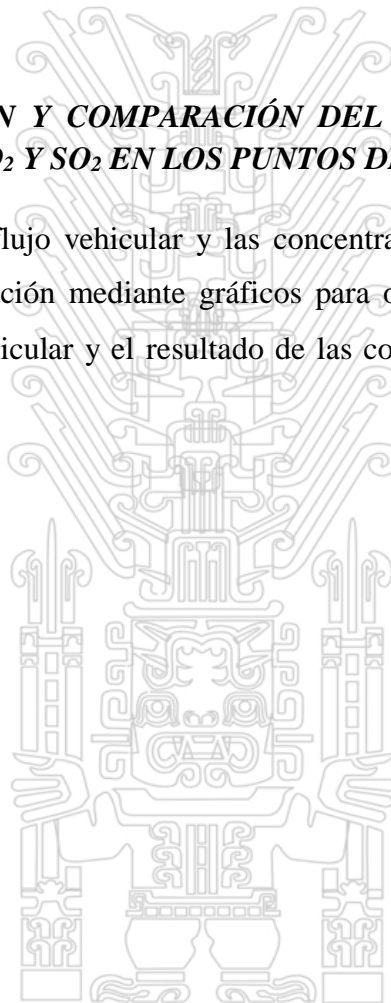
♦ **Séptimo paso**

Se procedió a retirar los porta tubos pasivos después de un período de un mes aproximadamente, para lo cual se utilizó la camioneta panel en el traslado de materiales y el equipo de investigación (tesista y colaboradores).

Después de retirar todos los equipos muestreadores (portatubos y tubos de difusión pasiva), se procedió a separar los tubos de NO₂ y SO₂ en una caja correspondiente para cada parámetro, trasladándolo a la empresa Klepel Consulting SAC para su envío al laboratorio Passam AG de Suiza, y su posterior análisis.

3.4.4. ETAPA 4: RELACIÓN Y COMPARACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR VS LA CONCENTRACIÓN DEL NO₂ Y SO₂ EN LOS PUNTOS DE ESTUDIO

Con los datos obtenidos del flujo vehicular y las concentraciones de SO₂ y NO₂ en cada plaza, se realizó una comparación mediante gráficos para observar la diferencia y relación entre la cantidad del flujo vehicular y el resultado de las concentraciones obtenidas en cada plaza.



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

4.1.1. Punto 01: Plaza Dos de Mayo

La Plaza Dos de Mayo está ubicada en la ciudad de Lima, en el cruce formado por las avenidas Oscar R. Benavides, Alfonso Ugarte y Colmena. Se alza allí el llamado “Monumento a la Victoria del 2 de mayo”, pues dicho combate es festejado en el Perú como un triunfo de sus armas, en el marco de la guerra hispano-sudamericana.

Ubicación:

El punto de muestreo se situó en un poste de alumbrado público, dentro de la Plaza Dos de Mayo, en la que se utilizó un navegador GPS Garmin etrex 30, para la ubicación de las coordenadas UTM WGS 84. Ver Cuadro N° 26 – 27 y Figura N° 26.

Cuadro N° 26 Coordenadas UTM de la Plaza Dos de Mayo

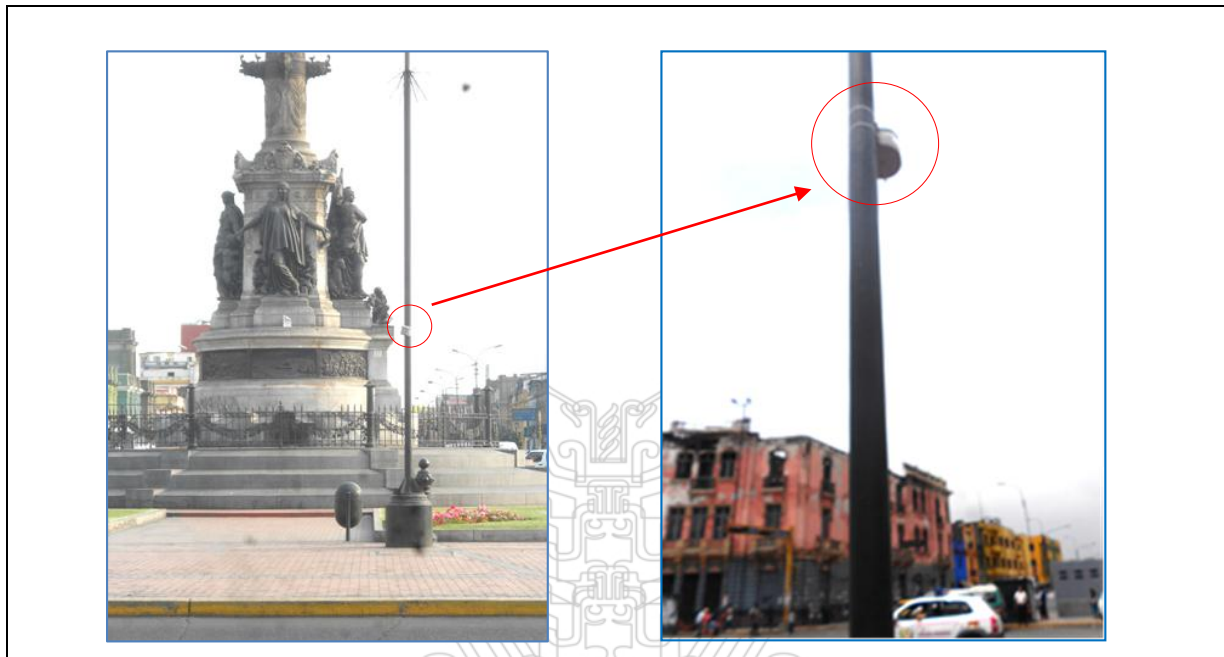
Coordenadas UTM	
Norte	8667888.147 N
Este	277841.722 E
Altitud	156 msnm
Precisión	± 6m

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 26 Fotografía de la Plaza Dos de Mayo



Cuadro N° 27 Características del punto de muestreo de la Plaza Dos de Mayo (PD1)



CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MUESTREO

Categoría	<input type="checkbox"/> Centro Urbano	<input checked="" type="checkbox"/> Zona Comercial
Descripción	Este punto fue ubicado dentro de la plaza histórica Dos de Mayo. Esta zona es altamente transitada y de tráfico vehicular público y privado, reúne la confluencia de varias vías como son la Av. Alfonso Ugarte, Av Oscar R. Benavides, Avenida Nicolás de Piérola, Jirón Moquegua y Francisco Retes.	
Tipos de tráfico	<input type="checkbox"/> Ligero	<input checked="" type="checkbox"/> Mediano <input type="checkbox"/> Intenso
Vehículos	<input checked="" type="checkbox"/> Liviano	<input checked="" type="checkbox"/> Pesados <input checked="" type="checkbox"/> Menores
Velocidad aproximada (km/h):	40 km/h	

LOCALIZACIÓN DEL MUESTREADOR PASIVO

Altura desde el suelo	3.80 m
Distancia de la pista	11.80 m
Tipo de soporte	Poste de luz metálico.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Fuente: Elaboración Propia

UNFV

4.1.2 Punto 02: Plaza Bolognesi

La Plaza Bolognesi es un óvalo ubicado entre Cercado de Lima y Distrito de Breña. Se ubica en la intersección de las avenidas Brasil, Arica, Alfonso Ugarte, Guzmán Blanco, 9 de Diciembre y el jirón Paraguay.

Nombrado en honor del héroe nacional, coronel Francisco Bolognesi, quien participó en la batalla de Arica durante la Guerra con Chile. Se celebra en la plaza de forma exclusiva, la ceremonia del Día de la Bandera del Perú (7 de junio), que fue inaugurada el 6 de noviembre de 1905.

Ubicación:

El punto de muestreo se situó en un poste de alumbrado público, que se encuentra dentro de la Plaza Bolognesi, en la que se utilizó un navegador GPS Garmin etrex 30, para la ubicación de las coordenadas UTM WGS 84. Ver Cuadro N° 28 – 29 y Figura N° 27.

Cuadro N° 28 Coordenadas UTM de la Plaza Bolognesi

Coordenadas UTM	
Norte	8666331,114 N
Este	277997.271 E
Altitud	174 msnm
Precisión	± 8m

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 27 Fotografía de la Plaza Bolognesi



Fuente: Propia

Tesis del autor
No puede citar esta tesis

UNFV

Cuadro N° 29 Características del punto de muestreo de la Plaza Bolognesi (PB1)

	
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MUESTREO	
Categoría	<input type="checkbox"/> Centro Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Zona Comercial
Descripción	<p>Fue ubicado dentro de la plaza histórica Bolognesi. El entorno estuvo constituido sobre vías transitadas por transporte público y privado en ambos sentidos y se ubica en la intersección de las avenidas Alfonso Ugarte, Brasil, Arica, Guzmán Blanco y 9 de Diciembre, y el jirón Paraguay.</p>
Tipos de tráfico	<input type="checkbox"/> Ligerio <input checked="" type="checkbox"/> Mediano <input type="checkbox"/> Intenso
Vehículos	<input checked="" type="checkbox"/> Liviano <input checked="" type="checkbox"/> Pesados <input checked="" type="checkbox"/> Menores
Velocidad aproximada (km/h):	45 km/h
LOCALIZACIÓN DEL MUESTREADOR PASIVO	
Altura desde el suelo	3.45 m
Distancia de la pista	25.2 m
Tipo de soporte	Poste metálico con base de cemento.

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3 Punto 03: Plaza San Martín

La Plaza San Martín está ubicada en la cuadra 9 de la Avenida Nicolás de Piérola, pertenece al centro histórico de Lima, se localiza dentro del área declarada por la Unesco (1988), como Patrimonio de la Humanidad. Su monumento central está hecho en homenaje al libertador don José de San Martín.

Ubicación:

El punto de muestreo se situó en un poste de alumbrado público, que se encuentra dentro de la Plaza San Martín, en la que se utilizó un navegador GPS Garmin etrex 30, para la ubicación de las coordenadas UTM WGS 84. Ver Cuadro N° 30 – 31 y Figura N° 28.

Cuadro N° 30 Coordenadas UTM de la Plaza San Martín

Coordenadas UTM	
Norte	8667246.395 N
Este	278786.968 E
Altitud	167 msnm
Precisión	± 8m


Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 28 Fotografía de la Plaza San Martín



Fuente: Propia

Cuadro N° 31 Características del punto de muestreo de la Plaza San Martín (PSM1)

	
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MUESTREO	
Categoría	<input type="checkbox"/> Centro Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Zona Comercial
Descripción	Fue ubicado dentro de la plaza histórica San Martín, entre la Avenida Nicolás de Piérola y Jirón Carabaya, en la que circulan se observa un reducido flujo vehicular y la presencia constante de transeúntes.
Tipos de tráfico	<input checked="" type="checkbox"/> Ligero <input type="checkbox"/> Mediano <input type="checkbox"/> Intenso
Vehículos	<input checked="" type="checkbox"/> Liviano <input type="checkbox"/> Pesados <input checked="" type="checkbox"/> Menores
Velocidad aproximada (km/h):	20 km/h
LOCALIZACIÓN DEL MUESTREADOR PASIVO	
Altura desde el suelo	4.90 m
Distancia de la pista	11.70 m
Tipo de soporte	Poste de cemento

Fuente: Elaboración Propia

4.1.4 Punto 04: Parque Universitario

El Parque Universitario está ubicado en el centro histórico de la ciudad de Lima. Es de forma rectangular y se encuentra en la intersección de las avenidas Abancay y Nicolás de Piérola.

Recibe su nombre por encontrarse ahí la histórica sede de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos -considerada la más antigua de América-, también conocida como la «Casona» y que hasta las últimas décadas del siglo XIX fuera local del virreinal Convictorio de San Carlos (actualmente es un centro cultural).

Ubicación:

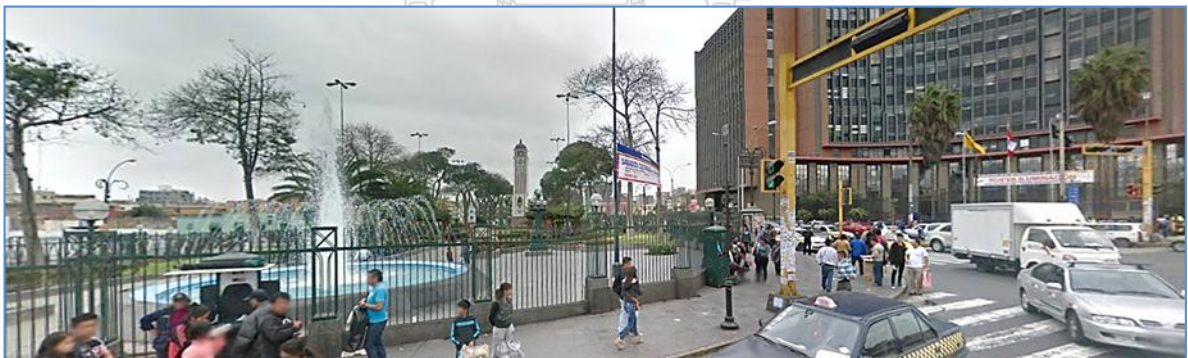
El punto de muestreo se situó en un poste de alumbrado público, que se encuentra afuera del Parque Universitario, esquina cruce con la Av. Abancay, en la que se utilizó un navegador GPS Garmin etrex 30, para la ubicación de las coordenadas UTM WGS 84. Ver Cuadro N° 32 – 33 y Figura N° 29.

Cuadro N° 32 Coordenadas UTM del Parque Universitario

Coordenadas UTM	
Norte	8666958.340 N
Este	279202.656 E
Altitud	173 msnm
Precisión	± 8m

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 29 Fotografía del Parque Universitario



Fuente: Propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

Cuadro N° 33 Características del punto de muestreo del Parque Universitario (PU1)

	
CARACTERÍSTICAS DEL PUNTO DE MUESTREO	
Categoría	<input type="checkbox"/> Centro Urbano <input checked="" type="checkbox"/> Zona Comercial
Descripción	Zona comercial fuerte, Avenida amplia (2 x 3 carriles) cerca del parque Universitario entre la Avenida Nicolás de Piérola y la Avenida Abancay.
Tipos de tráfico	<input type="checkbox"/> Ligero <input checked="" type="checkbox"/> Mediano <input type="checkbox"/> Intenso
Vehículos	<input checked="" type="checkbox"/> Liviano <input checked="" type="checkbox"/> Pesados <input checked="" type="checkbox"/> Menores
Velocidad aproximada (km/h):	40 km/h
LOCALIZACIÓN DEL MUESTREADOR PASIVO	
Altura desde el suelo	3.20 m
Distancia de la pista	1 m
Tipo de soporte	Poste metálico (Letrero de señalización)

Fuente: Elaboración Propia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.2 RESULTADOS DEL FLUJO VEHICULAR POR PUNTOS DE MUESTREO

Los resultados del conteo vehicular fueron realizados por cada plaza, descritos en los procedimientos establecidos para la investigación.

4.2.1 Flujo vehicular en la Plaza Dos de Mayo

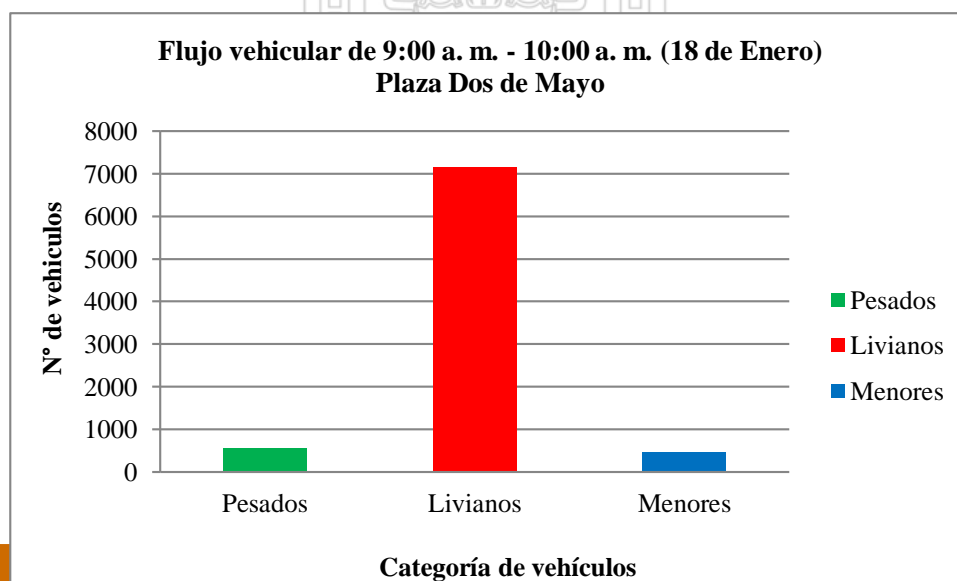
El flujo vehicular en la Plaza Dos de Mayo se determinó mediante el conteo in situ y la filmación con cámaras digitales, los días 18, 20 y 22 de enero del 2016, en los turnos mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m., y por la tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m.; ubicando tres puntos de conteo y clasificando los vehículos en tres tipos: pesados, livianos y menores. Ver Cuadro N° 34.

Cuadro N° 34 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (18 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	568	6.97
Livianos	7136	87.54
Menores	448	5.50
TOTAL	8152	100.00

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (18 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 2, correspondiente para la plaza Dos de Mayo, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (87.54%), seguidos de los pesados (6.97%) y finalmente los vehículos menores (5.50%). En total circulan 8152 vehículos en una hora.

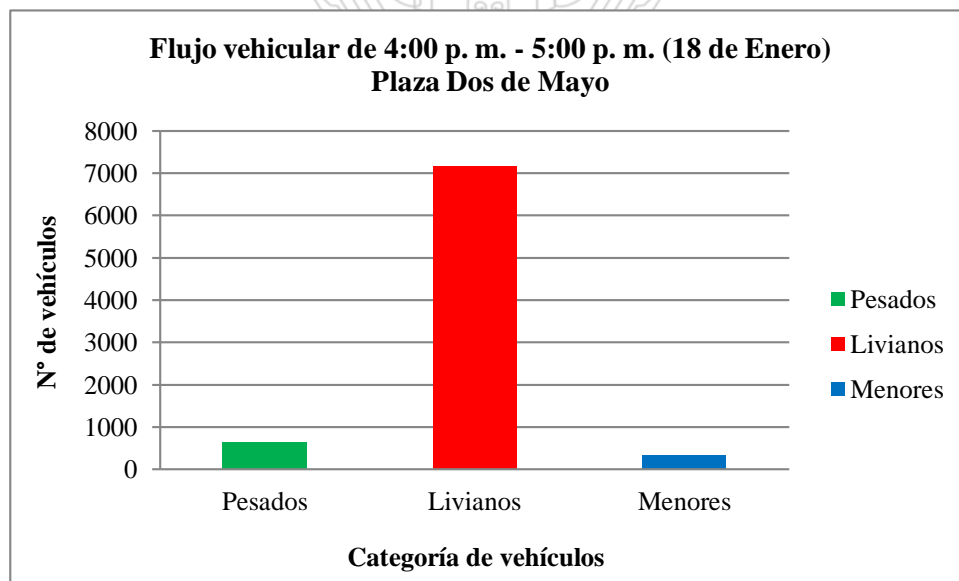
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 18 de enero en la plaza Dos de Mayo. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 35.

Cuadro N° 35 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (18 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	644	7.92
Livianos	7165	88.07
Menores	327	4.02
TOTAL	8136	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (18 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 3, correspondiente para la plaza Dos de Mayo - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (88.07%), seguidos de los pesados (7.92%) y finalmente los vehículos menores (4.02%). En total circulan 8136 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

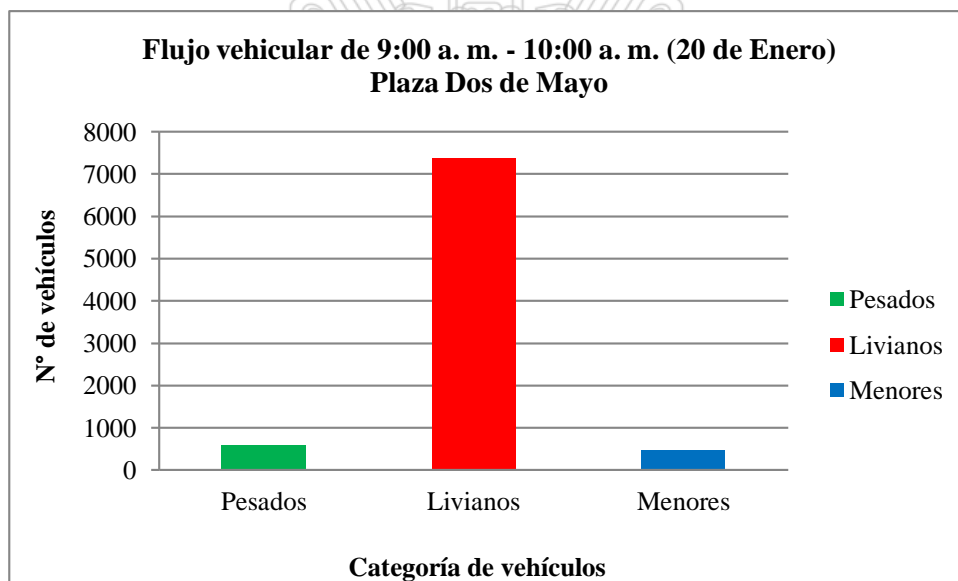
Se cuantificó asimismo el día 20 de Enero en la plaza Dos de Mayo en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 36.

Cuadro N° 36 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (20 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	579	6.88
Livianos	7375	87.68
Menores	457	5.43
TOTAL	8411	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (20 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 4, correspondiente para la plaza Dos de Mayo - turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (87.68%), seguidos de los pesados (6.88%) y finalmente los vehículos menores (5.43%). En total circulan 8411

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

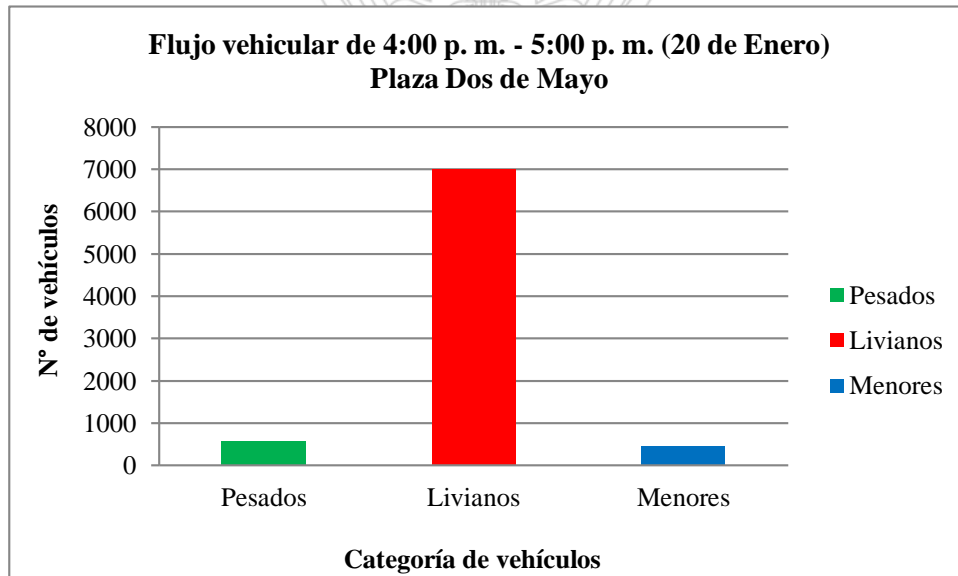
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 20 de enero en la plaza Dos de Mayo. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 37.

Cuadro N° 37 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (20 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	586	7.29
Livianos	7016	87.22
Menores	442	5.49
TOTAL	8044	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (20 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 5, correspondiente para la plaza Dos de Mayo - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (87.22%), seguidos de los pesados (7.29%) y finalmente los vehículos menores (5.49%). En total circulan 8044 vehículos entre las 4:00 p.m. a 5:00 p.m.

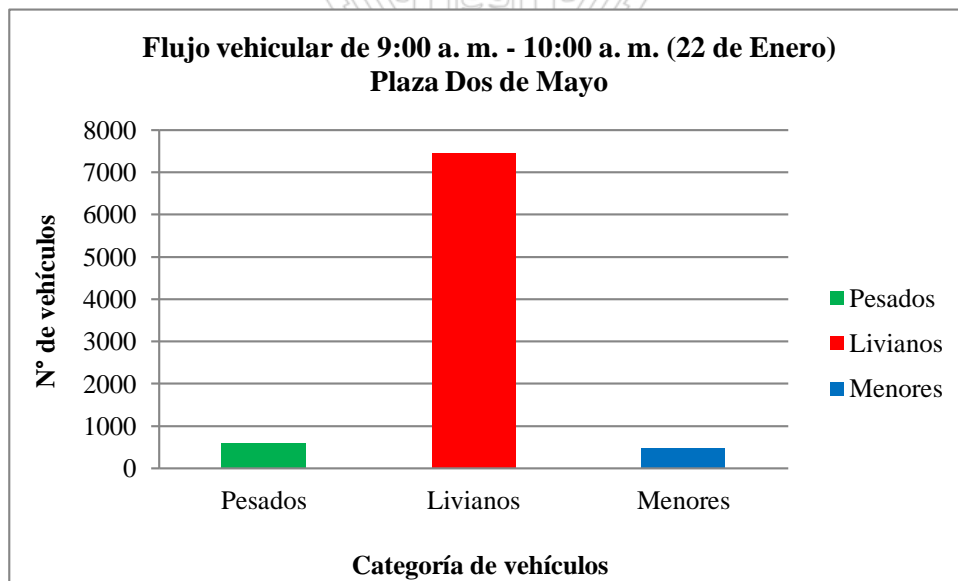
Se cuantificó asimismo el día 22 de Enero en la plaza Dos de Mayo en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 38.

Cuadro N° 38 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (22 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	590	6.95
Livianos	7435	87.56
Menores	466	5.49
TOTAL	8491	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (22 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 6, correspondiente para la plaza Dos de Mayo - turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (87.56%), seguidos de los pesados (6.95%) y finalmente los vehículos menores (5.49%). En total circulan 8491 vehículos en una hora.

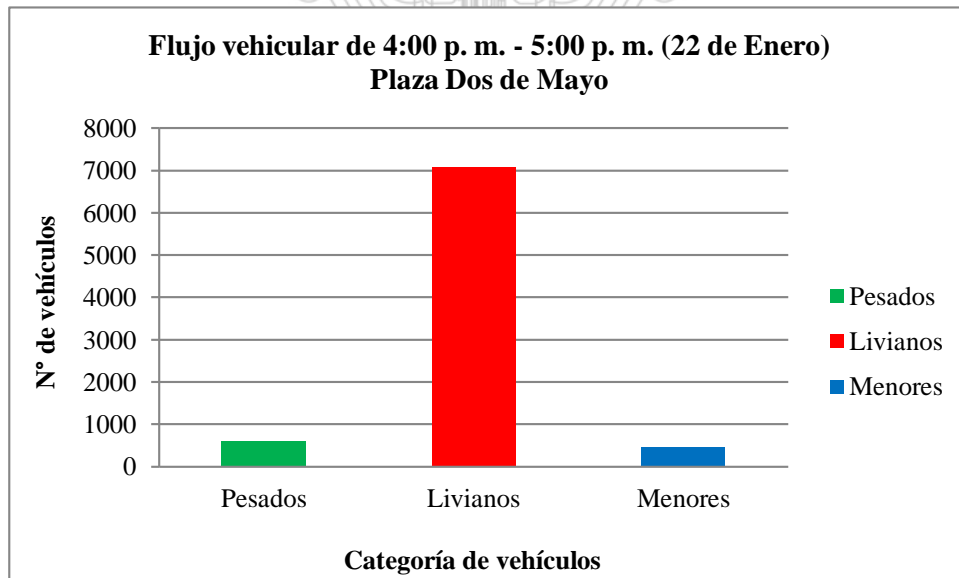
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 22 de enero en la plaza Dos de Mayo. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 39.

Cuadro N° 39 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (22 de Enero)
Plaza Dos de Mayo

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	594	7.32
Livianos	7076	87.20
Menores	445	5.48
TOTAL	8115	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (22 de Enero)
Plaza Dos de Mayo



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 7, correspondiente para la plaza Dos de Mayo - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (87.20%), seguidos de los pesados (7.32%) y finalmente los vehículos menores (5.48%). En total circulan 8115 vehículos entre las 4:00pm a 5:00pm.

4.2.2 Flujo vehicular en la Plaza Bolognesi

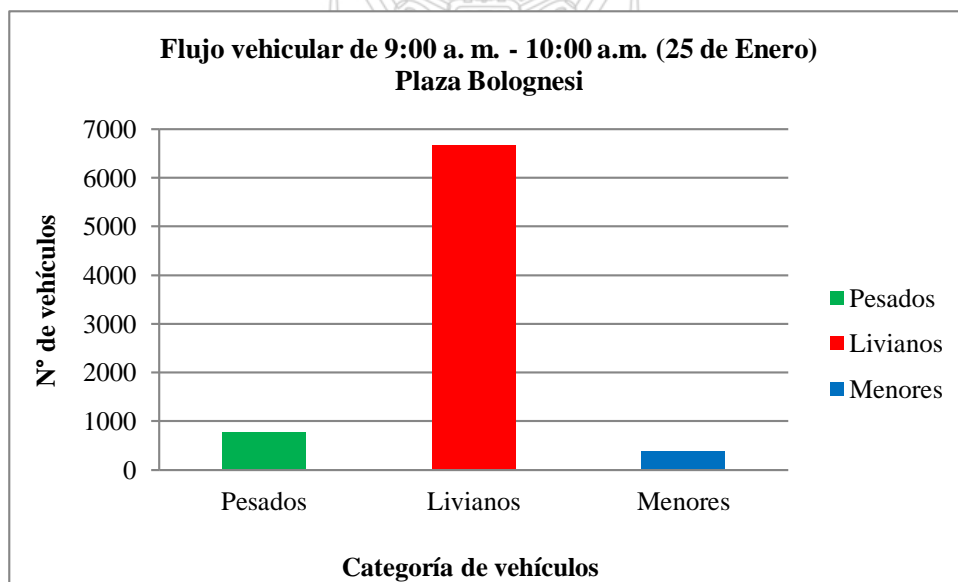
El flujo vehicular en la Plaza Bolognesi se determinó mediante el conteo in situ y la filmación con cámaras digitales, los días 25, 27 y 29 de enero del 2016, en los turnos mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m., y por la tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m.; ubicando tres puntos de conteo y clasificando los vehículos en tres tipos: pesados, livianos y menores. Ver Cuadro N° 40.

Cuadro N° 40 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (25 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	778	9.94
Livianos	6669	85.19
Menores	381	4.87
TOTAL	7828	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (25 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 8, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.19%), seguidos de los pesados (9.94%) y finalmente los vehículos menores (4.87%). En total circulan 7828 vehículos en una hora.

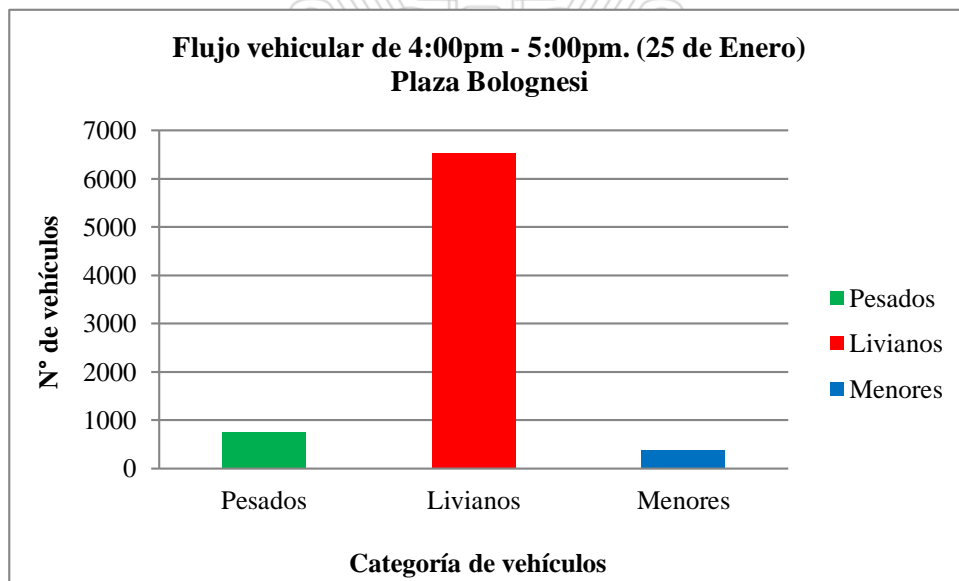
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 25 de enero en la plaza Bolognesi. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 41.

Cuadro N° 41 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (25 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	755	9.85
Livianos	6536	85.32
Menores	370	4.82
TOTAL	7660	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 9 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (25 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 9, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.32%), seguidos de los pesados (9.85%) y finalmente los vehículos menores (4.82%). En total circulan 7660 vehículos entre

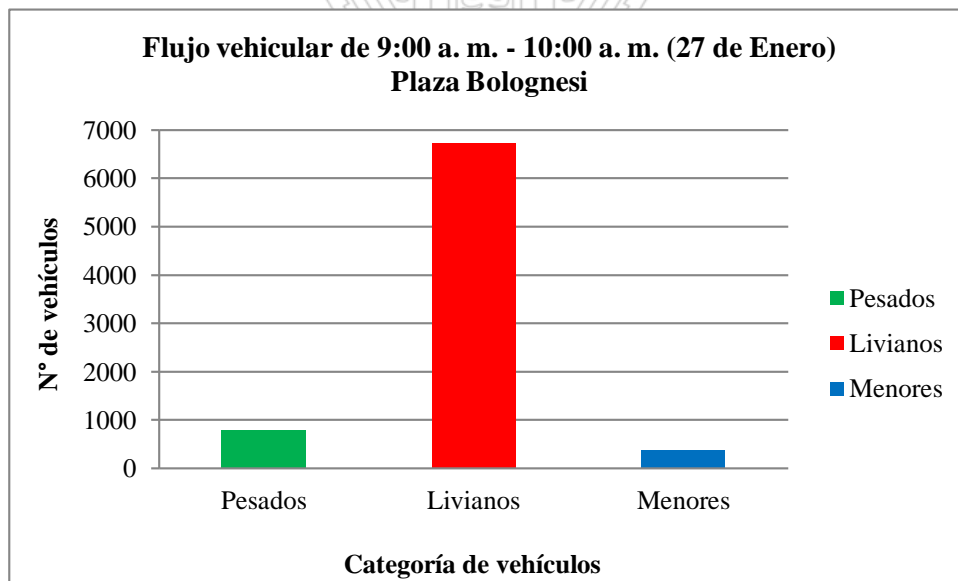
Se cuantificó asimismo el día 27 de Enero en la plaza Bolognesi en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 42.

Cuadro N° 42 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (27 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	794	10.03
Livianos	6736	85.11
Menores	385	4.86
TOTAL	7914	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 10 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (27 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 10, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.11%), seguidos de los pesados (10.03%) y finalmente los vehículos menores (4.86%). En total circulan 7914 vehículos en una hora.

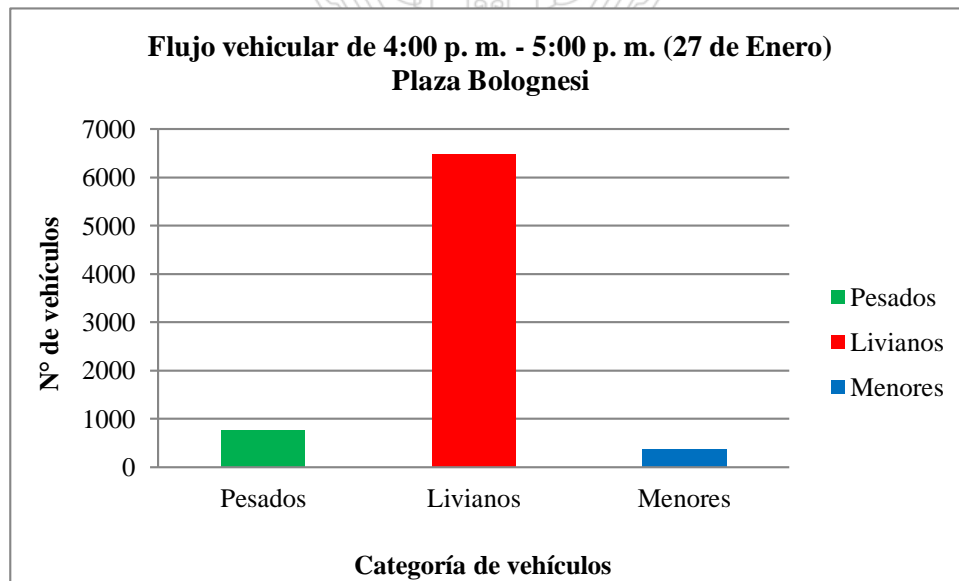
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 27 de enero en la plaza Bolognesi. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 43.

Cuadro N° 43 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (27 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00pm – 5:00pm	Porcentaje (%)
Pesados	762	10.03
Livianos	6469	85.06
Menores	373	4.91
TOTAL	7605	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 11 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (27 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 11, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.06%), seguidos de los pesados (10.03%) y finalmente los vehículos menores (4.91%). En total circulan 7605 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

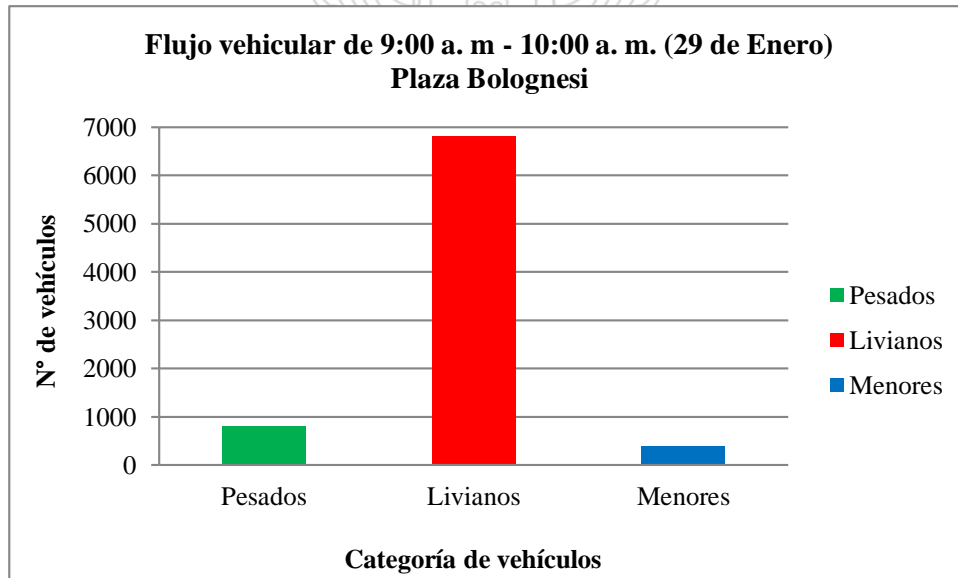
Se cuantificó asimismo el día 29 de Enero en la plaza Bolognesi en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 44.

Cuadro N° 44 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (29 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a.m.	Porcentaje (%)
Pesados	809	10.11
Livianos	6802	84.99
Menores	392	4.90
TOTAL	8004	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 12 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (29 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 12, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (84.99%), seguidos de los pesados (10.11%) y finalmente los vehículos menores (4.90%). En total circulan 8004 vehículos en una hora.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

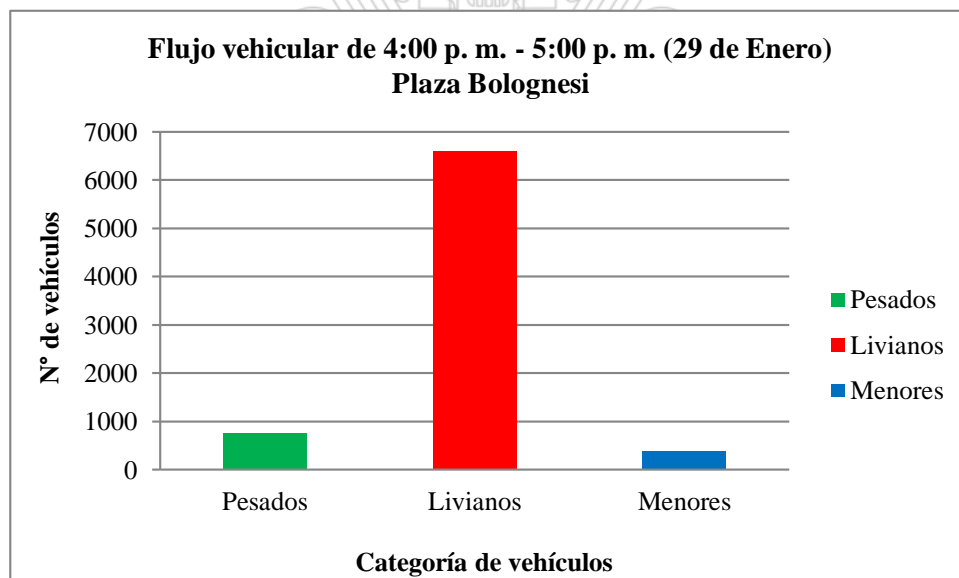
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 29 de enero en la plaza Bolognesi. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 45.

Cuadro N° 45 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (29 de Enero)
Plaza Bolognesi

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	770	9.94
Livianos	6602	85.19
Menores	377	4.87
TOTAL	7750	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 13 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (29 de Enero)
Plaza Bolognesi



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 13, correspondiente para la plaza Bolognesi - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.19%), seguidos de los pesados (9.94%) y finalmente los vehículos menores (4.87%). En total circulan 7750 vehículos entre

Tesis publicada con autorización del autor
las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.
No olvide citar esta tesis

4.2.3 Flujo vehicular en el Parque Universitario

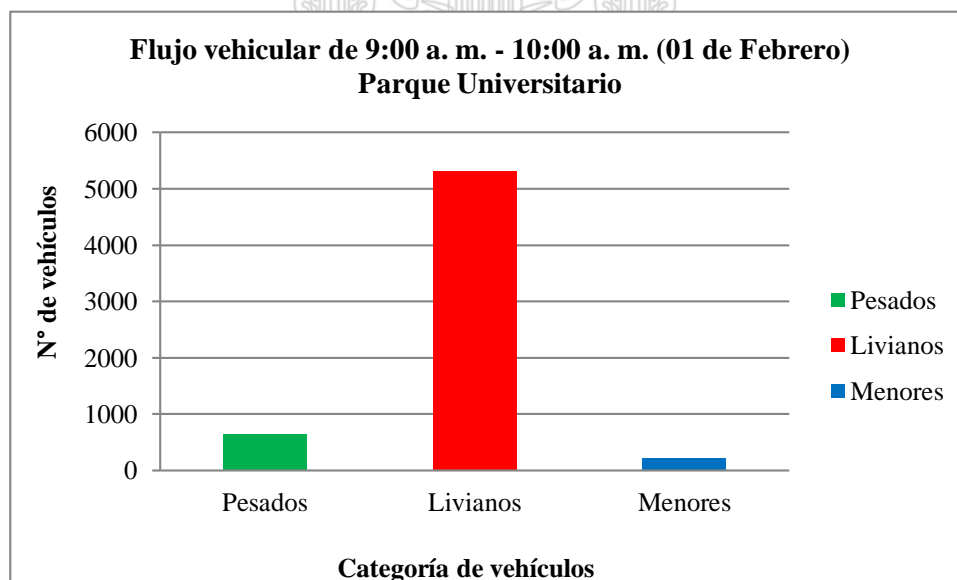
El flujo vehicular en el Parque Universitario se determinó mediante el conteo in situ y la filmación con cámaras digitales, los días 01, 03 y 05 de febrero del 2016, en los turnos mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m., y por la tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m.; ubicando cuatro puntos de conteo y clasificando los vehículos en tres tipos: pesados, livianos y menores. Ver Cuadro N° 46.

Cuadro N° 46 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (01 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	640	10.37
Livianos	5312	86.04
Menores	222	3.60
TOTAL	6174	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 14 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (01 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

Tesis pu
No olvi

En el gráfico N° 14, correspondiente para el Parque Universitario- turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (86.04%), seguidos de los pesados (10.37%) y finalmente los vehículos menores (3.60%). En total circulan 6174 vehículos en una hora.

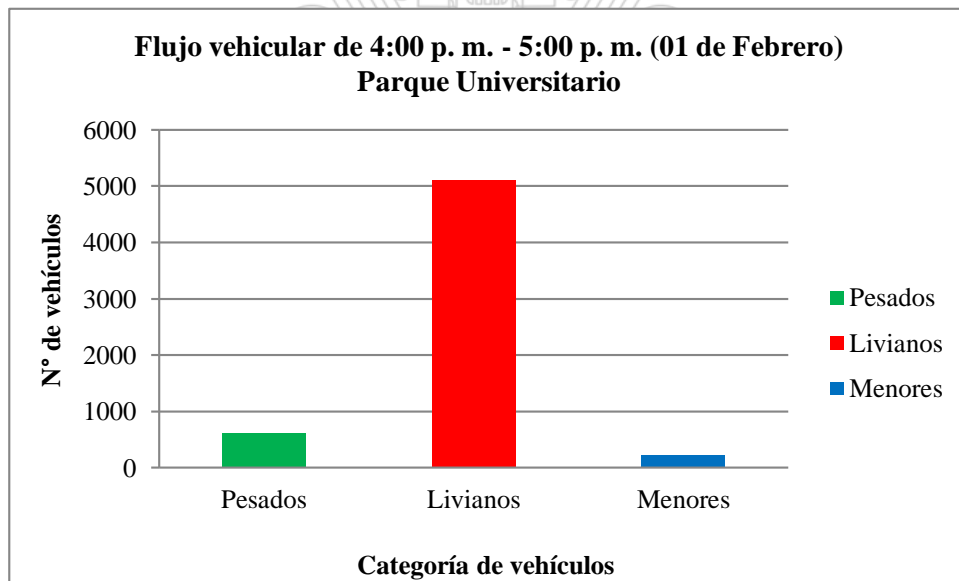
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 01 de febrero en el parque Universitario. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 47.

Cuadro N° 47 Flujo vehicular de 4:00pm – 5:00pm. (01 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	621	10.45
Livianos	5100	85.82
Menores	222	3.74
TOTAL	5942	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 15 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (01 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 15, correspondiente para el Parque Universitario- turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (85.82%), seguidos de los pesados (10.45%) y finalmente los vehículos menores (3.74%). En total circulan 5942 vehículos entre las 4:00 p.m. a 5:00 p.m.

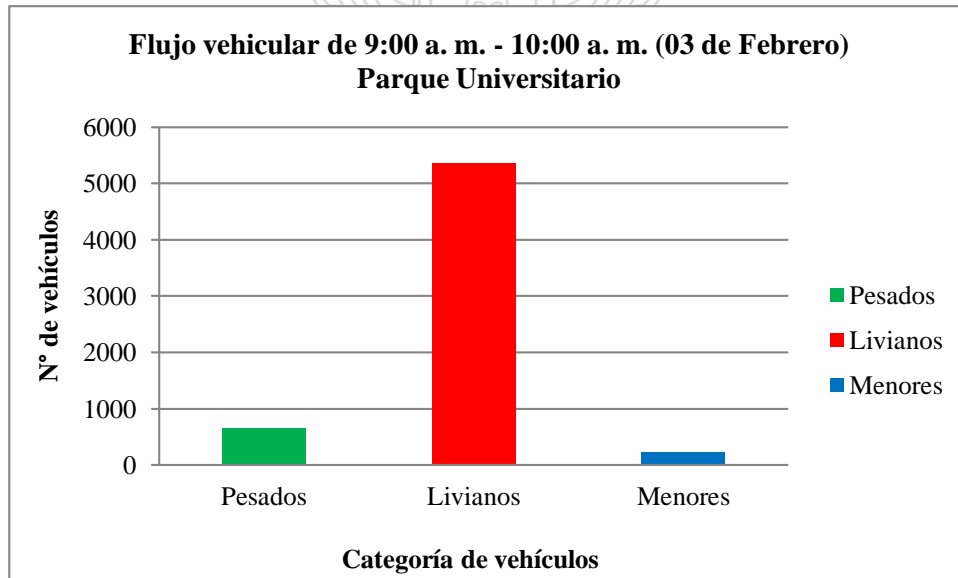
Se cuantificó asimismo el día 03 de Febrero en el parque Universitario en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 48.

Cuadro N° 48 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (03 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	646	10.36
Livianos	5365	86.01
Menores	226	3.63
TOTAL	6238	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 16 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (03 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 16, correspondiente para el Parque Universitario- turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (86.01%), seguidos de los pesados (10.36%) y finalmente los vehículos menores (3.63%). En total circulan 6238 vehículos en una hora.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

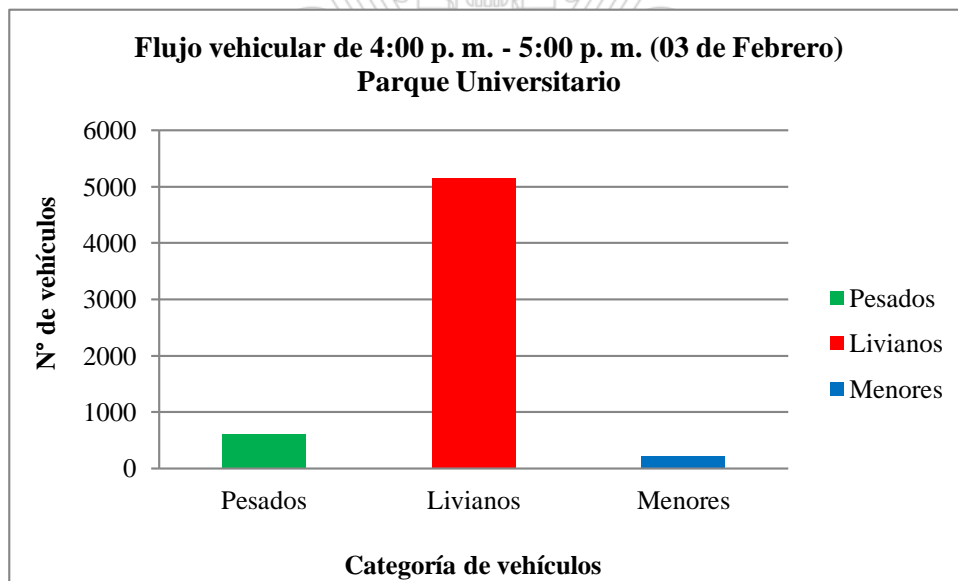
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 03 de febrero en el parque Universitario. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 49.

Cuadro N° 49 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (03 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	602	10.08
Livianos	5153	86.31
Menores	215	3.61
TOTAL	5970	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 17 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (03 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 17, correspondiente para el Parque Universitario- turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (86.31%), seguidos de los pesados (10.08%) y finalmente los vehículos menores (3.61%). En total circulan 5970 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

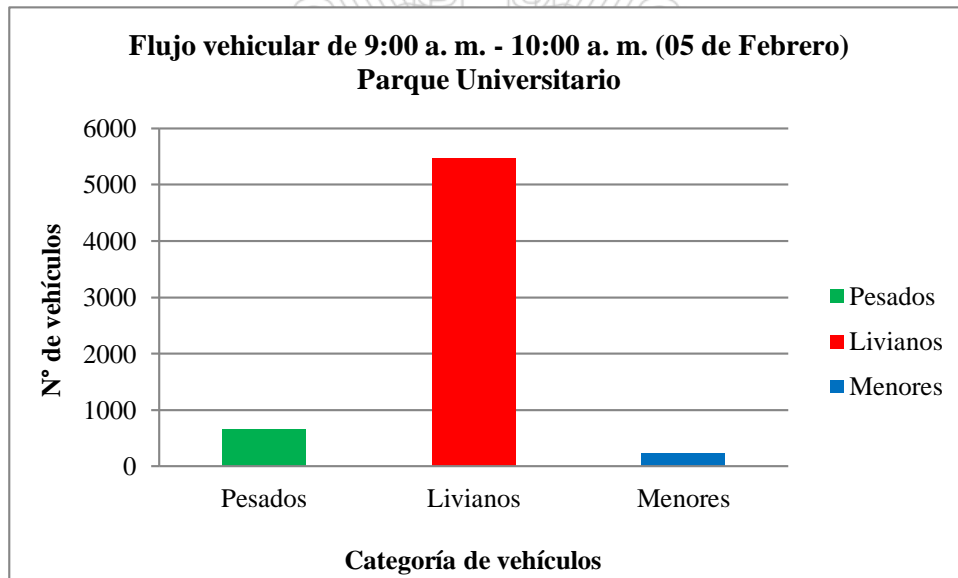
Se cuantificó asimismo el día 05 de Febrero en el parque Universitario en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 50.

Cuadro N° 50 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (05 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	653	10.28
Livianos	5471	86.16
Menores	226	3.57
TOTAL	6351	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 18 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (05 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 18, correspondiente para el Parque Universitario- turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (86.16%), seguidos de los pesados (10.28%) y finalmente los vehículos menores (3.57%). En total circulan 6351 vehículos en una hora.

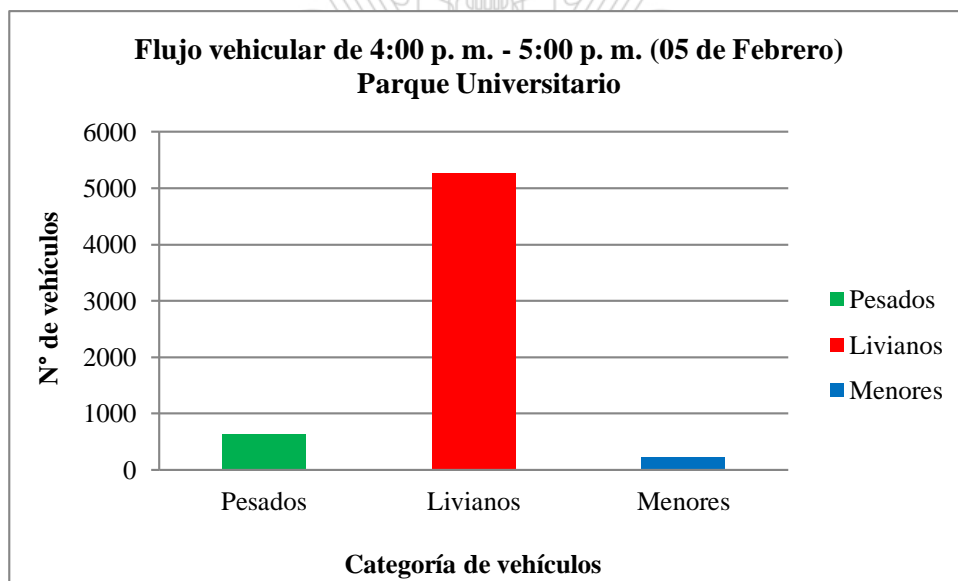
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 05 de febrero en el parque Universitario. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 51.

Cuadro N° 51 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (05 de Febrero)
Parque Universitario

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	634	10.37
Livianos	5259	86.04
Menores	220	3.60
TOTAL	6112	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 19 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (05 de Febrero)
Parque Universitario



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 19, correspondiente para el Parque Universitario- turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (86.04%), seguidos de los pesados (10.37%) y finalmente los vehículos menores (3.60%). En total circulan 6112 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

4.2.4 Flujo vehicular en la plaza San Martín

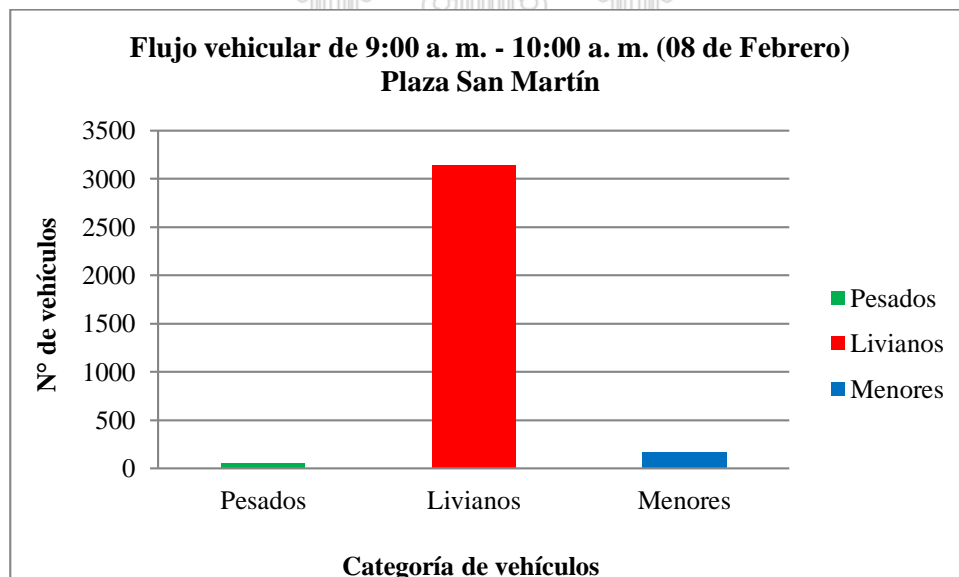
El flujo vehicular en la plaza San Martín se determinó mediante el conteo in situ y la filmación con cámaras digitales, los días 08, 10 y 12 de febrero del 2016, en los turnos mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m., y por la tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m.; ubicando dos puntos de conteo y clasificando los vehículos en tres tipos: pesados, livianos y menores. Ver Cuadro N° 52.

Cuadro N° 52 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (08 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	48	1.43
Livianos	3142	93.62
Menores	166	4.95
TOTAL	3356	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 20 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (08 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

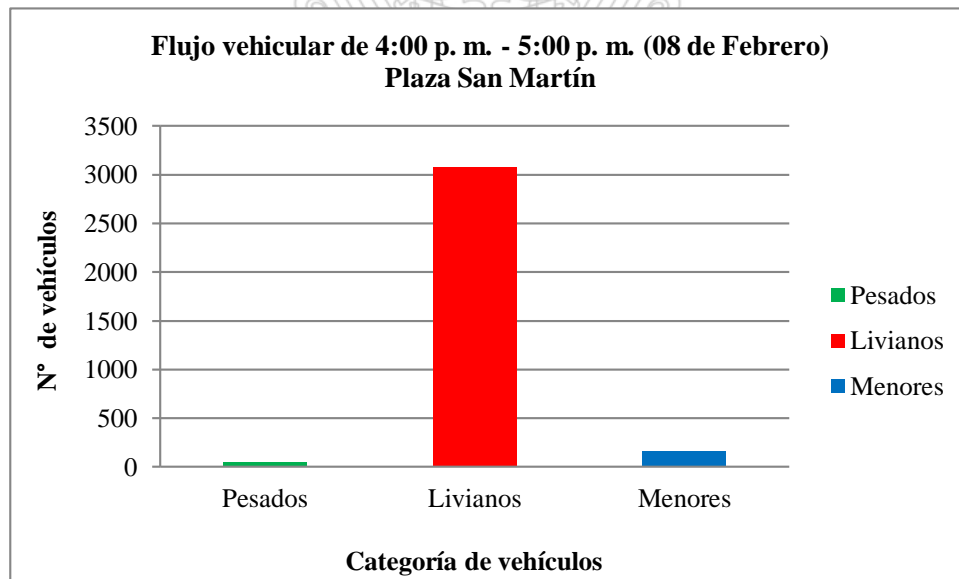
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 08 de febrero en la plaza San Martín. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 53.

Cuadro N° 53 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (08 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	47	1.42
Livianos	3075	93.68
Menores	161	4.91
TOTAL	3282	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 21 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (08 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 21, correspondiente para la plaza San Martín - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (93.68%), seguidos de los pesados (1.42%) y finalmente los vehículos menores (4.91%). En total circulan 3282 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

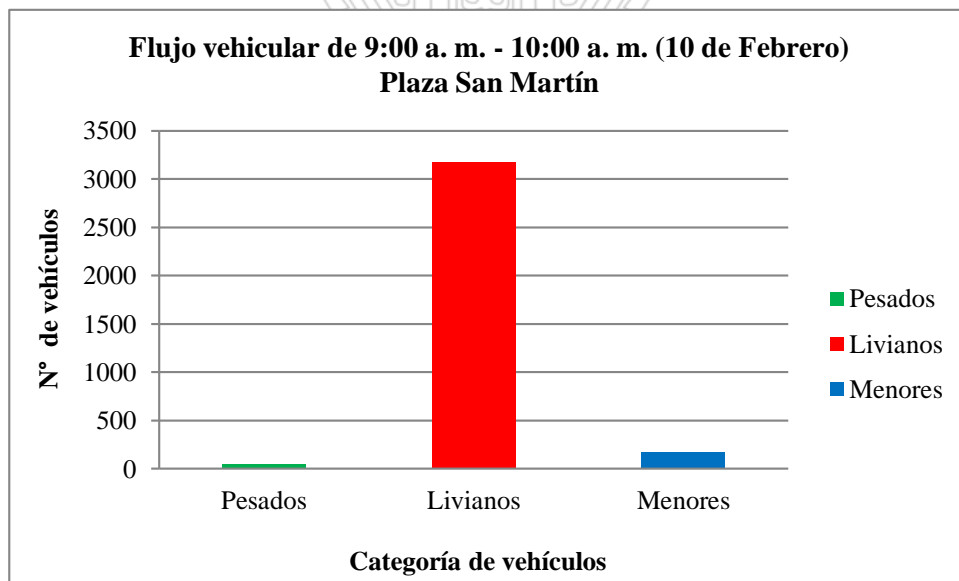
Se cuantificó asimismo el día 10 de Febrero en la plaza San Martín en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 54.

Cuadro N° 54 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (10 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	53	1.55
Livianos	3173	93.51
Menores	168	4.94
TOTAL	3394	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 22 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (10 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 22, correspondiente para la plaza San Martín- turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (93.51%), seguidos de los pesados (1.55%) y finalmente los vehículos menores (4.94%). En total circulan 3394 vehículos en una hora.

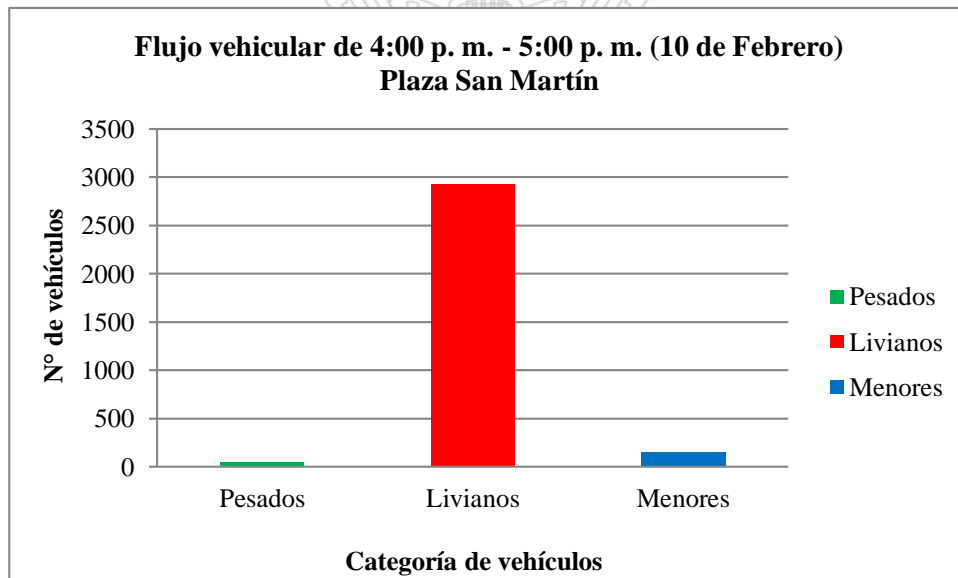
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 10 de febrero en la plaza San Martín. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 55.

Cuadro N° 55 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (10 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	43	1.39
Livianos	2922	93.67
Menores	154	4.95
TOTAL	3120	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 23 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (10 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 23, correspondiente para la plaza San Martín - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (93.67%), seguidos de los pesados (1.39%) y finalmente los vehículos menores (4.95%). En total circulan 3120 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

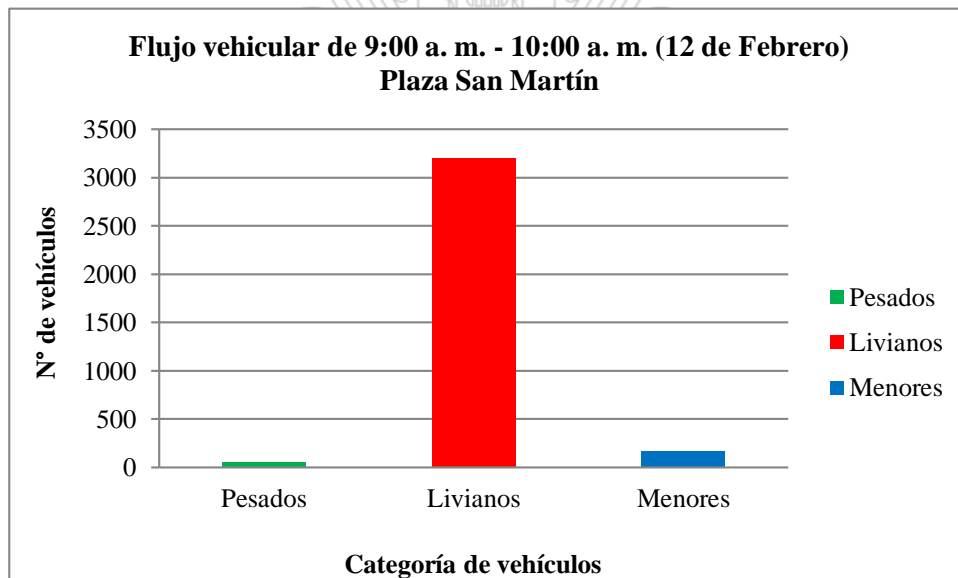
Se cuantificó asimismo el día 12 de Febrero en la plaza San Martín en turno mañana de 9:00 a. m. a 10:00 a. m. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 56.

Cuadro N° 56 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (12 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 9:00 a. m. – 10:00 a. m.	Porcentaje (%)
Pesados	51	1.49
Livianos	3205	93.57
Menores	169	4.94
TOTAL	3425	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 24 Flujo vehicular de 9:00 a. m. – 10:00 a. m. (12 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 24, correspondiente para la plaza San Martín- turno mañana, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (93.57%), seguidos de los pesados (1.49%) y finalmente los vehículos menores (4.94%). En total circulan 3425 vehículos en una hora.

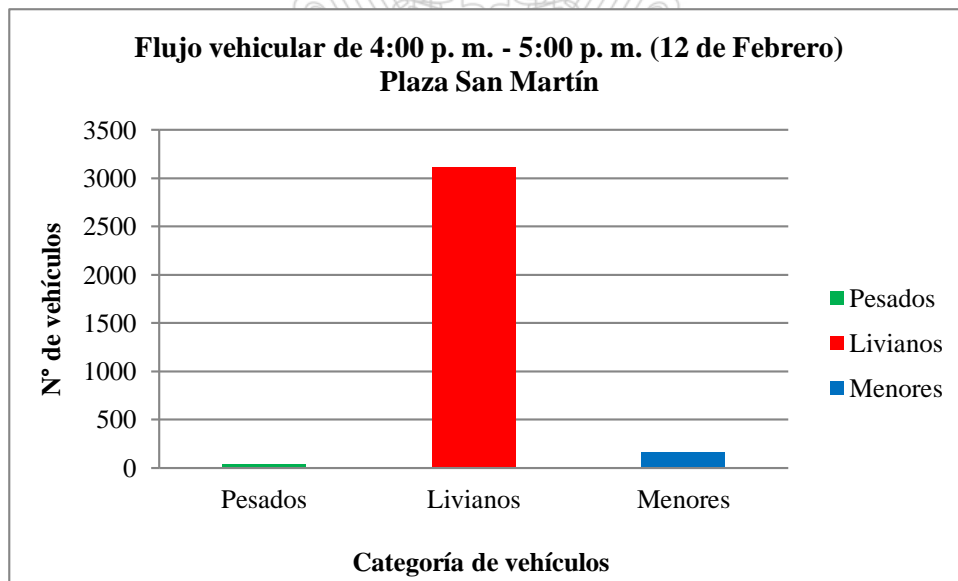
Asimismo se cuantificó en el turno tarde de 4:00 p. m. a 5:00 p. m. del día 12 de febrero en la plaza San Martín. Obteniéndose los siguientes resultados. Ver Cuadro N° 57.

Cuadro N° 57 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (12 de Febrero)
Plaza San Martín

Categoría de Vehículo	Flujo vehicular 4:00 p. m. – 5:00 p. m.	Porcentaje (%)
Pesados	40	1.19
Livianos	3111	93.85
Menores	164	4.96
TOTAL	3315	100.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 25 Flujo vehicular de 4:00 p. m. – 5:00 p. m. (12 de Febrero)
Plaza San Martín



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 25, correspondiente para la plaza San Martín - turno tarde, podemos notar que la mayor cantidad de vehículos que circulan, son livianos (93.85%), seguidos de los pesados (1.19%) y finalmente los vehículos menores (4.96%). En total circulan 3315 vehículos entre las 4:00 p. m. a 5:00 p. m.

4.2.5 Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas

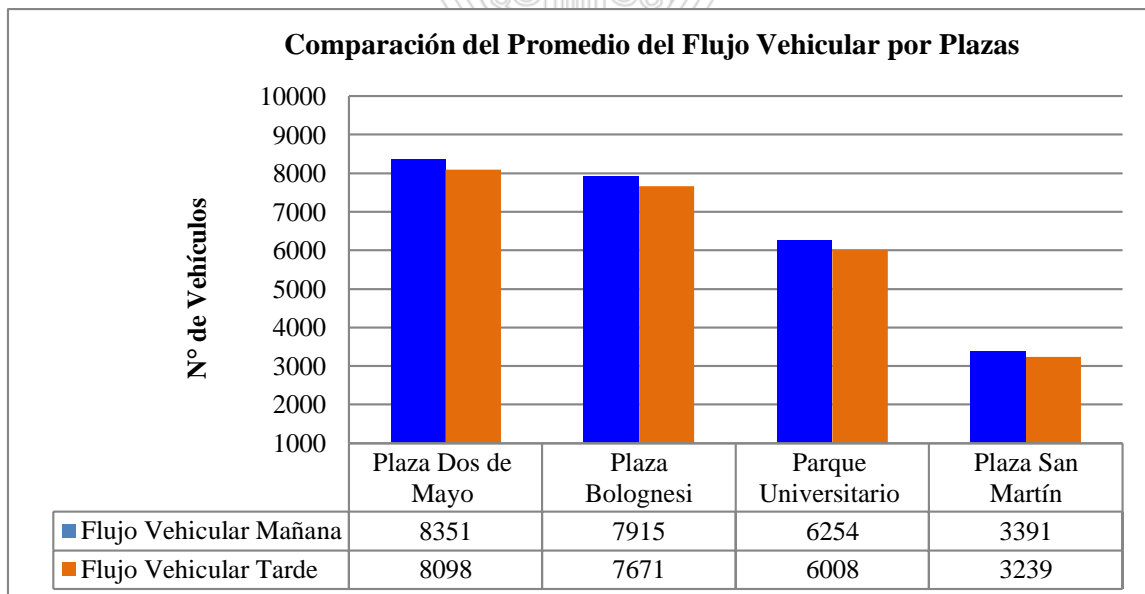
Para obtener el total del flujo vehicular se sumaron todos los tipos de vehículos que circulan por cada plaza. Ver Cuadro N° 58.

Cuadro N° 58 Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas

PLAZAS	FLUJO VEHICULAR		
	Promedio Mañana(M)	Promedio Tarde(T)	Promedio M -T
Plaza Dos de Mayo	8351	8098	8224
Plaza Bolognesi	7915	7671	7793
Parque Universitario	6254	6008	6131
Plaza San Martín	3391	3239	3315

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 26 Comparación del promedio de flujo vehicular por plazas



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico N° 26, se observa que el turno mañana existe mayor flujo vehicular que el turno tarde, siendo la plaza Dos de Mayo donde circulan la mayor cantidad de vehículos en el turno

mañana con 8351, seguido de la Plaza Bolognesi con 7915, el Parque Universitario con 6254, y por último la plaza San Martín con 3391.

4.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL NO₂ Y SO₂ POR PUNTOS DE MUESTREO.

4.3.1 Resultados del Análisis de laboratorio de NO₂ en los cuatro puntos de muestreo.

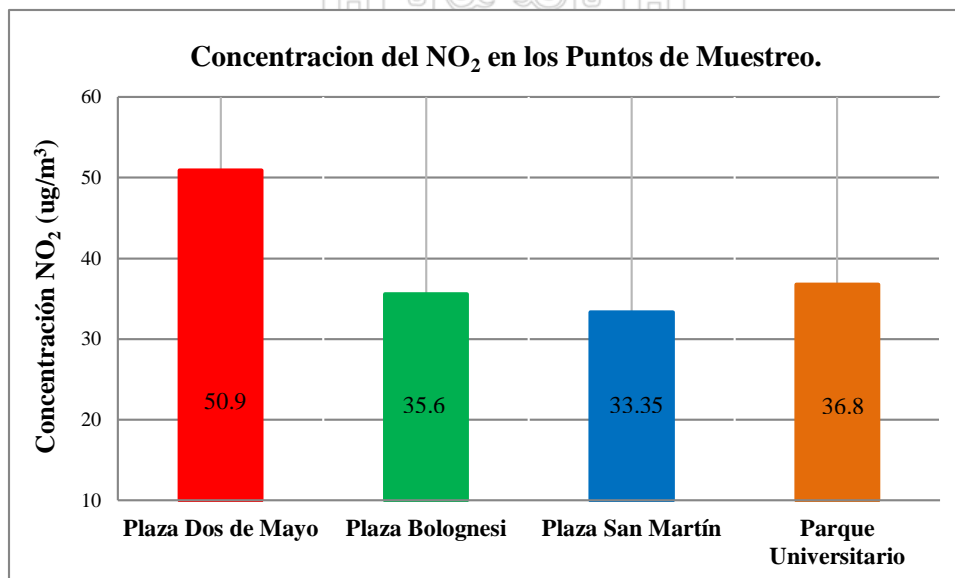
En el cuadro N° 59, se muestran los resultados de la concentración de NO₂, analizados en el laboratorio acreditado PASSAM AG (de Suiza), por el método de análisis Saltzman SP01, enviados mediante la empresa KLEPEL CONSULTING S.A.C. (Lima) Ver Anexo 15.

Cuadro N° 59 Resultados de la concentración del NO₂ por punto de muestreo.

Punto de Muestreo	Localización	Concentración del NO ₂ (ug/m ³)		Promedio (ug/m ³)
		Valor 1	Valor 2	
P1	Plaza Dos de Mayo	52.9	48.9	50.90
P2	Plaza Bolognesi	35.7	35.5	35.60
P3	Plaza San Martín	34.3	32.4	33.35
P4	Parque Universitario	36.7	36.9	36.80
Promedio total				39.162

Fuente: PASSAM AG, Suiza.

Gráfico N° 27 Concentración del NO₂ en los Puntos de Muestreo



Fuente: PASSAM AG, Suiza.

Tesis publicada con autorización del autor

No En el gráfico N° 27, se observa que la Plaza Dos de Mayo, tiene la mayor concentración de NO₂ con 50.9 ug/m³, en tanto la Plaza San Martín presenta la menor concentración de NO₂ con 33.35 ug/m³.

4.3.2 Resultados de los Análisis de laboratorio de SO₂ en los cuatro puntos de muestreo.

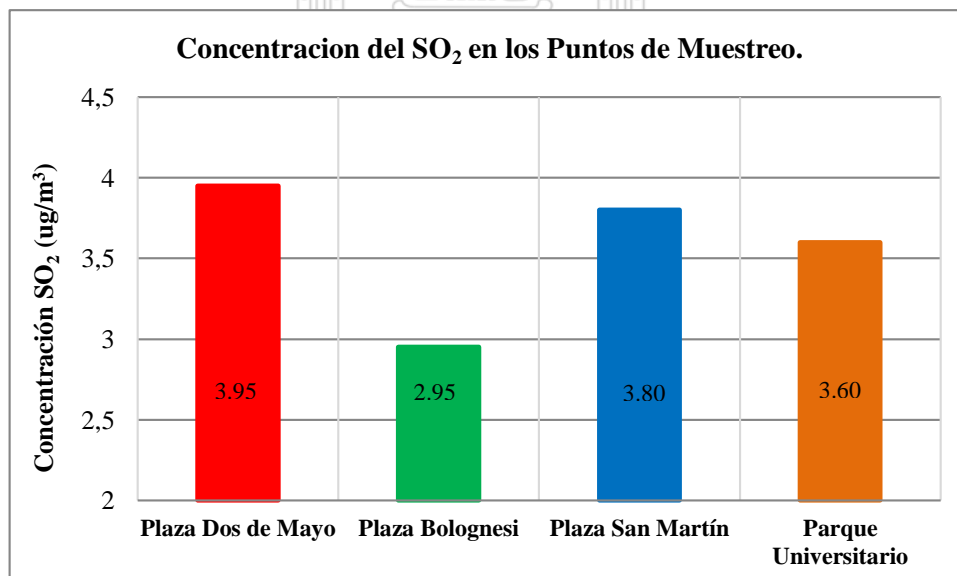
En el cuadro N° 60, se muestran los resultados de la concentración de SO₂, analizados en el laboratorio acreditado PASSAM AG (de Suiza), por el método de cromatografía iónico SP01, enviados mediante la empresa KLEPEL CONSULTING S.A.C. (Lima). Ver Anexo 16.

Cuadro N° 60 Resultados de la concentración del SO₂ por punto de muestreo.

Punto de Medición	Localización	Concentración del SO ₂ (ug/m ³)		Promedio (ug/m ³)
		Valor 1	Valor 2	
P1	Plaza Dos de Mayo	4.3	3.6	3.95
P2	Plaza Bolognesi	2.9	3.0	2.95
P3	Plaza San Martín	--	3.8	3.80
P4	Parque Universitario	4.1	3.1	3.60
Promedio total				3.575

Fuente: PASSAM AG, Suiza.

Gráfico N° 28 Concentración del SO₂ en los Puntos de Muestreo



Fuente: PASSAM AG, Suiza.

Tesis p
No olv

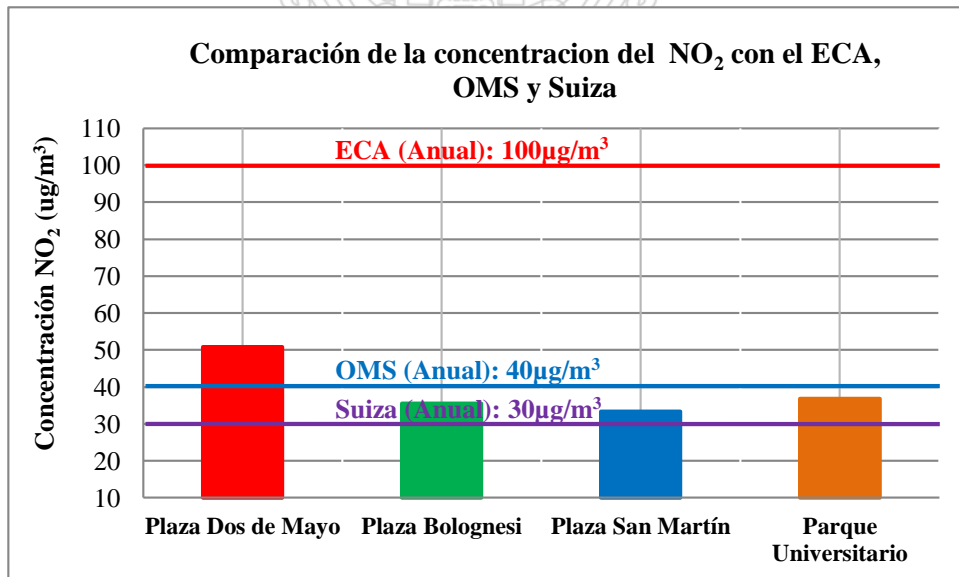
En el gráfico N° 28, se observa que la Plaza Dos de Mayo, tiene la mayor concentración de SO₂ con 3.95 ug/m³, en tanto la Plaza Bolognesi presenta la menor concentración de SO₂ con 2.95 ug/m³.

4.3.3 Comparación de la concentración del NO₂ y SO₂ con diferentes estándares.

4.3.3.1 Comparación de la concentración del NO₂ con el ECA, estándares de la OMS y de SUIZA.

El estándar de calidad Ambiental del aire (ECA aire), en el Perú, para el NO₂ es de 100 µg/m³ (anual) según la norma de referencia: D.S. N° 074-2001-PCM; mientras el estándar anual de la OMS para el NO₂ es de 40 µg/m³, según la Guía de calidad del aire de la OMS (2005) y el estándar de Suiza es de 30 µg/m³. Ver Gráfico N° 29.

Gráfico N° 29 Comparación de la concentración del NO₂ con el ECA, OMS y Suiza



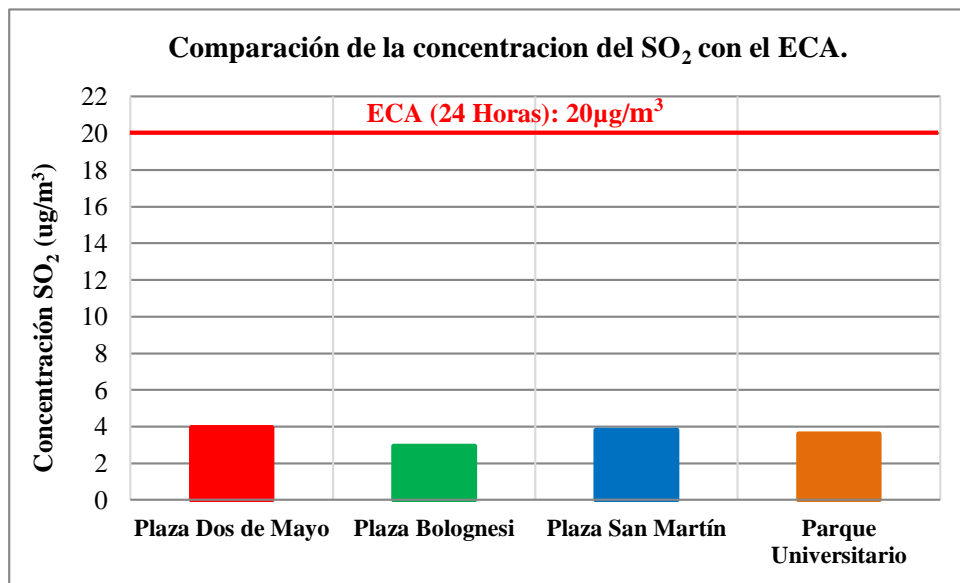
Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico N° 29, se observa que los valores obtenidos de NO₂, correspondientes a los puntos de muestreo, no superan el ECA anual de 100 µg/m³, sin embargo, para el estándar anual de la OMS (40 µg/m³ para el NO₂) excede en la Plaza Dos de Mayo, con 50.9 µg/m³; en tanto con referencia al estándar anual de Suiza (30 µg/m³) se exceden la Plazas San Martín con 33.35 µg/m³, Bolognesi con 35.6 µg/m³ y el Parque Universitario con 36.8 µg/m³. Dichas concentraciones obtenidas fueron muestreadas en la estación de verano.

4.3.3.2 Comparación de la concentración del SO₂ con el ECA

El estándar de calidad Ambiental del aire (ECA aire), en el Perú, para el SO₂ es de 20 µg/m³ (24 horas), según la norma de referencia: D.S. N° 003-2008-MINAM; así mismo, para el estándar anual de la OMS es de 20 µg/m³ (24 horas). Ver Gráfico N° 30.

Gráfico N° 30 Comparación de la concentración del SO₂ con el ECA



Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico N° 30, se observa que los valores obtenidos de SO₂, correspondientes a los puntos de muestreo, no superan el ECA (20 µg/m³ en 24 Horas), dichas concentraciones son 3.8 µg/m³ para Plaza San Martín, 2.95 µg/m³ para Plaza Bolognesi, 3.6 µg/m³ para Parque Universitario y 3.95 µg/m³ para Plaza Dos de Mayo. Las concentraciones están sujetas a variaciones constantes, ya que están asociadas a la estación del año y la emisión de contaminantes.

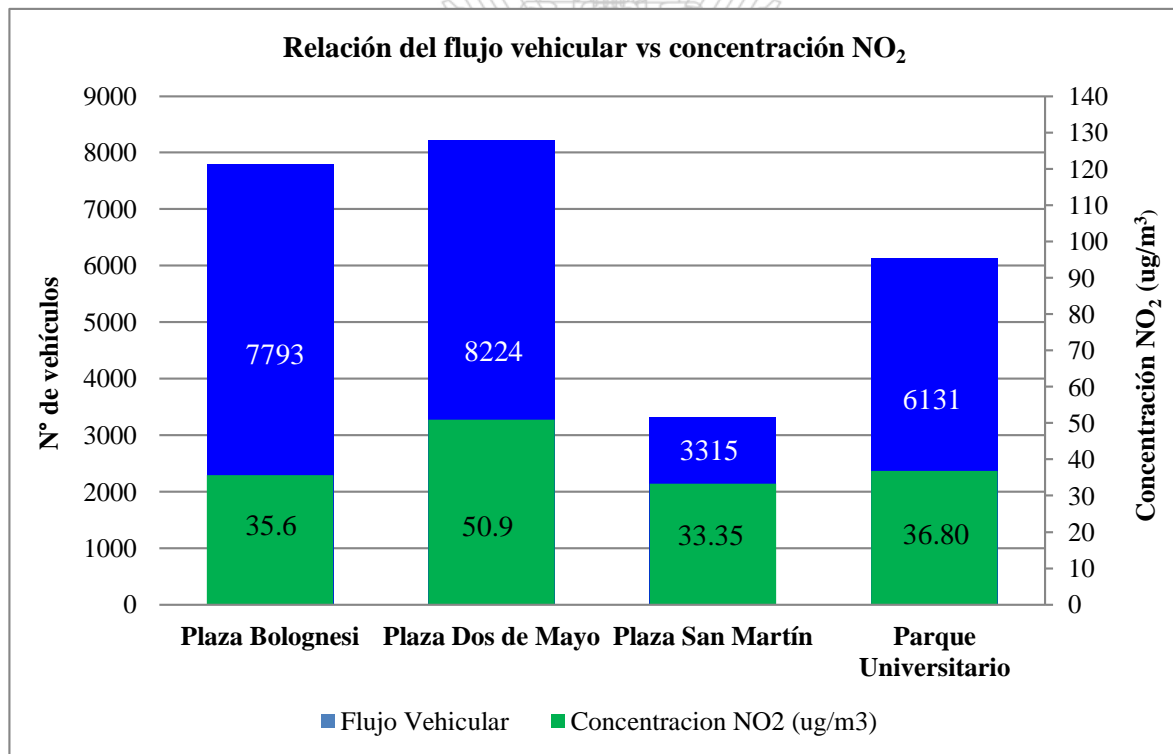
4.4 RELACIÓN Y COMPARACIÓN DEL FLUJO VEHICULAR VS LA CONCENTRACIÓN DEL NO₂ Y SO₂ EN LOS PUNTOS DE ESTUDIO.

4.4.1 Relación y comparación de la concentración del NO₂ vs flujo vehicular.

En el Gráfico N° 31, se muestra la relación entre la concentración del NO₂ y el flujo vehicular. Las concentraciones obtenidas en la Plaza San Martín, presenta el valor más bajo (33.35 µg/m³), encontrando una relación directa con el flujo vehicular, en tanto las concentraciones registradas en la Plaza Dos de Mayo, presenta el valor más alto (50.90 µg/m³), y el mayor flujo vehicular. Ver Gráfico N° 31.

Además de ello se ha elaborado mapa de Isolíneas de concentración de NO₂, en la que se observa la distribución espacial en el área de estudio. Ver Anexo 17.

Gráfico N° 31 Relación del flujo vehicular vs concentración de NO₂



Fuente: Elaboración Propia

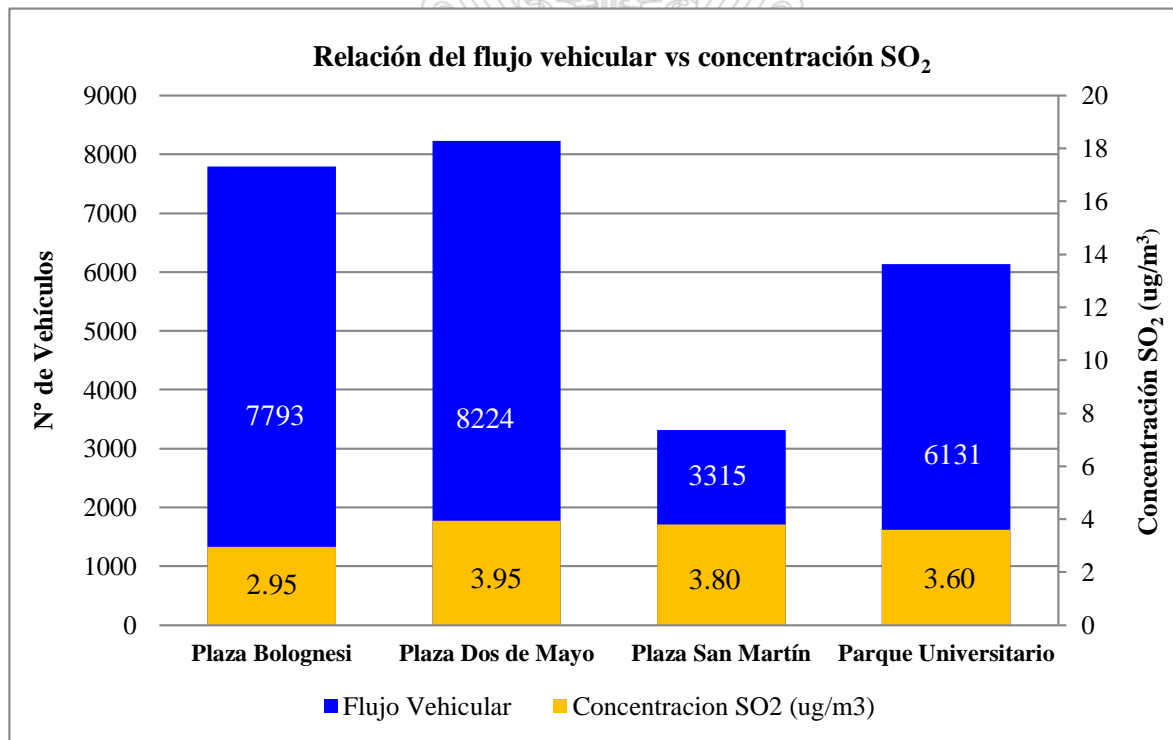
Las concentraciones registradas de NO₂ en estos puntos de muestreo, establecen que el dióxido de nitrógeno varía principalmente en función del flujo vehicular en la zona de estudio.
 Tesis publicada con autorización del autor
 No olvide citar esta tesis

4.4.2 Relación y comparación del flujo vehicular vs la concentración del SO₂

En el Gráfico N° 32, se muestra la relación entre la concentración del dióxido de azufre (SO₂) y el flujo vehicular. Las concentraciones obtenidas en la Plaza Bolognesi, presenta el valor más bajo (2.95 µg/m³), encontrando una relación indirecta con el flujo vehicular, en tanto las concentraciones registradas en la Plaza Dos de Mayo, presenta el valor más alto (3.95 µg/m³), esto es, debido al alto flujo vehicular que caracteriza esta Plaza. Ver Gráfico N° 32.

Además de ello se ha elaborado mapa de Isolíneas de concentración de SO₂, en la que se observa la distribución espacial en el área de estudio. Ver Anexo 18.

Gráfico N° 32 Relación del flujo vehicular vs concentración de SO₂



Fuente: Elaboración Propia

Las concentraciones registradas de SO₂ en estos puntos de muestreo, establecen que el dióxido de azufre no varía principalmente en función del flujo vehicular en la zona de estudio.

4.5 ANÁLISIS DE LA VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

4.5.1 Análisis con los datos de la Estación Meteorológica VILLARREAL

Durante el periodo de muestreo de la calidad del aire, se tomaron los parámetros de Velocidad del Viento y Dirección del Viento, de la estación meteorológica VILLARREAL, entre los meses de enero y febrero del 2016. Ver Tabla N° 8.

Distrito: Cercado de Lima **Latitud:** 12° 2' 46.75" **Longitud:** 77° 2' 51.41" **Altitud:** 158

Tabla N° 8 Velocidad y Dirección del Viento en el Cercado de Lima

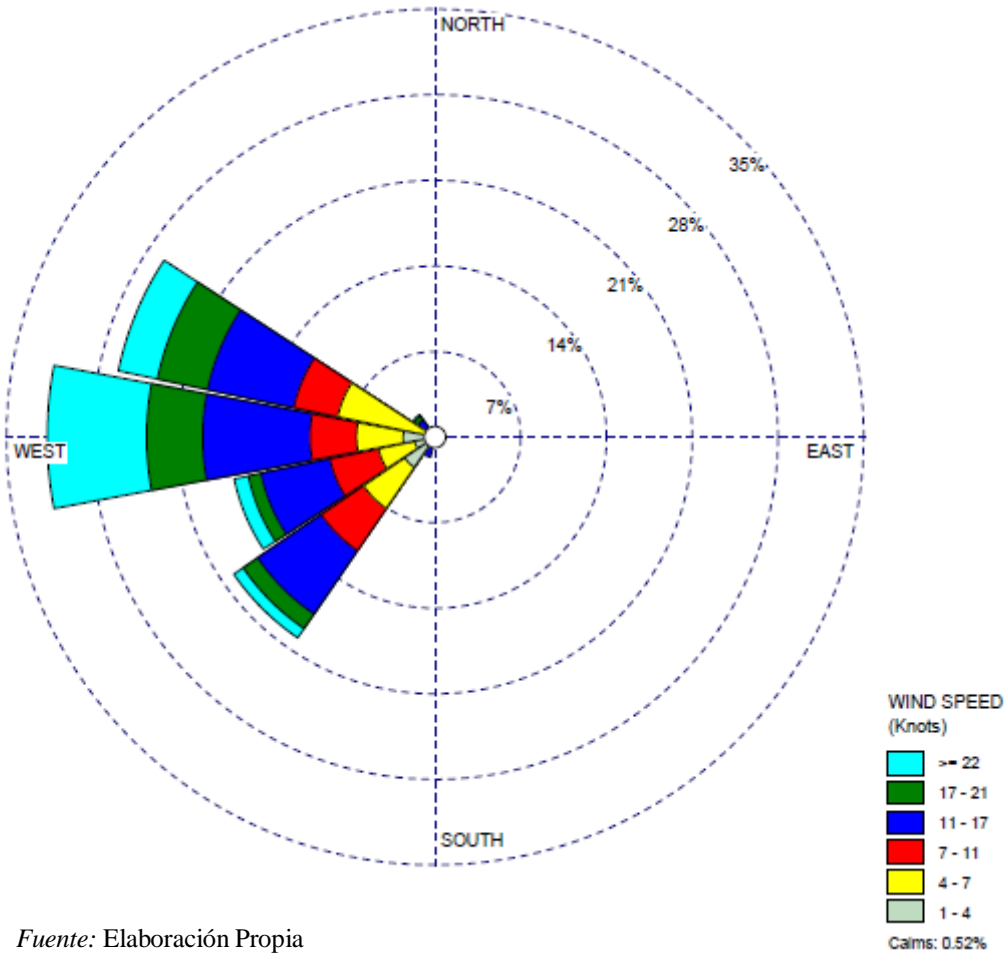
Día/mes/año	Velocidad del Viento(m/s)	Dirección del Viento
18-Ene-2016	3.3	292.5
19-Ene-2016	6.3	263.4
20-Ene-2016	6.6	255.0
21-Ene-2016	6.5	255.9
22-Ene-2016	7.8	260.6
23-Ene-2016	5.7	244.7
24-Ene-2016	4.4	264.4
25-Ene-2016	4.5	258.8
26-Ene-2016	7.2	264.4
27-Ene-2016	6.6	256.9
28-Ene-2016	6.6	270.9
29-Ene-2016	7.5	257.8
30-Ene-2016	6.7	255.0
31-Ene-2016	7.5	246.6
1-Feb-2016	6.3	267.2
2-Feb-2016	7.0	260.6
3-Feb-2016	8.1	255.9
4-Feb-2016	7.2	255.0
5-Feb-2016	7.7	259.7
6-Feb-2016	7.8	258.8
7-Feb-2016	8.0	257.8
8-Feb-2016	5.3	268.1
9-Feb-2016	5.2	285.9
10-Feb-2016	6.5	913.7
11-Feb-2016	6.0	275.6
12-Feb-2016	5.3	269.1
13-Feb-2016	5.9	266.3
14-Feb-2016	7.4	250.3
15-Feb-2016	6.6	264.4
16-Feb-2016	6.0	276.6
17-Feb-2016	7.2	261.6
18-Feb-2016	7.3	256.9

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

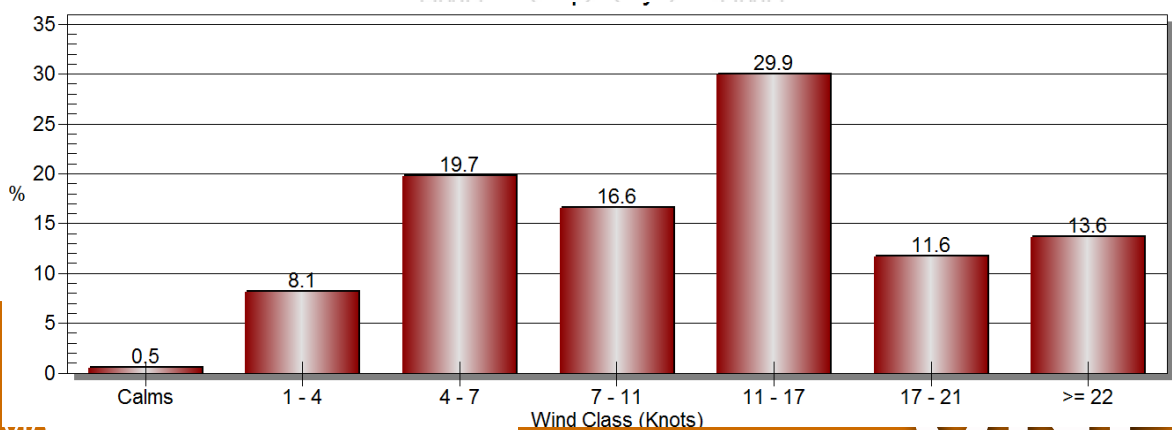
Rosa de vientos generado con los datos estación meteorológica Villarreal - FIGAE. Ver Figura N° 30, Gráfico N° 33.

Figura N° 30 Rosa de Vientos generado de la estación meteorológica Villarreal



Fuente: Elaboración Propia

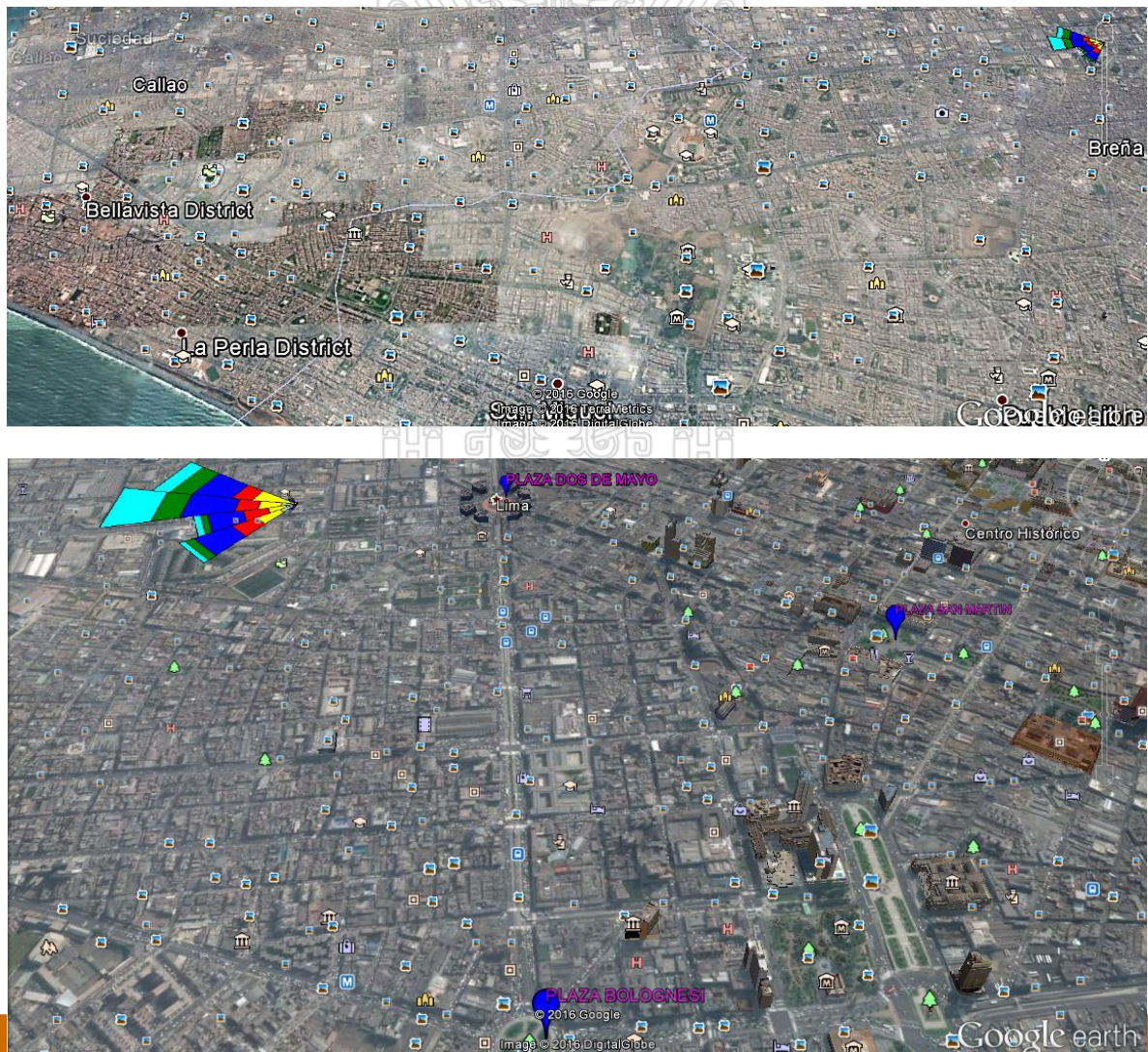
Gráfico N° 33 Distribución de frecuencias de la clase de viento- UNFV



Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico N° 33 se observa, que las velocidades del viento que se registraron, representa un 8.1% los que estuvieron entre 1 -4 m/s, son vientos de tipo ventolina y vientos suaves; en tanto un 19.7% representa las velocidades que oscilaban entre 4 -7 m/s, clasificados como vientos de tipo leve y moderado; por consiguiente representa un 16.6% las velocidades que oscilaron entre 7 -11 m/s, es decir, vientos de tipo moderados, regulares y fuertes; en tanto constituye un 29.9% las velocidades que oscilaban entre 11 – 17 m/s que son de tipo fuerte y ventarrón; por consiguiente representa un 11.6% la velocidad del viento que oscila entre 17 – 21 m/s que son de tipo ventarrón y temporal(viento duro), y finalmente en un 13.6% las velocidades del viento son ≥ 22 m/s, son de tipo Temporal fuerte (muy duro). Estos vientos están proviniendo desde Suroeste dirigiéndose hacia el Noroeste. Ver Figura N° 31.

Figura N° 31 Rosa de Vientos superpuesta en Google Earth- UNFV



Tesis p
No olvi

Fuente: Google Earth

autor

UNFV

En la imagen se observa que los vientos predominantes provienen del Oeste, desplazándose hacia el Noroeste.

4.5.2 Análisis con los datos de la Estación Meteorológica Campo de Marte - SENAMHI

Durante el periodo de muestreo de la calidad del aire, se tomaron los parámetros publicados del SENAMHI, la Velocidad del Viento y Dirección del Viento, de la estación meteorológica Campo de Marte, entre los meses de enero y febrero del 2016. Ver Tabla N° 9.

Distrito: Jesús María

Latitud: 12° 4' 14" **Longitud:** 77° 2' 35.3"

Altitud: 123

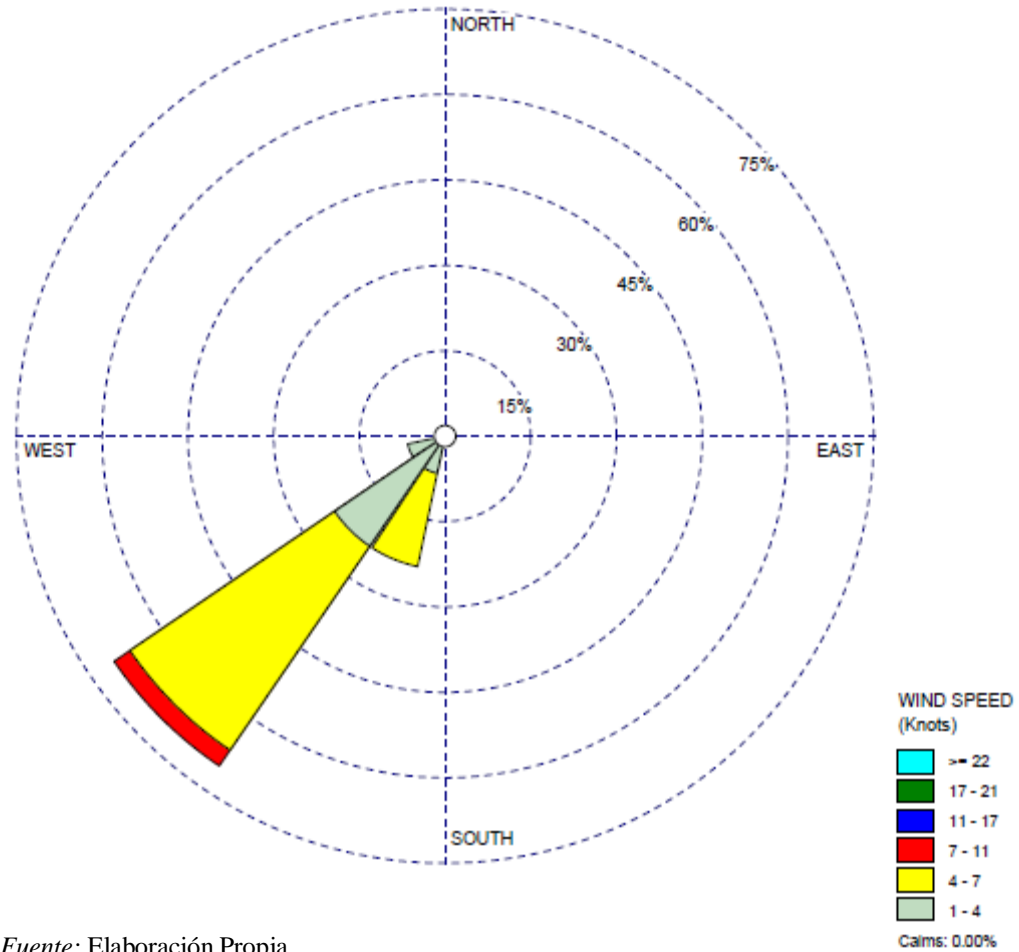
Tabla N° 9 Velocidad y Dirección del Viento en Jesús María

Día/mes/año	Velocidad del viento (m/s)	Dirección del viento
18- Ene-2016	0.9	248
19- Ene-2016	2.86	215
20- Ene-2016	3.01	218
22- Ene-2016	3.42	218
23- Ene-2016	3.35	219
26- Ene-2016	3.08	215
27- Ene-2016	3.19	215
28- Ene-2016	1.45	223
29- Ene-2016	1.68	220
30- Ene-2016	1.6	204
31- Ene-2016	1.42	211
01-Feb-2016	1.54	220
02-Feb-2016	1.68	218
03-Feb-2016	1.7	237
04-Feb-2016	1.85	218
05-Feb-2016	1.86	233
06-Feb-2016	3.35	202
07-Feb-2016	3.43	214
08-Feb-2016	1.89	220
09-Feb-2016	2.5	206
10-Feb-2016	2.78	213
11-Feb-2016	2.25	198
12-Feb-2016	2.58	211
13-Feb-2016	3.12	218
14-Feb-2016	3.43	217
15-Feb-2016	2.56	217
16-Feb-2016	2.73	224
17-Feb-2016	3.2	221
18-Feb-2016	3.8	215
19-Feb-2016	3.24	216

Fuente: SENAMHI

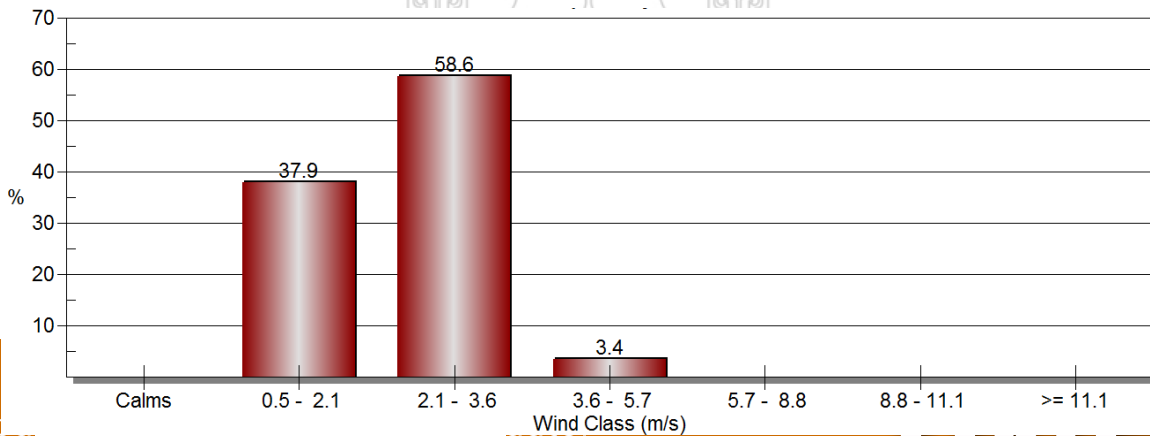
Rosa de vientos generado con los datos de la estación meteorológica automática Campo de Marte - SENAMHI. Ver Figura N° 32 y Gráfico N° 34.

Figura N° 32 Rosa de Vientos generado de la estación meteorológica Campo de Marte



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 34 Distribución de frecuencias de la clase de viento- SENAMHI



Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico N° 34 se observa, que las velocidades del viento que se registraron, representa 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. Ver Figura N° 33.

Figura N° 33 Rosa de Vientos superpuesta en Google Earth- SENAMHI



Fuente: Google Earth

En la imagen se observa que los vientos predominantes provienen del Sur Oeste, desplazándose hacia el Norte.

Te
No olvide citar esta tesis

UNFV

CAPÍTULO V: PROPUESTA

5.1 PROPUESTA PARA REDUCIR EL FLUJO VEHICULAR EN LAS PLAZAS HISTÓRICAS.

Con los datos obtenidos en la investigación se plantea lo siguiente:

Restringir el paso de los vehículos livianos (Automóviles de Servicio Público y Autos Privados) con un solo ocupante por las plazas históricas y solo permitir el paso de vehículos livianos con tres ocupantes a más; para ello prohibir la circulación de vehículos antiguos, con la finalidad de reducir la contaminación del aire en las plazas históricas del Cercado de Lima.

En la tabla N° 10, se muestra el Promedio total de los vehículos livianos (automóviles de servicio público (taxi), automóviles privados, camionetas panel, camionetas rural, entre otros), que circularon en las cuatro plazas (plaza Bolognesi, plaza Dos de Mayo, plaza San Martín y el Parque Universitario), durante el periodo de muestreo de la calidad del aire, que se realizó mediante el conteo in situ, entre los meses de enero y febrero del 2016, se observó que este tipo de vehículos son los que más circulan en cada plaza, representando entre un 85% y 93% aproximadamente.

Tabla N° 10 Promedio de total de vehículos livianos en las cuatro plazas

Días evaluados Plazas		N° de Vehículos contabilizados			Promedio	Porcentaje
		Lunes	Miércoles	Viernes		
Plaza Dos de Mayo	Mañana 9:00-10:00am	7136	7375	7435	7315	87.59%
Plaza Bolognesi	Mañana 9:00-10:00am	6669	6736	6802	6735	85.19%
Plaza San Martín	Mañana 9:00-10:00am	3142	3173	3205	3173	93.56%
Parque Universitario	Mañana 9:00-10:00am	5312	5365	5471	5382	86.05%
Total de vehículos livianos que circulan en las cuatro plazas					22215	

Tesis: Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ en plazas históricas del Cercado de Lima
 No. de identificación del autor

Fuente: Elaboración Propia

UNFV

5.1.1 Número de ocupantes que se transportan los vehículos livianos por cada plaza.

En la Tabla N° 11, se muestra el número de ocupantes, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza Dos de Mayo**, para ello se contabilizó in situ los vehículos con un sólo ocupante, con dos ocupantes y con tres ocupantes a más.

Tabla N° 11 Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza Dos de Mayo** en una hora

Tipo de vehículo Livianos	vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total	Porcentaje
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	908	1232	512	2652	31.75%
Autos Privados	1340	422	206	1968	23.56%
Otros		-		2695	32.28%
Total				7315	87.59%

Fuente: Elaboración Propia

55.31% son automóviles privados y autos de servicio público (taxis) del total de **87.59%** de vehículos livianos en la **Plaza Dos de Mayo**.

En la Tabla N° 12, se muestra el número de ocupantes, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza Bolognesi**, para ello se contabilizó in situ los vehículos con un sólo ocupante, con dos ocupantes y con tres ocupantes a más.

Tabla N° 12 Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza Bolognesi** en una hora

Tipo de vehículo Livianos	vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total	Porcentaje
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	498	869	345	1712	21.65%
Autos Privados	1696	752	157	2605	32.95%
Otros		-		2418	30.59%
Total				6735	85.19%

Tesis publicada con autorización del autor

No Fuente: Elaboración Propia

UNFV

54.6% son automóviles privados y autos de servicio público (taxis) del total de **85.19%** de vehículos livianos en la **Plaza Bolognesi**.

En la Tabla N° 13, se muestra el número de ocupantes, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza San Martín**, para ello se contabilizó in situ los vehículos con un sólo ocupante, con dos ocupantes y con tres ocupantes a más.

Tabla N° 13 Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en la **Plaza San Martín** en una hora

Tipo de vehículo Livianos	vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total	Porcentaje
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	735	241	199	1175	34.65%
Autos Privados	819	367	178	1364	40.22%
Otros	-			634	18.69%
Total				3173	93.56%

Fuente: Elaboración Propia

74.87% son automóviles privados y autos de servicio público (taxis) del total de **93.56%** de vehículos livianos en la **Plaza San Martín**.

En la Tabla N° 14, se muestra el número de ocupantes, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en el **Parque Universitario**, para ello se contabilizó in situ los vehículos con un sólo ocupante, con dos ocupantes y con tres ocupantes a más.

Tabla N° 14 Número de pasajeros, que transportan los automóviles privados y de servicio público (taxis) en el **Parque Universitario** en una hora

Tipo de vehículo Livianos	vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total	Porcentaje
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	752	805	573	2130	34.06%
Autos Privados	895	537	268	1700	27.18%
Otros	-			1552	24.81%
Total				5382	86.05%

Fuente: Elaboración Propia

61.24% son automóviles privados y autos de servicio público (taxis) del total de **86.05%** de vehículos livianos en el **Parque Universitario**.

5.2 APLICACIÓN DE LA PROPUESTA TEÓRICA

A. Regulación de la circulación de automóviles privados y públicos (taxis) en las plazas históricas del Cercado de Lima

Los automóviles privados y públicos (taxis) que circulan en las plazas históricas del Cercado de Lima, deberían transitar como mínimo con tres ocupantes (incluido el chofer); lo cual reduciría la cantidad de vehículos y por ende la reducción de contaminantes. Ver Tabla N° 15.

Tabla N° 15 Número de vehículos, con la Propuesta aplicada en la **Plaza Dos de Mayo**

Tipo de vehículo Livianos		vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total De Autos que circulan		Autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta
					Sin propuesta	Con propuesta	
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	Sin propuesta	908	1232	512	2652		-
	Con propuesta	*302	**821	512		1635	1017
Autos Privados	Sin propuesta	1340	422	206	1968		
	Con propuesta	*446	**281	206		933	1035
Otros (camionetas panel, rural, Pick up y microbús)					2695	2695	
Total					7315	5263	2052

Fuente: Elaboración Propia

* Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 1 ocupante (solo el chofer), debería circular un vehículo con tres ocupantes.

** Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 2 ocupantes (incluido el chofer), debería circular dos vehículos con tres ocupantes cada uno.

Sin propuesta circulan 7315 vehículos Livianos en una hora, entre Automóviles Privados y de Servicio Público (Taxis), entre otros.

Con propuesta circularían 5263 vehículos Livianos en una hora, dejando de circular **2052 unidades**, reduciendo el tráfico vehicular y la contaminación del aire.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

En la Tabla N° 16, se muestra la cantidad de vehículos (livianos), con uno, dos y tres ocupantes a más y el total de autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta en la **Plaza Bolognesi**.

Tabla N° 16 Número de vehículos, con la Propuesta aplicada en la **Plaza Bolognesi**

Tipo de vehículo Livianos		vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total De Autos que circulan		Autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta
					Sin propuesta	Con propuesta	
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	Sin propuesta	498	869	345	1712		-
	Con propuesta	*166	**579	345		1090	622
Autos Privados	Sin propuesta	1696	752	157	2605		
	Con propuesta	*565	**501	157		1223	1382
Otros (camionetas panel, rural, Pick up y microbús)					2418	2418	
Total					6735	4731	2004

Fuente: Elaboración Propia

* Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 1 ocupante (solo el chofer), debería circular un vehículo con tres ocupantes.

** Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 2 ocupantes (incluido el chofer), debería circular dos vehículos con tres ocupantes cada uno.

Sin propuesta circulan 6735 vehículos Livianos en una hora, entre Automóviles Privados y de Servicio Público (Taxis), entre otros.

Con propuesta circularían 4731 vehículos Livianos en una hora, dejando de circular **2004 unidades**, reduciendo el tráfico vehicular y la contaminación del aire.

En la Tabla N° 17, se muestra la cantidad de vehículos (livianos), con uno, dos y tres ocupantes a más y el total de autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta en la **Plaza San Martín**.

Tabla N° 17 Número de vehículos, con la Propuesta aplicada en la **Plaza San Martín**

Tipo de vehículo LIVIANOS		vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total De Autos que circulan		Autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta
					Sin propuesta	Con propuesta	
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	Sin propuesta	735	241	199	1175		-
	Con propuesta	*245	**160	199		604	571
Autos Privados	Sin propuesta	819	367	178	1364		
	Con propuesta	*273	**244	178		695	669
Otros (camionetas panel, rural, Pick up y microbús)					634	634	
Total					3173	1933	1240

Fuente: Elaboración Propia

* Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 1 ocupante (solo el chofer), debería circular un vehículo con tres ocupantes.

** Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 2 ocupantes (incluido el chofer), debería circular dos vehículos con tres ocupantes cada uno.

Sin propuesta circulan 3173 vehículos Livianos en una hora, entre Automóviles Privados y de Servicio Público (Taxis), entre otros.

Con propuesta circularían 1933 vehículos Livianos en una hora, dejando de circular **1240 unidades**, reduciendo el tráfico vehicular y la contaminación del aire.

En la Tabla N° 18, la cantidad de vehículos (livianos), con uno, dos y tres ocupantes a más y el total de autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta en el **Parque Universitario**.

Tabla N° 18 Número de vehículos, con la Propuesta aplicada en el **Parque Universitario**

Tipo de vehículo LIVIANOS		vehículos con un sólo ocupante	vehículos con dos ocupantes	vehículos con tres ocupantes a más	Total De Autos que circulan		Autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta
					Sin propuesta	Con propuesta	
Automóviles de Servicio Público (Taxis)	Sin propuesta	752	805	573	2130		-
	Con propuesta	*250	**536	573		1359	771
Autos Privados	Sin propuesta	895	537	268	1700		
	Con propuesta	*298	**358	268		924	776
Otros (camionetas panel, rural, Pick up y microbús)					1552	1552	
Total					5382	3835	1547

Fuente: Elaboración Propia

* Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 1 ocupante (solo el chofer), debería circular un vehículo con tres ocupantes.

** Esta cantidad representa, que por cada 3 vehículos que circularon con 2 ocupantes (incluido el chofer), debería circular dos vehículos con tres ocupantes cada uno.

Sin propuesta circulan 5382 vehículos Livianos en una hora, entre Automóviles Privados y de Servicio Público (Taxis), entre otros.

Con propuesta circularían 3835 vehículos Livianos en una hora, dejando de circular **1547 unidades**, reduciendo el tráfico vehicular y la contaminación del aire.

5.2.1 Total de vehículos livianos que dejarían de circular en las cuatro plazas.

En la Tabla N° 19, se muestra el resumen total de los vehículos livianos que circulan y dejarían de circular en las cuatro plazas, si se aplica la propuesta.

Tabla N° 19 Total de Vehículos livianos que circulan y dejarían de circular en las cuatro plazas, si se aplica la propuesta

PLAZAS	Total de Autos que circulan Sin propuesta	Total de Autos que circularían Con propuesta	Autos que dejarían de circular si se aplica la propuesta
Plaza Dos de Mayo	7315	5263	2052
Plaza Bolognesi	6735	4731	2004
Plaza San Martín	3173	1933	1240
Parque Universitario	5382	3835	1547
TOTAL	22605	15762	6843

Fuente: Elaboración Propia

El total de Vehículos livianos que circulan en las cuatro plazas es de 22605, aplicando la propuesta circularían **15762 vehículos** y **dejarían de circular 6843** unidades.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según **Tantaleán, J. (2006)**. En su Tesis titulado “Evaluación de la calidad del aire en el centro histórico de Lima en el mes de febrero del 2005”, realizó la investigación para conocer la severidad de la contaminación atmosférica en el Centro Histórico de Lima, planteando como objetivos: determinar la diferencia entre métodos de muestreo de Tubos pasivos y el de analizador de los gases; determinar la variabilidad temporal de los contaminantes; y las relaciones entre los factores de dispersión (V, T y HR) y los contaminantes SO₂, NO₂, CO, PM₁₀ y PM_{2.5}. Utilizo el **método pasivo** que consistió en las mediciones de las concentraciones de NO₂ y SO₂, mediante tubos pasivos expuestos por 20 días, en 8 puntos distribuidos y ubicados estratégicamente en el centro histórico de Lima, los que permitieron analizar su comportamiento espacial, para obtener así información panorámica de las zonas más afectadas y ver su relación con los factores de dispersión (viento, temperatura y humedad relativa); y también se utilizaron equipos analizadores electrónicos para analizar el comportamiento temporal, en el cual estos se colocaron en un punto dado del sector Centro Histórico y se midió durante una semana los siguientes parámetros: SO₂, NO₂, CO, PM_{2.5} y PM₁₀, dando una lectura horaria con lo que se pudo analizar el comportamiento horario, diario, y semanal de los gases y material particulado. Sus resultados muestran que las concentraciones de SO₂, NO₂ y CO están muy por debajo de los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental del Aire del Perú.

La presente investigación coincide con la tesis desarrollado por García, J. & Tantaleán, J. en el 2006; ya que los resultados obtenidos de las concentraciones de dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno por el método de difusión pasiva (realizada en el 2016) también se encuentran por debajo de los valores establecidos por los Estándares de Calidad del Aire del Perú.

Con respecto a la concentración del dióxido de azufre, los datos obtenidos en promedio en la presente investigación (3.575 µg/m³) difiere a los obtenidos por García, J. & Tantaleán, J. (30.037 µg/m³) ambos por el método de difusión pasiva, en cambio los resultados obtenidos en promedio para la concentración del dióxido de nitrógeno, por el método de difusión pasiva, en esta investigación, (39.162 µg/m³) se aproxima de los obtenidos por autores anteriormente mencionados (39.025 µg/m³).

- Según Sotomayor, A. & Marín, G. (2010) en su tesis titulada: “Evaluación e interpretación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en el aire de Lima Metropolitana”, propusieron como objetivo, determinar las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre en el aire de Lima Metropolitana. El método empleado para la determinación de dióxido de nitrógeno fue de Griess – Saltzman y para determinar el dióxido de azufre utilizó el método modificado de West Gaeke. Llegando a la conclusión mediante tales resultados, el promedio de las concentraciones de dióxido de nitrógeno fue de 57,277 µg/m³, el cual se encuentra dentro del límite establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (100 µg/m³) y por encima del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (40 µg/m³). El promedio de las concentraciones de dióxido de azufre fue de 36,859 µg/m³, el cual está dentro del límite establecido por la Dirección General de Salud Ambiental (80 µg/m³) y por encima del valor guía establecido por la Organización Mundial de la Salud (20 µg/m³). Ver Tabla N° 20.

Tabla N° 20 Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas, 2010

Estación	Promedio NO ₂ (µg/m ³)	Promedio SO ₂ (µg/m ³)
Plaza Dos de Mayo	60.564	31.537
Plaza Bolognesi	61.406	37.220
Cruce Av. Abancay – Av. N. de Piérola	59.863	41.821
Promedio	57.277	36.859

Fuente: Sotomayor, 2010

En la presente investigación ejecutada (2016) a diferencia de la investigación realizada por Sotomayor, A. & Marín, G. (2010), se determinaron las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre por el método de Análisis de Saltzmann y Cromatografía Iónica respectivamente en el laboratorio acreditado Passam AG de Suiza, mientras el análisis de la investigación desarrollada en el 2010 se realizó en el laboratorio de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM, la cual en esta investigación se obtuvieron como resultados, que el promedio de las concentraciones de dióxido de nitrógeno, fue de 41,1 µg/m³, y de dióxido de azufre fue de 3.5 µg/m³, en tanto la investigación realizada por Sotomayor los resultados obtenidos fueron de 57.277 µg/m³ para la concentración promedio de dióxido de nitrógeno y 36.859 µg/m³ para la concentración promedio de dióxido de azufre,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

coincidiendo ambas investigaciones en los siguientes puntos de muestreo, la Plaza Dos de Mayo, Plaza Bolognesi y el Parque Universitario entre las Av. Abancay – Av. N. de Piérola,

UNFV

observándose una reducción de concentración en los gases. Ver Tabla N° 21.

Tabla N° 21 Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas, 2016

Estación	Promedio NO ₂ (µg/m ³)	Promedio SO ₂ (µg/m ³)
Plaza Dos de Mayo	50.9	3.95
Plaza Bolognesi	35.60	2.95
Parque Universitario entre las Av. Abancay y Av. N. de Piérola	36.80	3.60
Promedio	41.1	3.5

Fuente: Elaboración Propia

-Según Araujo, B. & Belaunde, F. (2008), en su Tesis titulada: “**Incidencia de Emisiones vehiculares sobre la calidad del aire y los casos de infecciones respiratorias en Lima Metropolitana y Callao**”, proponen “Determinar la relación de las emisiones vehiculares del Parque Automotor y la calidad del aire con los casos de infecciones respiratorias en Lima Metropolitana y Callao dentro del período 2001 – 2007”, utilizando el **método de Espectrofotometría de absorción atómica**, llegando a la conclusión que las emisiones vehiculares han aumentado durante el período 2001 – 2007, sin embargo, este crecimiento no ha sido tan significativo como el del Parque Automotor, ya que se debe principalmente a la incorporación de vehículos con tecnologías modernas, al cambio de la matriz energética y una mejora en la calidad de los combustibles.

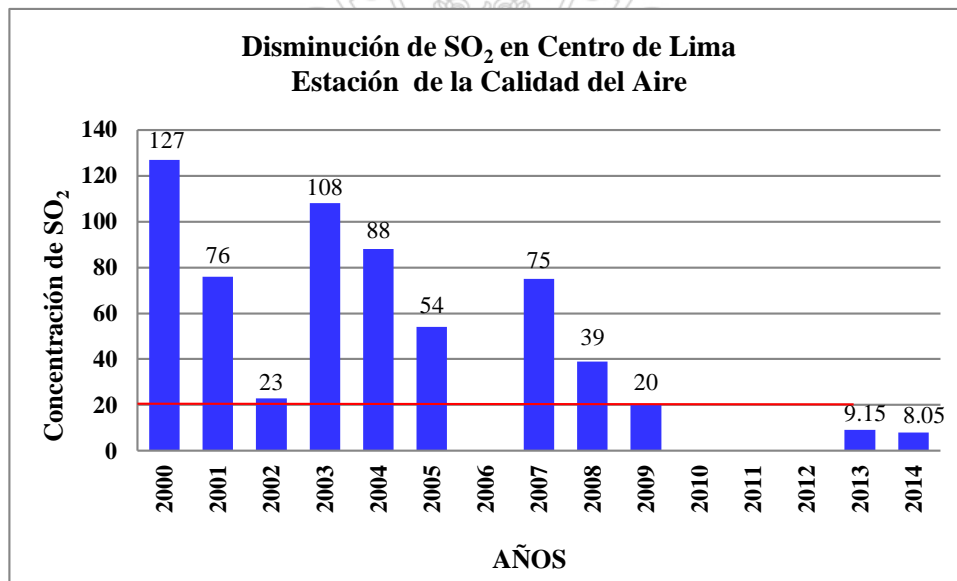
En la presente investigación a diferencia de lo realizado por Araujo, B. & Belaunde, F. en el **2008**, la metodología utilizada fue por el método de difusión pasiva, debido a las ventajas que presenta, como su reducido costo económico, por su facilidad de ubicación, no necesita de alimentación eléctrica, es de instalación discreta, permite una elevada resolución espacial y es muy adecuado para estudios de calidad del aire. Con respecto al flujo vehicular en los últimos años (2013-2016) se ha incrementado significativamente, sin embargo las concentraciones de SO₂ y NO₂ en la calidad del Aire, han ido disminuyendo moderadamente, esto debido a las políticas de regulación para erradicar los vehículos de mayor antigüedad, además el cumplimiento de la Ley N° 29237, del Sistema Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares que tiene como finalidad certificar el buen funcionamiento y mantenimiento de los vehículos que circulan por las vías públicas, y también la aplicación de la Ley N° 28694

Tesis publicada con autorización del autor
(26.03.2006) que regula el contenido del azufre en el diésel.
No olvide citar esta tesis

UNFV

-Según la Dirección General de Calidad Ambiental del **Ministerio del Ambiente** – Perú, en el año 2014, mediante su publicación, “Perú: Experiencia Latinoamericana Combustibles, Transporte, Calidad del Aire y la Estrategia Nacional”, señaló la Disminución del SO₂ en Lima. (Ver gráfico N° 35). Se puede observar que en el intervalo de los años 2000-2014, el año 2000, presenta la mayor concentración de dióxido de azufre con 127 µg/m³ y que ha ido disminuyendo a través de los años , ya que en el año 2014 se obtiene una concentración de 8.05 µg/m³, estando por debajo de los estándares de calidad del aire.

Gráfico N° 35 Disminución de SO₂ en Centro de Lima, 2000-2014



Fuente: MINAM, 2014

Mediante la presente investigación, se puede notar que realmente la concentración del SO₂ ha ido disminuyendo, presentando un valor promedio de dicho parámetro de 3.57 µg/m³ que fue medido entre los meses de enero y febrero del 2016 los puntos de muestreo.

-Según el **Informe de datos de las Estaciones Automáticas de Medición de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid**. Entre los meses de enero febrero del 2016, se evaluaron los parámetros de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno entre otros, en el cual los puntos de monitoreo fueron entre ellos la Plaza España, Plaza del Carmen y Plaza de Castilla, teniendo como resultados del dióxido de nitrógeno de 46.95 µg/m³, 49.08 µg/m³ y 50.32 µg/m³ respectivamente, en tanto la concentración de dióxido de azufre en las plazas mencionadas de España y del Carmen de 9.19 µg/m³ y 10.73 µg/m³. Ver Tabla N° 22.

Tabla N° 22 Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas de España, 2016

Estación	Promedio NO ₂ (µg/m ³)	Promedio SO ₂ (µg/m ³)
Plaza España	46.95	9.19
Plaza del Carmen	49.08	10.73
Plaza de Castilla	50.32	-
Promedio	48.78	9.96

Fuente: España, 2016

La presente investigación coincide con el Informe de datos de las Estaciones Automáticas de Medición de la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire del Ayuntamiento de Madrid, en los siguientes aspectos; los datos de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre se tomaron entre los meses de enero y febrero; así mismo los puntos de muestreo fueron establecidos en plazas históricas.

Se compararon con los resultados de las concentraciones de SO₂ y NO₂ de la Plaza España, Plaza del Carmen y Plaza de Castilla, con respecto a la presente investigación se consideraron las Plazas: Dos de Mayo, Bolognesi, y San Martín, teniendo como resultado las concentraciones promedio de NO₂ (39.95 µg/m³) y de SO₂ (3.56 µg/m³). Ver tabla 23.

Con respecto al Informe de Madrid, el promedio de las concentraciones de dióxido de nitrógeno fue de 48.78 µg/m³ y de dióxido de azufre fue de 9.96 µg/m³ respectivamente en las tres plazas mencionadas. Ambos resultados no sobrepasan los estándares de la calidad del Aire con respecto al dióxido de azufre, emitidos por la OMS (20 µg/m³), en cambio con el parámetro de dióxido de nitrógeno, la presente investigación se encuentra al límite y la Ciudad de Madrid sobrepasa los estándares de la OMS (40 µg/m³).

Tabla N° 23 Promedio de NO₂ y SO₂ en las plazas históricas, 2016

Estación	Promedio NO ₂ (µg/m ³)	Promedio SO ₂ (µg/m ³)
Plaza Dos de Mayo	50.9	3.95
Plaza Bolognesi	35.60	2.95
Plaza San Martín	33.35	3.80
Promedio	39.95	3.56

Fuente: Elaboración Propia

Tesis publicada por el autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

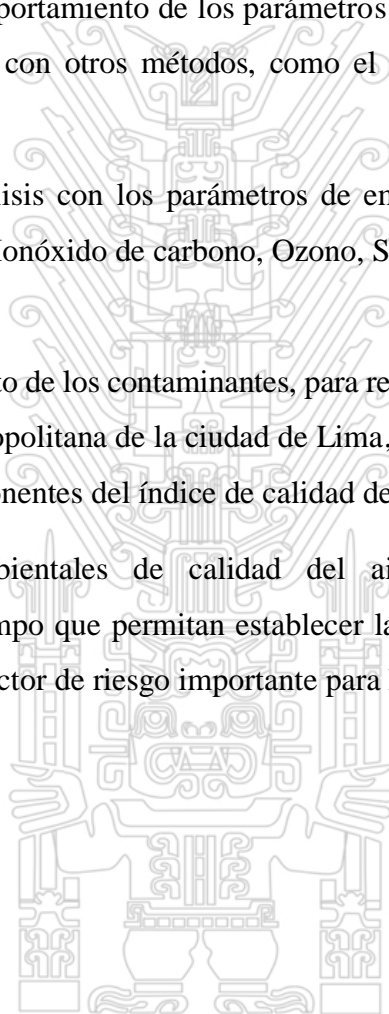
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- ♦ El mayor flujo vehicular se presenta en la plaza Dos de Mayo, donde circulan 8284 vehículos / hora en promedio, y el menor flujo vehicular se da en la plaza San Martín con 3315 vehículos/hora, esto debido a que tiene el acceso restringido para los buses, combis y vehículos pesados a diferencia de la plaza Dos de Mayo.
- ♦ La mayor concentración de NO₂, se obtuvo en la plaza Dos de Mayo con 50.9 µg/m³, y la menor concentración en la plaza San Martín con 33.35 µg/m³, así mismo la mayor concentración de SO₂, se obtuvo en la plaza Dos de Mayo con 3.95 µg/m³, y la menor concentración en la plaza Bolognesi con 2.95 µg/m³, de acuerdo a los valores obtenidos del NO₂, los resultados no superan a los estándares de calidad ambiental (100 µg/m³ anual), sin embargo, de acuerdo al estándar anual de la OMS (40 µg/m³ para el NO₂) fue superado por la Plaza Dos de Mayo, con 50.9 µg/m³; y con respecto a los valores obtenidos de SO₂, de igual manera los resultados no superan el ECA del aire (20 µg/m³ en 24 Horas), dichas concentraciones presentadas son variables ya que están asociadas a la estación del año y al constante aumento del flujo vehicular.
- ♦ Con los datos obtenidos del flujo vehicular y las concentraciones para el NO₂, existe un grado de asociación directo, donde a mayor flujo vehicular se presenta un notable incremento en la concentración de dicho parámetro; y con respecto a las concentraciones registradas para el SO₂, no existe un grado de asociación con el flujo vehicular, es decir, que el dióxido de azufre no varía principalmente en función del flujo vehicular en las plazas históricas.
- ♦ Las plazas investigadas, al ser consideradas históricas, se convierten en plazas turísticas, por lo cual la demanda de flujo vehicular genera además de gases contaminantes, un alto tráfico, congestionando las vías y produciendo ruidos constantes, afectando el ornato de la ciudad y la salud ambiental de los usuarios; por tal motivo la propuesta planteada contribuye a la reducción del flujo vehicular, de 22605 unidades, a 15762 unidades por lo cual dejarían de circular 6843 unidades, trayendo como consecuencia la reducción gases contaminantes que estos emiten.

6.2 RECOMENDACIONES

- ♦ Determinar el flujo vehicular promedio, realizando el conteo tres veces al día (dos horas continuas) durante el periodo de muestreo, eligiendo entre los tres días más transitados de la semana e identificando el combustible utilizado por los vehículos.
- ♦ Efectuar mediciones de la calidad del aire, en las cuatro estaciones del año, para así poder comparar el comportamiento de los parámetros muestreados por cada estación y realizar comparaciones con otros métodos, como el método automático y el método continuo.
- ♦ Complementar los análisis con los parámetros de emisión de los vehículos como el Material Particulado, Monóxido de carbono, Ozono, Sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono.
- ♦ Realizar el modelamiento de los contaminantes, para realizar el Pronóstico de la calidad del aire en el área metropolitana de la ciudad de Lima, a través del análisis de las series de tiempo de los componentes del índice de calidad del aire.
- ♦ Plantear estudios ambientales de calidad del aire en conjunto con estudios epidemiológicos de campo que permitan establecer la incidencia de la contaminación atmosférica como un factor de riesgo importante para la salud humana.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo Salas, B. L., & Besich Belaunde, F. (2008). *Incidencia de emisiones vehiculares sobre la localidad del aire y los casos de infecciones respiratorias en Lima Metropolitana* (No. T01 A66-T). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Ciclo Optativo de Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental.

Boffi Lissin, L., Zellner, M., & Theinhardt, N. (2012). *Análisis de índices de contaminación del aire en la Ciudad de Buenos Aires*.

Carpio, C., & Mabel, C. (2012). *Construcción y validación de dispositivos para el monitoreo pasivo de dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂) en la ciudad de Arequipa-Perú*.

Castillo Landa, M. C. (2014). *Análisis del diseño de la política de la calidad del aire de la Municipalidad Metropolitana de Lima: 2010-2012*.

Chachapoya, V., & Priscila, M. (2015). *Valoración de la campaña de monitoreo pasivo de gases en la ciudad de Ambato para el diseño del sistema de calidad del aire de la ciudad 2013-2014* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional SEK).

Dirección General de Salud Ambiental. (2005). *Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire y Gestión de los datos*.

Hernández Gutiérrez, J. A., & Carabali Camacho, J. Y. (2012). *Determinación de la incidencia que tiene la medida de restricción vehicular (pico y placa) en la emisión de material particulado PM10 en el sector de la calle 80 con intersecciones entre la Av. 68 y la av. Boyacá*.

León Loja, C. T., & León Ordóñez, M. T. (2009). *Monitoreo y simulación de la calidad de aire de la ciudad de Cuenca*.

Liebenthal, A., & Salvemini, D. (2011). *Promoting Environmental Sustainability in Peru: A Review of the World Bank Group's Experience (2003–2009)*. IEG Working paper 2011/1.

IFC. MIGA. World Bank: Washington, DC, USA.

Pérez Palomino, P. C. (2011). *Propuesta de conversión del parque automotor de Lima y Callao para el uso de gas natural*.

Perú. (2006). *La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud u la vida de sus habitantes*. Defensoría del Pueblo.

Rivera Poma, J. M. (2012). *Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos críticos en Lima–Callao*.

Sánchez-Ccoyllo, O. R., Ordoñez, C. G., Gavidia, M. E., Silva, J. S., Angulo, J. L., Blas, D. & Aguirre, A. R. (2011). *Evaluación de la calidad del aire en Lima Metropolitana 2011*. Lima: SENAMHI.

Sánchez, C. E. Z., Hurtado, R. Q., Vásquez, E. M., Hernández, C. M. R., & Gaviria, G. L. (2008). *Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos*. *Gestión y ambiente*, 11(1), 67-84.

Silva Cotrina, J., & Montoya Cabrera, Z. (2011). *Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona metropolitana de Lima-Callao durante el año 2004*. *Revista Acta Nova*, 3(2).

Sotomayor Torres, A. E., & Marín Vallejos, G. M. (2010). *Evaluación e interpretación de las concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido [de] azufre en el aire de Lima Metropolitana*.

Tantaleán Noriega, J. (2006). *Evaluación de la calidad de aire en el centro histórico de Lima en el mes de febrero del 2005* (No. T01 T3-T). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú). Facultad de Ciencias. Dpto. de Ingeniería Física y Meteorología.

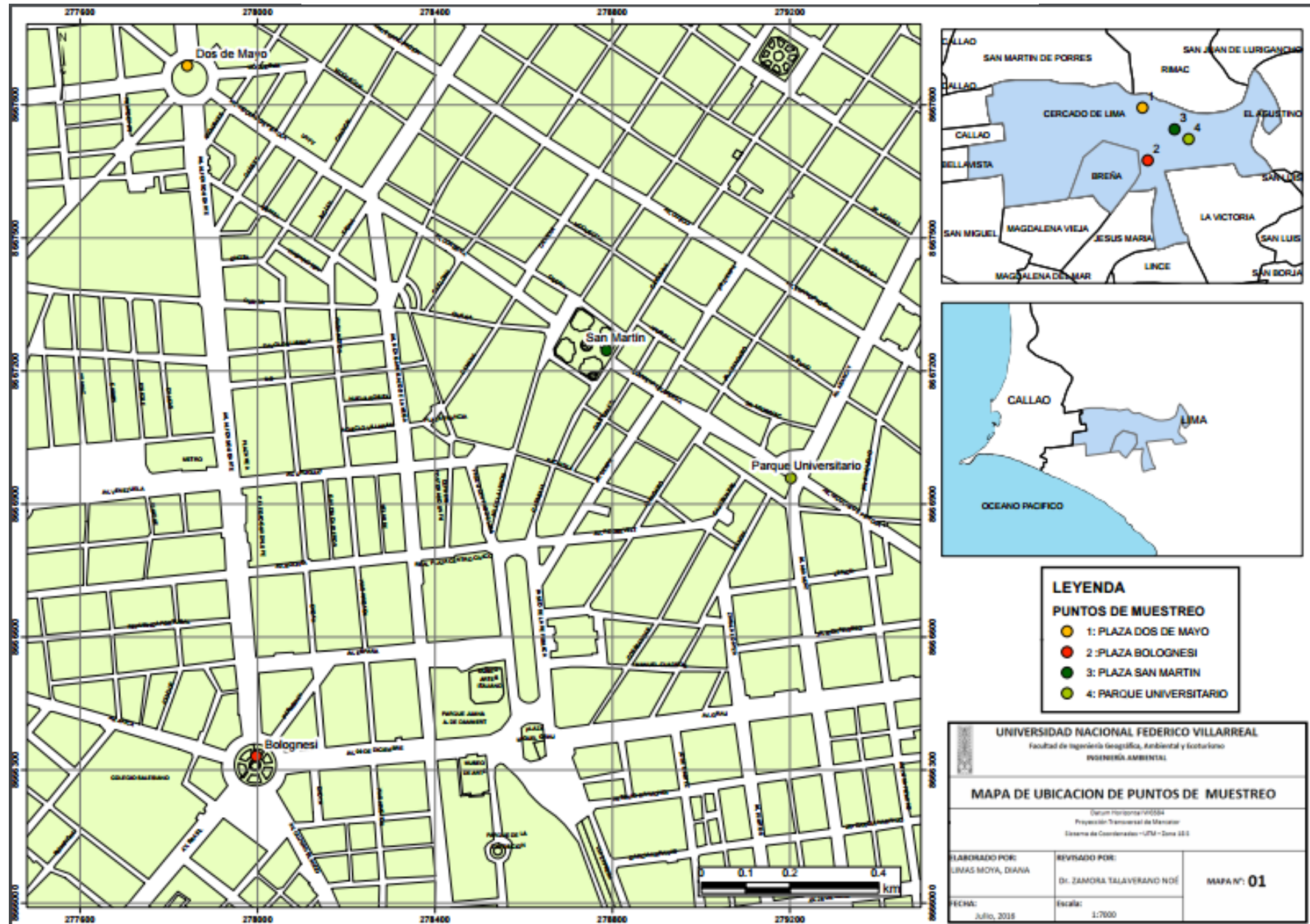
Telenchana, C., & Susana, L. (2010). *Análisis de la Concentración de Contaminantes SO₂ y BTX Usando Sensores Pasivos*.

ANEXOS

1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.
2. Fotografías de las plazas históricas: Plaza Dos de Mayo, Plaza San Martín y el Parque Universitario.
3. Croquis de ubicación de los puntos de conteo vehicular en la Plaza Dos de Mayo.
4. Croquis de ubicación de los puntos de conteo vehicular en la Plaza San Martín.
5. Croquis de ubicación de los puntos de conteo vehicular en la Plaza Bolognesi.
6. Croquis de ubicación de los puntos de conteo vehicular en el Parque Universitario.
7. Procedimientos para la cuantificación del número de vehículos que circulan por cada plaza.
8. Formato utilizado para realizar el conteo de vehículos.
9. Gestión de la adquisición de los materiales de muestreo.
10. Adquisición de Muestreadores Pasivos de NO₂ y SO₂.
11. Documento de permiso a la Municipalidad Metropolitana de Lima para instalar los muestreadores pasivos.
12. Instalación de los Portatubo Pasivos en cada plaza.
13. Hoja de custodia para el NO₂.
14. Hoja de custodia para el SO₂.
15. Resultados del análisis de laboratorio de los tubos pasivos para NO₂.
16. Resultados del análisis de laboratorio de los tubos pasivos para SO₂.
17. Mapa de Isolíneas de concentración de NO₂.
18. Mapa de Isolíneas de concentración de SO₂.
19. Parque Vehicular Nacional estimado, según clase de vehículo: 2005-2014.
20. Costo de la Investigación.

ANEXO 1

MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

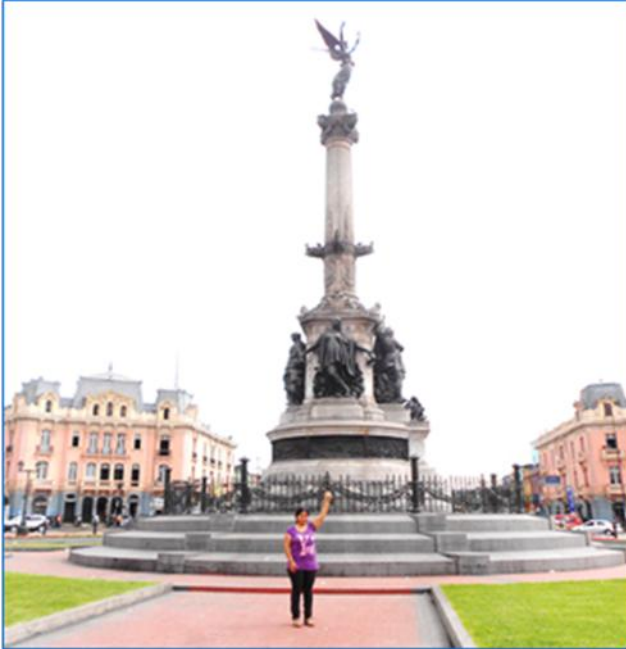


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

ANEXO 2

Fotografías de las plazas históricas: Plaza Dos de Mayo, Plaza San Martín y el Parque Universitario

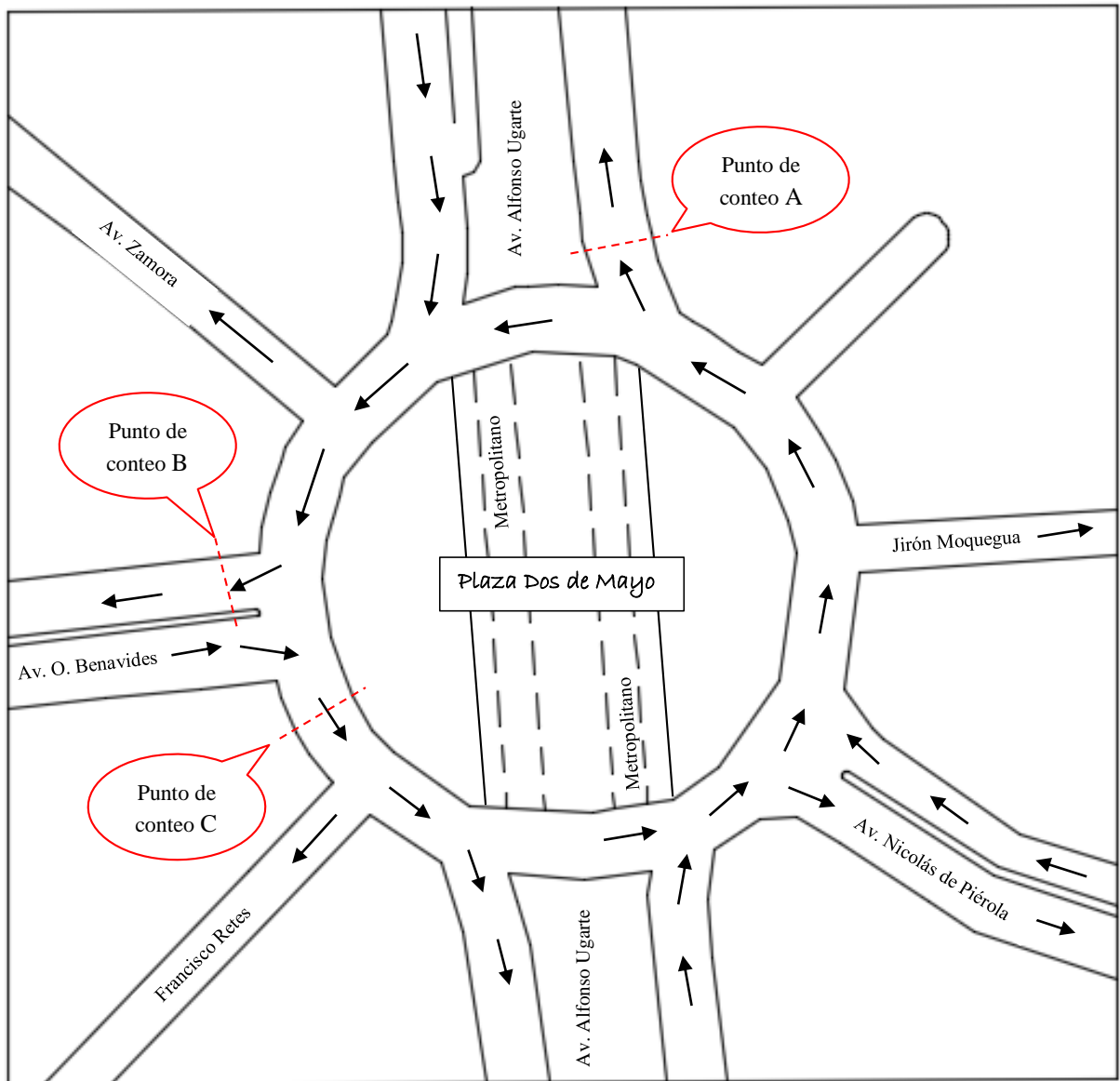


Ubicación de los puntos de muestreo y toma de coordenadas con GPS



ANEXO 3

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTEO VEHICULAR EN LA PLAZA DOS DE MAYO



Fuente: Elaboración propia

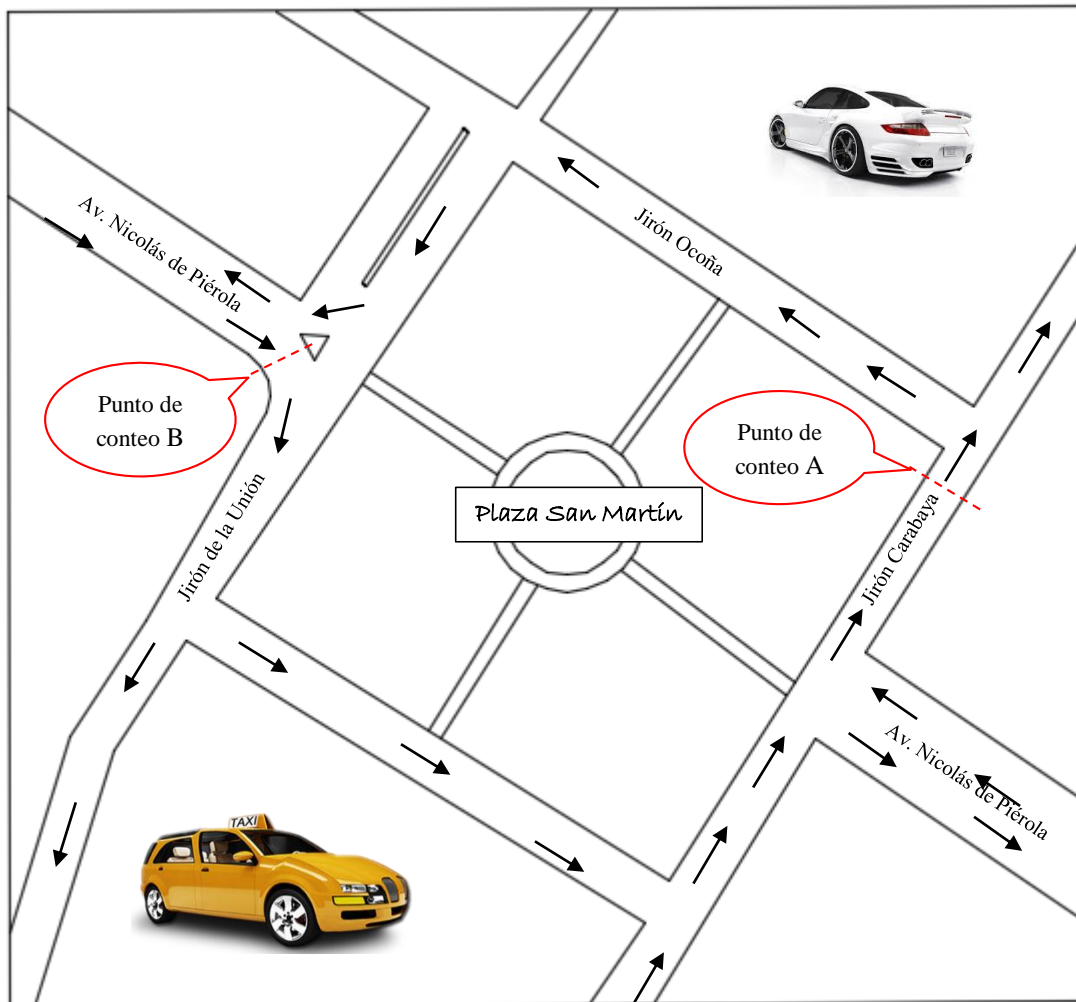
Se eligieron los puntos ABC para el conteo del número de vehículos que circulan por la Plaza dos de mayo, según estudio observacional del comportamiento del flujo vehicular.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNFV

ANEXO 4

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTEO VEHICULAR EN LA PLAZA SAN MARTÍN

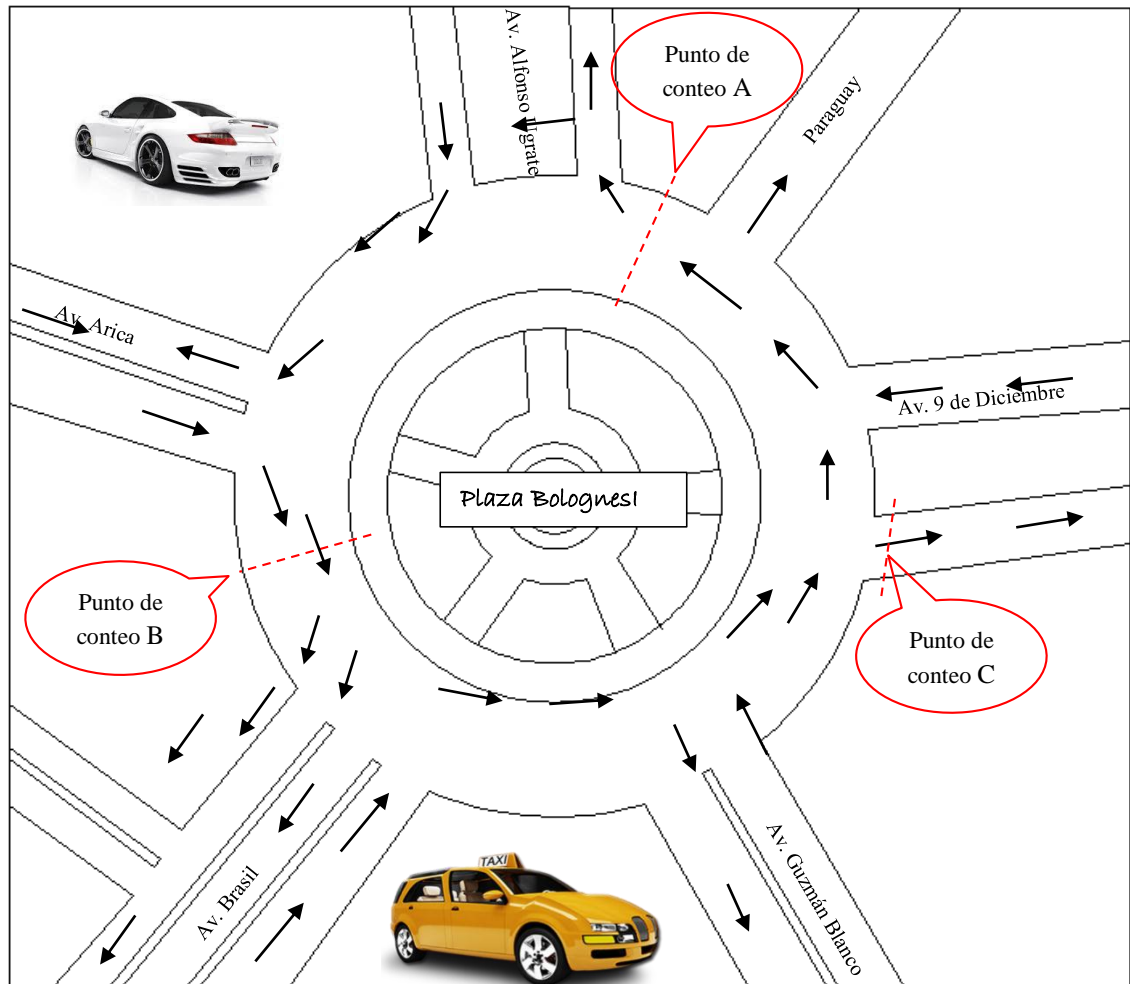


Fuente: Elaboración propia

Se eligieron los puntos AB para el conteo del número de vehículos que circulan por la Plaza San Martín, según estudio observacional del comportamiento del flujo vehicular.

ANEXO 5

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTEO VEHICULAR EN LA PLAZA BOLOGNESI

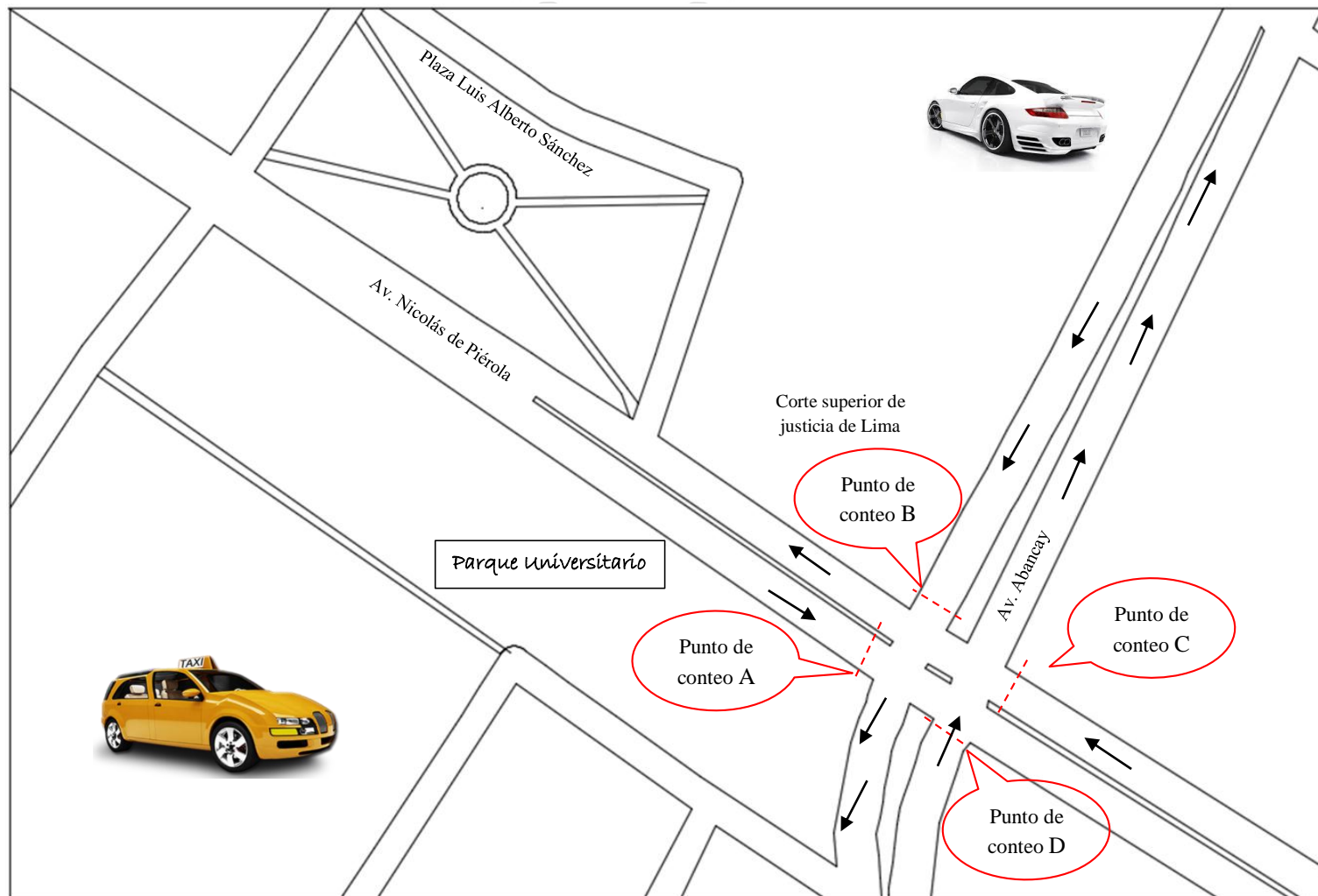


Fuente: Elaboración propia

Se eligieron los puntos ABC para el conteo del número de vehículos que circulan por la Plaza Bolognesi, según estudio observacional del comportamiento del flujo vehicular.

ANEXO 6

CROQUIS DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CONTEO VEHICULAR EN EL PARQUE UNIVERSITARIO



Fuente: Elaboración propia

Se eligieron los puntos ABCD para el conteo del número de vehículos que circulan por el Parque Universitario, según estudio observacional del comportamiento del flujo vehicular.

ANEXO 7

Cuantificación del número de vehículos que circulan por cada plaza.



Fotografía 1: cuantificación del número de vehículos en la plaza Bolognesi.



Fotografía 2: Filmación del flujo vehicular que circulan en la Plaza Dos de Mayo.



Fotografía 3: Equipo de apoyo para la cuantificación de los vehículos.

ANEXO 8

Formato utilizado para realizar el conteo de vehículos

TIPOS DE VEHICULOS		Día	9:00 am a 10:00 am			PLAZA		
			9:00 - 9:20		9:20 - 9:40		9:40 - 10:00	
L I V I A N O S	Automóvil (PARTICULAR)							
	Station Wagon (TAXIS)							
	Pick up (4*4)							
	Camioneta rural (COMBIS)							
	Camioneta Panel (CARGA LIGERA)							
	Microbús							
P E S A D O S	Camión Remolcador (TRAILER)							
	ómnibus							
	Camión (CARGA PESADA)							
M E N O R E S	Motos lineales							
	Moto taxi							
	trimotos de carga							

ANEXO 9

Gestión de la adquisición de los materiales de muestreo

"Año de la Diversificación Productiva y del fortalecimiento de la Educación"

Solicito: Servicio de Análisis de Laboratorio para SO₂ y NO₂ por el método de difusión pasiva.

Señor: Roland Klepel

Gerente General de KLEPEL CONSULTING SAC

Por medio de la presente, solicito el Servicio de Análisis de Laboratorio, para el monitoreo de la Calidad del Aire por el método de difusión pasiva, como se detalla a continuación:

Servicio de Análisis de:	Cantidad
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂) por Tubos Pasivos	Para 11 muestras
Dióxido de Azufre (SO ₂) por Tubos Pasivos	Para 11 muestras

Para realizar el pago por los servicios (que es asumido por la Universidad Nacional Federico Villarreal) es necesario que nos remita la factura correspondiente, con la siguiente consideración:

Razón Social: Universidad Nacional Federico Villarreal
N° RUC : 20170934289
Dirección : Calle Carlos Gonzales N° 285, Maranga San Miguel.

Aprovecho la oportunidad para brindarle mis saludos cordiales, esperando su pronta respuesta, para iniciar con la toma de muestras que contempla mi proyecto de Investigación.

Lima, 29 de octubre del 2015

Atentamente:


DIANA CAROLINA LIMAS MOYA
DNI: 45887090
Responsable del proyecto de investigación
Email: dianalimasmoya@gmail.com


Dr. NOE SABINO ZAMORA TALAVERANO
Asesor del proyecto de investigación

- Adjunto: Resolución del proyecto

ANEXO 10

Recibiendo los materiales (Tubos Pasivos de NO₂ y SO₂)



Fotografía 1: Materiales de muestreo por parte de la empresa Klepel Consulting SAC



Fotografía 2: Portatubo pasivo que se instaló al poste de alumbrado público



Fotografía 3: demostración de la instalación del muestreador pasivo por el Ing. Roland Klepel

ANEXO 11

DOCUMENTO DE PERMISO A LA MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA
PARA INSTALAR LOS MUESTREADORES PASIVOS



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Facultad de Ingeniería
Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

DI: 251865-2015

"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"

Dr. Luis Castañeda Lossio

Alcalde de la Municipalidad Metropolitana de Lima



Asunto: Proyecto de Investigación sobre Calidad del Aire.

De mi mayor consideración

Mediante la presente, me dirijo a Usted para saludarlo y a la vez hacerle de conocimiento que la señorita **Diana Carolina Limas Moya**, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Ambiental**, de la Facultad de Ingeniería Geográfica Ambiental y Ecoturismo (FIGAE), con código 2010022479, actualmente se encuentra realizando el proyecto de investigación titulado "**Incidencia del flujo vehicular en la calidad del aire por NO₂ y SO₂ en plazas históricas de Lima Metropolitana**", por tal motivo solicito que se le brinde las facilidades con la dependencia encargada, para realizar el muestreo mediante la instalación de tubos pasivos, con la finalidad de monitorear la Calidad del Aire por el período de un mes, en cinco plazas de Lima Metropolitana, como se detallan en el plan de investigación.

Esperando contar con su apoyo para el desarrollo de la investigación, sea propicia la ocasión para expresarle mi consideración y estima.

Lima, 10 de diciembre del 2015

Atentamente,


DR. JHON WALTER GÓMEZ LORA.
Decano
Facultad de Ingeniería Geográfica,
Ambiental y Ecoturismo.

- Adjunto: Plan de Investigación

ANEXO 12

Instalación de los Porta tubo Pasivos en cada plaza.



Fotografía 1: Portatubo pasivo instalado en la plaza Dos de Mayo.



Fotografía 2: Portatubo pasivo instalado en la plaza Bolognesi.



Fotografía 3: Portatubo pasivo instalado en la plaza San Martín



Fotografía 4: Portatubo pasivo instalado en el Parque Universitario

ANEXO 15

Resultados del análisis de laboratorio de los tubos pasivos para NO₂

passam ag, 8708 Männedorf
www.passam.ch

STS Nr. 149

Dioxido de nitrógeno (NO₂) medida por colector pasivo

método de muestreo: tubo pasivo método de análisis: Saltzmann SP01

Peru

Projekt:		Fecha de análisis: 03.03.2016		Periodo	11/11/2015	hasta	09/12/2015	Blanco			0.010	Color reactivo:	17.02.2016	tasa 9°C	0.8536 ml/min
lugar	codigo PEK	inicio	fin	tiempo	codigo	valor 1	absorción bruto	valor 2	valor 3	concentración ug/m3	media	desviacion			
fecha	hora	fecha	hora	decimal			codigo			valor 1	valor 2	valor 3	ug/m3	estándard	
13/01/2016	12:21	19/02/2016	18:15	893.90	1	0.557	2 x color reactivo			52.9			52.9		
13/01/2016	12:21	19/02/2016	18:15	893.90	2	0.515	2 x color reactivo			48.9			48.9		
13/01/2016	13:08				3	-									
13/01/2016	13:08				4	-									
13/01/2016	14:23	19/02/2016	17:51	891.47	5	0.389	2 x color reactivo			36.7			36.7		
13/01/2016	14:23	19/02/2016	17:51	891.47	6	0.391	2 x color reactivo			36.9			36.9		
13/01/2016	16:30	19/02/2016	17:34	889.07	7	0.363	2 x color reactivo			34.3			34.3		
13/01/2016	16:30	19/02/2016	17:34	889.07	8	0.344	2 x color reactivo			32.4			32.4		
13/01/2016	17:54	19/02/2016	18:51	888.95	9	0.377	2 x color reactivo			35.7			35.7		
13/01/2016	17:54	19/02/2016	18:51	888.95	10	0.375	2 x color reactivo			35.5			35.5		
29/01/2016	14:35	19/02/2016	18:32	507.95	11	0.249	2 x color reactivo			40.5			40.5		
29/01/2016	14:35	19/02/2016	18:32	507.95	12	0.236	2 x color reactivo			38.3			38.3		

Fecha de entrada: 03.03.2016

límite de detección 0.4 ug/m³ 14 días
Incertidumbre www.passam.ch/products.htm

Los valores son solo representativas para el lugar de medida inmediato. Conclusiones para lugares más lejos con reserva.
Los datos son parte de una serie a largo plazo y no es permitido de publicar en extracto sin permisión de passam S.A.

passam ag
Labor für Umweltanalytik
Scheellenstr. 44
8708 MÄNNEDORF

Sálida 24/03/2016

QS-responsible
Dr. M. Hangartner

ANEXO 16

Resultados del análisis de laboratorio de los tubos pasivos para SO₂

passam ag, 8708 Männedorf
www.passam.ch

STS Nr. 149

Dióxido de azufre (SO₂)-Medida con colector pasiva

método de muestreo: colector pasiva método de análisis: cromatografía ionico SP10

Peru

Periodo 13/01/2016 hasta 19/02/2016

Projekt: Fecha de análisis: 07.03.2016 blanco 0.460 Volumina 4 taza de collecion 11.9 ml/min

lugar codigo PEK	inicio		fin		tiempo decimal	codigo	cantidad SO ₄ [ppm] bruto			concentración ug/m ³			promedio ug/m ³	rel. SD %
	fecha	hora	fecha	hora			valor 1	valor 2	codigo	valor 3	valor 1	valor 2		
PD 1	13/01/2016	12:20	19/02/2016	18:16	893.93	1	1.477					4.3	4.3	
PD 2	13/01/2016	12:20	19/02/2016	18:16	893.93	2	1.317					3.6	3.6	
PG 1	13/01/2016	13:07	missing			3	missing							
PG 2	13/01/2016	13:07	missing			4	missing							
PU 1	13/01/2016	14:24	19/02/2016	17:52	891.47	5	1.440					4.1	4.1	
PU 2	13/01/2016	14:24	19/02/2016	17:52	891.47	6	1.204					3.1	3.1	
PSM 1	13/01/2016	16:35	19/02/2016	17:32	888.95	7	0.518			no detection		<0.3	<0.3	
PSM 2	13/01/2016	16:35	19/02/2016	17:32	888.95	8	1.368					3.8	3.8	
PB 1	13/01/2016	17:54	19/02/2016	18:50	888.93	9	1.142					2.9	2.9	
PB 2	13/01/2016	17:54	19/02/2016	18:50	888.93	10	1.168					3.0	3.0	
PUNFV 1	29/01/2016	14:33	19/02/2016	18:30	507.95	11	1.100					4.7	4.7	
PUNFV 2	29/01/2016	14:33	19/02/2016	18:30	507.95	12	0.968					3.7	3.7	

Fecha de entrada: 03.03.2016
Los valores son solo representativas para el lugar de medida inmediato. Conclusiones para lugares más lejos con reserva
Los datos son parte de una seria a largo plazo y no es permitido de publicar en extracto sin permisión de passam S.A.

limite de detección 0.3 ug/m³ 14 dias
Incertitumbre por cuestion

passam ag
Labor für Umweltanalytik
Schellenstr. 44
8708 MÄNNEDORF

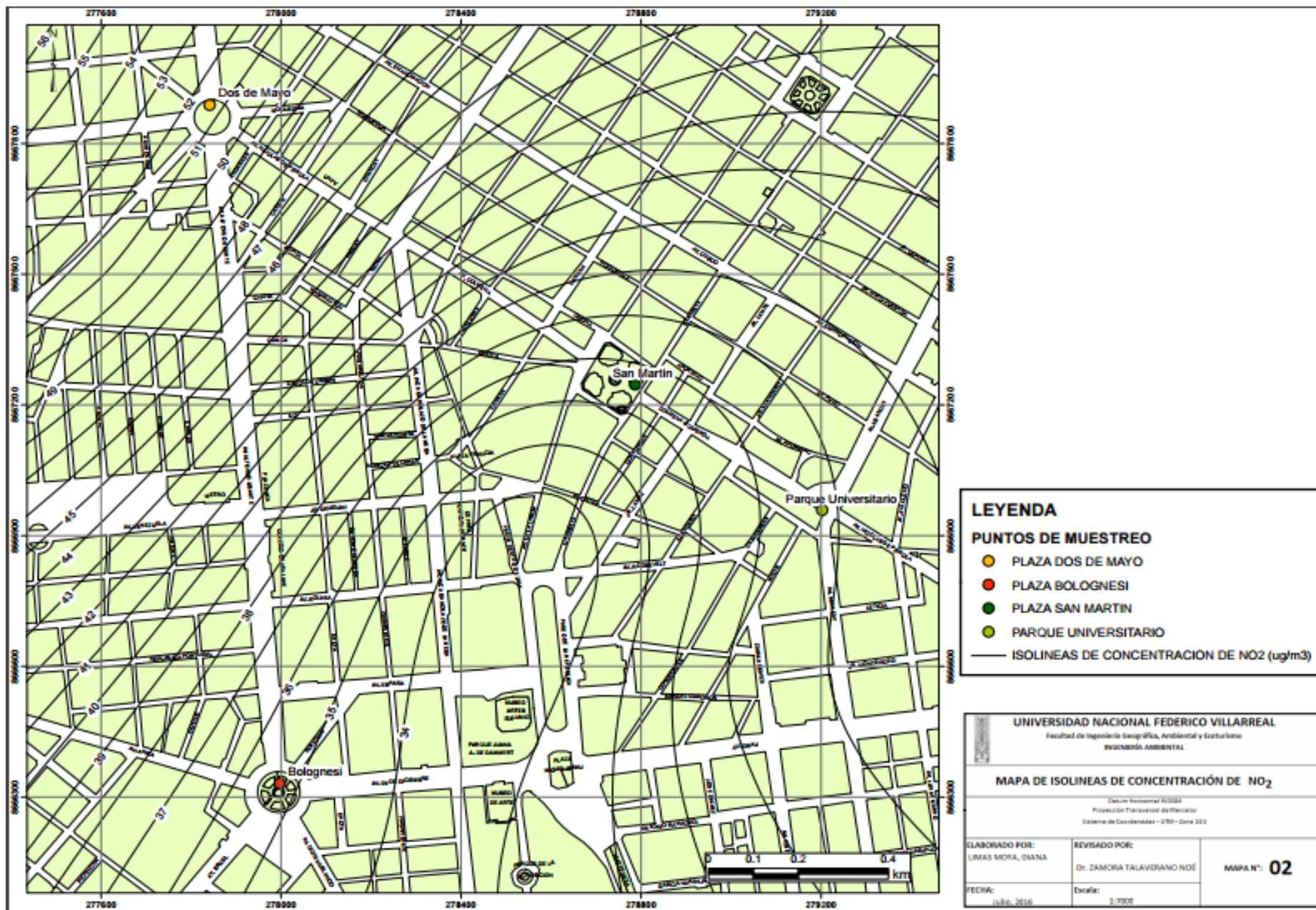


Sálida 23/03/2016

QS-responsible
Dr. M. Hangartner

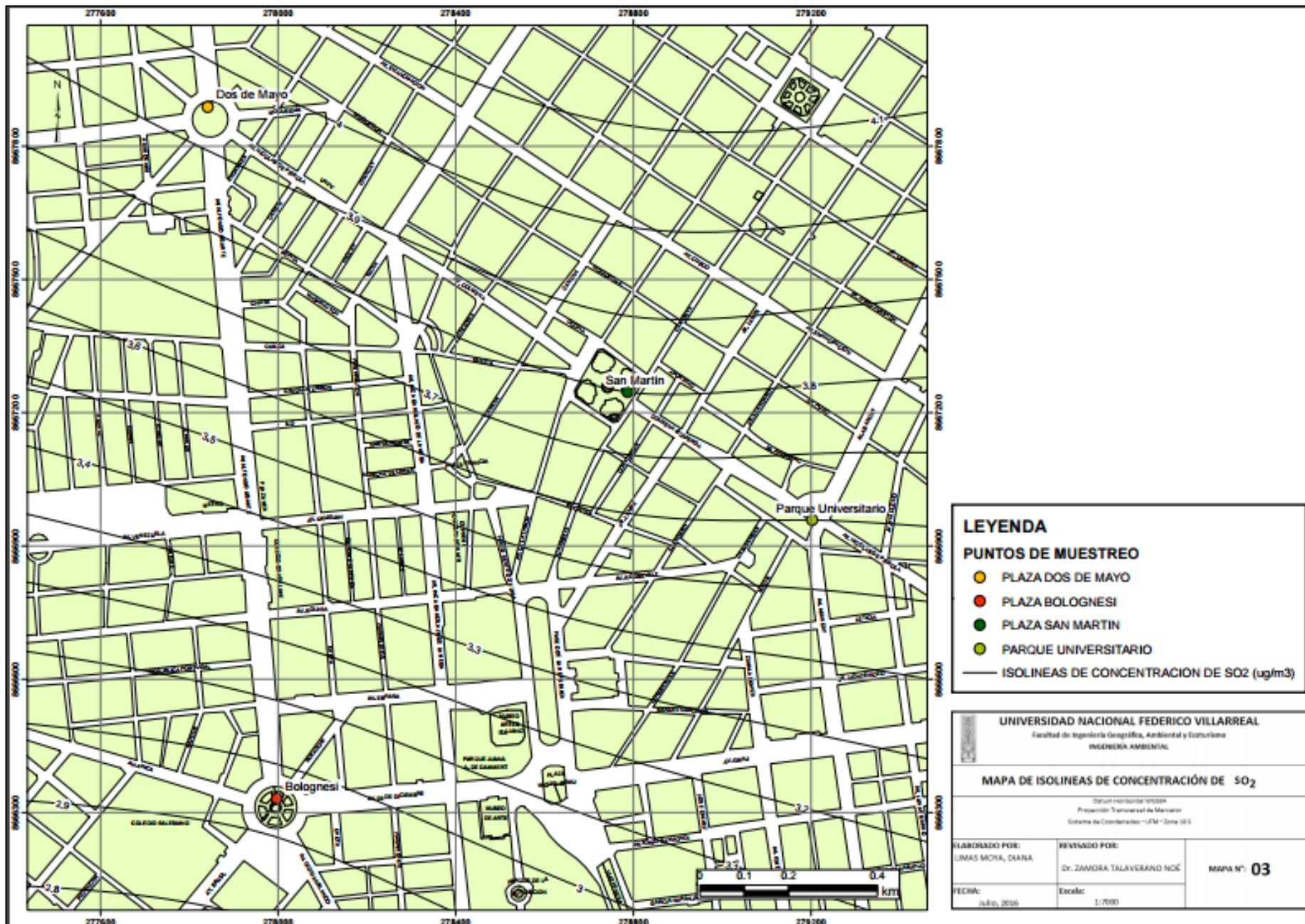
ANEXO 17

MAPA DE ISOLÍNEAS DE CONCENTRACIÓN DE NO₂



ANEXO 18

MAPA DE ISOLÍNEAS DE CONCENTRACIÓN DE SO₂



ANEXO 19

PARQUE VEHICULAR NACIONAL ESTIMADO, SEGÚN CLASE DE VEHÍCULO: 2005-2014

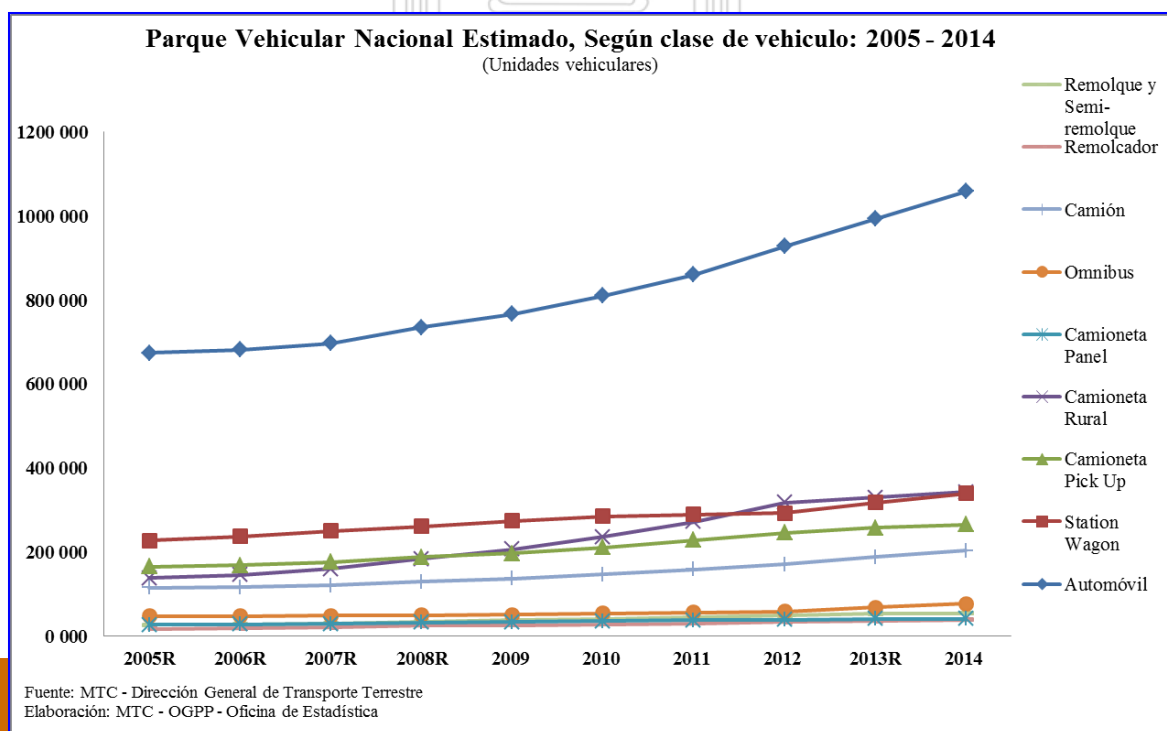
(Unidades vehiculares)

CLASE DE VEHÍCULO	2005 ^R	2006 ^R	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014
TOTAL	1 440 017	1 473 530	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696
Automóvil	673 647	681 538	696 897	735 314	766 742	809 967	860 366	927 698	993 705	1 058 075
Station Wagon	227 338	237 562	250 979	261 441	274 566	285 300	289 649	292 840	318 022	340 009
Camioneta Pick Up	165 875	168 756	176 111	187 940	196 833	210 988	228 321	246 205	258 028	266 305
Camioneta Rural	137 941	146 434	159 829	184 328	207 067	235 889	272 596	318 484	330 472	342 645
Camioneta Panel	26 850	28 177	29 684	32 498	34 172	36 184	37 847	39 476	40 938	41 976
Ómnibus	47 788	47 873	48 542	49 882	51 563	54 389	56 704	59 088	69 128	77 773
Camión	115 576	116 485	120 661	129 295	137 407	147 293	158 939	171 407	187 970	203 180
Remolcador	17 602	18 319	20 872	24 890	26 457	28 679	30 779	33 722	36 017	39 482
Remolque y Semi-remolque	27 400	28 386	30 728	35 382	38 027	41 001	44 664	48 917	53 595	54 251

R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos

Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística



ANEXO 20

COSTO DE LA INVESTIGACIÓN

El servicio de análisis de laboratorio (de los gases de SO₂ y NO₂) fueron ganados en el concurso de investigación formativa para estudiantes de Pre grado de la UNFV en el año 2014, según Resolución VRIN N° 021-2014-UNFV Organizado por el Vicerrectorado de Investigación, presupuestado con Resolución R. N° 8661-2015-UNFV (23 setiembre 2015).

SERVICIOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO + IGV (18 %)	FINANCIAMIENTO UNFV	FINANCIAMIENTO PERSONAL
Análisis de laboratorio con Tubos Pasivos de Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	11 muestras	s/.96.10	s/. 1057.10	
Análisis de laboratorio con Tubos Pasivos de Dióxido de Azufre (SO₂)	11 muestras	s/.176.63	s/. 1942.93	
SUB-TOTAL			s/. 3000.00	
MATERIALES				
Calculadora científica Casio modelo fx 991	1	s/.54.00		s/.54.00
Cámara Fotográfica digital	2	s/.520.00		s/.1040.00
Escalera retráctil de aluminio	1	s/.180.00		s/.180.00
wincha de 5 metros	1	s/.10.00		s/.10.00
Libreta de campo	6	s/.2.50		s/.15.00
Cintilla de plástico	1	s/.10.00		s/.10.00
navegador GPS (Gabinete FIGAE)	1	---		
Trípode cámara	2	s/.45.00		s/.90.00
Tableros de apuntes	6	s/.4.00		s/.24.00
Porta tubos pasivos	5	---		
Folder manila	20	s/.0.50		s/.10.00
Papel fotocopia s/sello A-4 de 80 grs. Atlas y materiales de escritorio.	-			s/.100.00
Libros de Calidad del Aire	3	s/.60.00		s/.180.00
Gestión de permisos y financiamiento del proyecto	-			s/.270.00
Costo de horas hombre durante el desarrollo de la investigación (alimentación, búsqueda de información, muestreo y otros) durante 1 año				s/.3800.00
Impresiones de documentos, plan, informe y planos.				s/.320.00
OTROS SERVICIOS				
Movilidad (servicio de taxi y transporte público) para trasladar los materiales durante la investigación				s/.420.00
Llamadas telefónicas (empresa, universidad)				s/.245.00
SUB TOTAL			s/. 3000	s/. 6768
COSTO TOTAL DE LA INVESTIGACIÓN			s/. 9768	