



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

“ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES MÓVILES EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE LOJA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MOVES”

Trabajo de Titulación, previo a la obtención
título de Ingeniero en Manejo y Conservación
Medio Ambiente

AUTOR:

Stalin Santos Yaguana Jiménez

DIRECTOR:

Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 17 de marzo de 2023

Ing. Erasmo Vinicio Alvarado Jaramillo, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES MÓVILES EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE LOJA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MOVES”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, de la autoría del estudiante **Stalin Santos Yaguana Jiménez**, con cédula de identidad **Nro.1104444177**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Stalin Santos Yaguana Jiménez**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1104444177

Fecha: 08 de enero de 2024

Correo electrónico: stalin.yaguana@unl.edu.ec

Teléfono: 0969905971

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Stalin Santos Yaguana Jiménez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **“ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES MÓVILES EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE LOJA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MOVES”**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscrito, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de enero de dos mil veinticuatro.

Firma:



Autor: Stalin Santos Yaguana Jiménez

Cédula: 1104444177

Dirección: Chonta Cruz-Loja-Ecuador

Correo electrónico: stalin.yaguana@unl.edu.ec

Teléfono: 0969905971

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Vinicio Alvarado Jaramillo Mg.Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a mi familia, especialmente a mis padres quienes han velado por mi bienestar y educación, siendo el pilar fundamental en mi vida, a mis hermanos por animar a continuar y apoyándome en todo momento, a mis amigos y maestros, a quienes sin su ayuda no hubiera podido culminar este trabajo, a Dios, por permitirme llegar a este punto de mi vida.

Stalin Santos Yaguana Jiménez

Agradecimiento

Agradezco al Ingeniero Vinicio Alvarado por brindar sus conocimientos y sugerencias para que el Trabajo de Titulación se lo realice de la mejor manera.

Finalmente, agradezco especial a mis asistentes de campo Cristina Guamán y Nataly Guamán por ayudarme en las actividades de campo en la zona céntrica de la ciudad de Loja

Stalin Santos Yaguana Jiménez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Anexos	xv
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstrac.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1. Contaminación atmosférica.....	7
4.1.1. Efectos a la salud de los contaminantes comunes o criterios	7
4.1.2. La combustión en la contaminación atmosférica	9
4.2. Emisiones vehiculares	10
4.2.1. Contaminantes emitidos por los vehículos.....	10
4.2.2. Contaminantes producidos por gasolina	10
4.2.3. Contaminantes producidos por diésel	11
4.2.4. Diferencia entre los motores a diésel y a gasolina	11
4.2.5. Procesos de emisiones de vehículos que circulan por carretera.....	11
4.3. Clasificación de las emisiones vehiculares	12
4.3.1. Emisiones evaporativas	12

4.3.2.	Emisiones por abrasión	13
4.3.3.	Emisiones por tubo de escape	13
4.4.	Generación de emisiones vehiculares	13
4.5.	Clasificación de la combustión	14
4.6.	Condiciones geográficas y climáticos	14
4.7.	Parámetros ambientales que influyen en la combustión	15
4.8.	Sistemas de control de emisiones en vehículos.....	16
4.9.	Inventario de emisiones.....	17
4.10.	Técnicas de estimación de emisiones vehiculares.....	17
4.10.1.	Técnicas indirectas	17
4.10.2.	Técnicas directas	19
4.11.	Estudios realizados empleando el software MOVES.....	20
4.12.	Normativa legal de la gestión del aire en el Ecuador.....	22
4.12.1.	Código Orgánico del Ambiente.....	22
4.12.2.	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Acuerdo Ministerial N° 097A	23
4.12.3.	Normas por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) del Ecuador	25
4.12.4.	Estándares internacionales de la calidad del aire	27
4.12.5.	Estándares internacionales de las emisiones vehiculares	28
4.12.6.	Tecnologías de control de emisiones en automotores	30
5.	Metodología.....	32
5.1.	Área de estudio.....	32
5.2.	Determinar la carga vehicular, cantidades y tipos de combustibles usados en la urbe lojana. 34	
5.2.1.	Conteo vehicular	34
5.2.2.	Caracterización de la zona céntrica de estudio.....	38
5.2.3.	Actividad vehicular	38
5.3.	Estimar la concentración de contaminantes criterio mediante el software MOVES para el transporte público y privado.....	39
5.3.1.	La caracterización de la flota vehicular en la zona céntrica de ciudad Loja.	40
5.3.2.	Procesamiento de los datos	40

5.3.3.	Desarrollo del inventario de emisiones	41
5.3.4.	Determinación de los archivos de entrada para MOVES.....	46
5.3.5.	Procedimiento para calcular los KRV	51
5.3.6.	Ejecución de MOVES	52
5.3.7.	Inventario de emisiones.....	53
5.4.	Realizar mapas de tráfico vehicular y de las concentraciones de contaminantes emitidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja.....	53
5.4.1.	Análisis estadístico.....	54
6.	Resultados	55
6.1.	Determinar la carga vehicular, cantidades y tipos de combustibles usados en la urbe lojana. 55	
6.1.1.	Caracterización de la zona de estudio	55
6.1.2.	Tráfico vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja.....	58
6.1.3.	Actividad vehicular	63
6.1.4.	Tabulaciones de las encuestas	64
6.1.5.	Cantidades y tipos combustibles consumidos en la ciudad de Loja.....	69
6.2.	Estimar la concentración de contaminantes criterio mediante el software MOVES para el transporte público y privado.....	72
6.2.1.	Caracterización del parque automotor en la zona céntrica de la ciudad de Loja .	72
6.2.2.	Población vehicular en la zona céntrica de Loja.....	79
6.2.3.	Tipos de vías en la zona céntrica de Loja.....	80
6.2.4.	Condiciones meteorológicas	81
6.2.5.	Distribución promedio de velocidades	82
6.2.6.	Especificaciones de los combustibles comercializados	83
6.2.7.	Kilómetros recorridos (KRV).....	84
6.2.8.	Inventario de emisiones vehiculares	84
6.3.	Realizar mapas de tráfico vehicular y de las concentraciones de contaminantes emitidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja.....	89
6.3.1.	Mapas de tráfico vehicular de las calles céntricas de la ciudad de Loja	89
6.3.2.	Mapas de concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja.....	98
7.	Discusión	109

8. Conclusiones	117
9. Recomendaciones	118
10. Bibliografía	119
11. Anexo	127

Índice de Tablas:

Tabla 1. Contaminantes primarios y secundarios.....	7
Tabla 2. Fuente y características de los contaminantes comunes o criterio y no convencionales	8
Tabla 3. Contaminantes emitidos por los vehículos.....	10
Tabla 4. Sistema de control de contaminación más empleados en motores de combustión interna.....	16
Tabla 5. Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia en la calidad del aire.....	24
Tabla 6. Norma de la calidad de aire ambiente (NCAA).....	24
Tabla 7. Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina marcha mínima o ralentí (prueba estática), considerando la altura sobre el nivel del mar.....	25
Tabla 8. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) (ciclos americanos FTP-75, g/mi).....	25
Tabla 9. Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica), a partir año modelo 2000 (ciclos americanos).....	26
Tabla 10. Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire (ECA).....	27
Tabla 11. Valores legislativos de la normativa europea y valores guías de la organización mundial de la salud (OMS).....	27
Tabla 12. Estándares de emisiones para vehículos pasajeros diésel y gasolina (g/km), Unión Europea.....	29
Tabla 13. Normas de regulación de emisiones en EEUU para vehículos de pasajeros (ciclo FTP75, unidades g/mi).....	29
Tabla 14. Tecnologías implementadas en los vehículos de acuerdo nueva normativa entró en vigencia.....	30
Tabla 15. Estratos tecnológicos de Estados Unidos.....	31
Tabla 16. Puntos de aforo vehicular en la zona de estudio.....	36
Tabla 17. Categoría vehicular según MOVES.....	42
Tabla 18. Homologación con las categorías vehiculares INEC-MOVES.....	44
Tabla 19. Tipos de vías o carreteras según MOVES.....	45
Tabla 20. Contaminantes criterio y no convencionales de la calidad del Aire.....	46
Tabla 21. Intervalos de velocidad según MOVES.....	49

Tabla 22. Tipos de combustibles MOVES	50
Tabla 23. Rendimiento promedio según el tipo de vehículos Ecuador	51
Tabla 24. Cálculo de kilómetros recorridos vehicular por consumo de combustible	52
Tabla 25. Razones de la congestión vehicular en las calles (O-E) céntrica de la ciudad de Loja	55
Tabla 26. Razones de la congestión vehicular en las calles (N-S) céntrica de la ciudad de Loja	57
Tabla 27. Proporción de la muestra por categoría vehicular en la ciudad de Loja	63
Tabla 28. Consumo de combustibles en galones por recorrido de la flota vehicular	71
Tabla 29. Descripción estadística de la variable cilindraje (cc)	77
Tabla 30. Número de placas registradas en la zona céntrica de la ciudad Loja	79
Tabla 31. Población vehicular en el mes de diciembre, enero y febrero	79
Tabla 32. Fracción de recorrido en la zona céntrica de la ciudad de Loja	80
Tabla 33. Datos meteorológicos de la zona de estudio	81
Tabla 34. Velocidades promedio de vehículos durante horas pico en la zona céntrica de Loja (km/h)	82
Tabla 35. Velocidades promedio de vehículos fuera del horario en la zona céntrica de Loja (km/h)	82
Tabla 36. Características de los Combustibles de la ciudad de Loja	83
Tabla 37. Inventario de emisiones vehiculares provenientes del parque automotor que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Loja (g/año)	85

Índice de Figuras:

Figura 1. Emisiones del vehículo	12
Figura 2. Proceso de combustión de motor de combustión interna	13
Figura 3. Mapa de ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Loja	32
Figura 4. Puntos de aforo vehicular en la zona de estudio	34
Figura 5. Ficha del aforo vehicular en la zona de estudio.....	35
Figura 6. Movimientos vehiculares permitidos en la intersección.....	35
Figura 7. Metodología para la estimación de las emisiones de la flota vehicular en la zona céntrica de Loja	39
Figura 8. Ficha registro número de placas de automotores.....	40
Figura 9. Características del automotor SRI	41
Figura 10. Medición de la velocidad dentro de la zona de estudio	48
Figura 11. Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 07 a 08 am	59
Figura 12. Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 12 a 13 pm	60
Figura 13. Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 18 a 19 pm	61
Figura 14. Sitio de aplicación de las encuestas en la ciudad de Loja.....	64
Figura 15. Motivo de circulación en la zona céntrica de la ciudad de Loja.....	65
Figura 16. Frecuencia de circulación dentro de la zona céntrica ciudad de Loja	65
Figura 17. Marca de vehículos predominante en la ciudad de Loja.....	66
Figura 18. Edad de los vehículos de la ciudad de Loja	66
Figura 19. Tipo de placa utilizadas por la flota vehicular en la ciudad de Loja	67
Figura 20. Frecuencia de encendido del auto en la ciudad Loja	67
Figura 21. Presencia y uso del aire acondicionado por los automotores en la ciudad de Loja	68
Figura 22. Tecnología de los vehículos en la ciudad de Loja	68
Figura 23. Kilómetros (Km) recorridos diarios en la zona céntrica y en la ciudad Loja	69
Figura 24. Gasto semanal de combustible en la ciudad de Loja	70
Figura 25. Consumo de galones de combustible semanal por los automóviles en la ciudad de Loja.....	70
Figura 26. Tipos de combustibles consumos en la ciudad de Loja.....	72
Figura 27. Marcas de los vehículos de la zona céntrica de Loja.....	73

Figura 28. Provincia de matriculación de los vehículos de la zona céntrica de Loja	74
Figura 29. País de procedencia de los vehículos que transitan por la zona céntrica de Loja..	75
Figura 30. Año modelo de la flota vehicular de la ciudad de Loja	76
Figura 31. Cilindraje de la flota vehicular en la ciudad de Loja	77
Figura 32. Tipo de combustible utilizados por los vehículos ciudad Loja.....	78
Figura 33. Dirección del viento del mes de diciembre, enero y febrero (S-N) en la ciudad de Loja.....	81
Figura 34. Kilómetros (Km) recorridos por categoría vehículo en la ciudad de Loja	84
Figura 35. Aportación de emisiones según la categoría vehicular área A en el centro de Loja	87
Figura 36. Aportación de emisiones según la categoría vehicular área B en el centro de Loja	88
Figura 37. Aportación de emisiones según la categoría vehicular área C en el centro de Loja	89
Figura 38. Tráfico vehicular en el horario 7:00 a 8:00 am de las calles céntricas de la ciudad de Loja.....	90
Figura 39. Tráfico vehicular en el horario 12:00 a 13:00 pm de las calles céntricas de la ciudad de Loja.....	93
Figura 40. Tráfico vehicular en el horario 18:00 a 19:00 pm de las calles céntricas de la ciudad de Loja.....	96
Figura 41. Concentración de contaminantes atmosféricos del área A en la zona céntrica de Loja	99
Figura 42. Concentración de contaminantes atmosféricos del área B en la zona céntrica de Loja	100
Figura 43. Concentración de contaminantes atmosféricos del área C en la zona céntrica de Loja	101
Figura 44. Concentración total de contaminantes en la zona céntrico de Loja.....	102
Figura 45. Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes diciembre del año 2021	103
Figura 46. Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes enero del año 2022	105
Figura 47. Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes febrero del año 2022	107

Índice de Anexos:

Anexo 1. Mapa de restricción vehicular día domingo ciudad de Loja	127
Anexo 2. Encuesta aplicada a los conductores de los vehículos en la ciudad de Loja	127
Anexo 3. Tabla comparación de las principales características de los modelos de emisión	129
Anexo 4. Topografía de la ciudad de Loja.....	130
Anexo 5. Comparación de los principales parámetros de entrada de los modelos de emisió.	130
Anexo 6. Archivos entrada en el software MOVES	131
Anexo 7. Carga vehicular en la zona céntrica mes diciembre, enero y febrero (2021-2022).	136
Anexo 8. Kilómetros Recorridos (KRV) por clase vehicular en la ciudad de Loja.....	138
Anexo 9. Carga vehicular en la zona céntrica mes diciembre, enero y febrero (2021-2022)	142
Anexo 10. Rutas de buses sentido sur-norte de la ciudad de Loja.....	151
Anexo 11. Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por día de contaminantes por área del mes de diciembre (2021), enero (2022) y febrero (2022), emitidos por el parque automotor en la zona céntrica ciudad Loja	151
Anexo 12. Certificado de traducción del Resumen (Abstract)	152

1. Título

**“ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES MÓVILES
EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE LOJA, UTILIZANDO EL
SOFTWARE MOVES”**

2. Resumen

La contaminación del aire representa un riesgo medioambiental para la salud de las personas, tanto para los países desarrollados y en vías de desarrollo, provocando un porcentaje importante de mortalidad y morbilidad en todo el mundo. En las zonas urbanas la contaminación del aire se produce por la quema de combustibles fósiles por el parque automotor. Para el presente estudio se planteó como objetivo estimar la contaminación del aire por las emisiones de fuentes móviles que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Loja mediante el uso del software MOVES (EPA), con el propósito de generar un inventario de emisiones del parque automotor, en primer lugar se realizó una recolección de información en campo por medio del aforo vehicular a 72 puntos y encuestas respecto al tráfico vehicular (diciembre del años 2021, enero y febrero año 2022), cantidades y tipos de combustibles, también aspectos de la zona de estudio como meteorológicos, tipo de población vehicular, velocidad, kilómetros recorridos por vehículos (KRV), tipos de carreteras. En segundo lugar, consistía en ingresar los datos recolectados en el software MOVES con el fin de calcular los principales contaminantes criterio (CO, NO_x, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, THC y COVs). Se obtuvo que las principales categorías que aportaron grandes cantidades de CO fueron los automóviles de pasajeros (autos y taxis) y camioneta de pasajeros (jeep y camioneta), en cambio la categoría que emite grandes cantidades de NO_x fue el autobús de tránsito (autobús urbano), durante el mes de febrero se emitió un total de 1 989 615 g/año de CO, mes de enero con 1 805 108 g/año CO y mes diciembre 1747985 g/año CO, así mismo para NO_x en febrero 602 615 g/año, diciembre 5 46 770 g/año y enero 511 730 g/año. Se concluye que en la zona céntrica de la ciudad de Loja presentó problemas de contaminación del aire en el mes de diciembre (2021) y febrero (2022) producto de las emisiones vehiculares, en especial el SO₂ que sobrepasó los límites establecidos por la normativa de la calidad del aire ambiente del Ecuador (Acuerdo Ministerial N° 097A), con el resto de los contaminantes sus concentraciones se mantuvieron por debajo de lo establecido.

Palabras clave: emisiones vehiculares, inventario de emisiones, simulador de emisiones vehículos motorizados (MOVES), contaminación del aire, contaminantes criterio.

Abstract

Air pollution represents an environmental risk to people's health, both for developed and developing countries, causing significant mortality and morbidity throughout the world, in urban areas air pollution is produced by burning fossil fuels by the automobile park, for the present study the objective was to estimate the air pollution due to the emissions of mobile sources that transit in the downtown area of the city of Loja through the use of the MOVES (EPA) software, with the purpose of In order to generate an inventory of emissions from the vehicle fleet, in the first place, a collection of information was carried out in the field through the vehicular capacity at 72 points and surveys regarding vehicular traffic (December 2021, January and February 2022), quantities and types of fuels, also aspects of the study area such as weather, type of vehicle population, speed, kilometers traveled by vehicles (KRV), types of roads. Secondly, it consisted of entering the collected data into the MOVES software in order to calculate the main criteria pollutants (CO, NO_x, SO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, THC and VOCs). It was obtained that the main categories that contributed large amounts of CO were passenger cars (cars and taxis) and passenger vans (jeep and van), while the category that emits large amounts of NO_x was the transit bus (urban bus).), during the month of February a total of 1,989,615 g/year of CO was emitted, the month of January with 1,805,108 g/year CO and the month of December 1,747,985 g/year of CO, likewise for NO_x in February 602,615 g /year, December 5 46 770 g/year and January 511 730 g/year. It is concluded that in the downtown area of the city of Loja it presented air pollution problems in the months of December (2021) and February (2022) as a result of vehicular emissions, especially SO₂ that exceeded the limits established by the regulations of the quality of ambient air in Ecuador (Ministerial Agreement No. 097A), with the rest of the pollutants their concentrations remained below the established.

Keywords: *vehicle emissions, emissions inventory, motor vehicle emissions simulator (MOVES), air pollution, criteria pollutants.*

3. Introducción

La Agencia Ambiental Europea define la contaminación ambiental como “la presencia en el aire de contaminantes o sustancias contaminantes en una concentración tal que interfiera con la salud o el bienestar humano, o que produzca otros efectos medioambientales perjudiciales”, Durandal y Luján (2017), menciona que uno de los problemas ambientales que enfrenta el mundo es la contaminación atmosférica desde la revolución industrial. La contaminación del aire es responsable de 4,2 millones de muertes prematuras a nivel mundial tanto en las zonas urbanas como rurales, además de causar enfermedades cardiovasculares, respiratorias entre otras siendo las personas más afectadas las que habitan cerca de carreteras con mayor tránsito vehicular o zonas industriales expuestas a concentraciones altas de contaminación, representando un peligro medioambiental para la salud de las personas (OMS, 2022).

A nivel mundial las ciudades más contaminantes por la congestión vehicular son consecuencia directa del consumo de derivados del petróleo, sumado a las malas condiciones de los vehículos y la ausencia de un sistema de transporte público adecuado, afectando de manera directa a la calidad de vida de sus habitantes en los ámbitos económicos, social y medioambiental (Rahimi, 2020). A nivel nacional la degradación del aire es debido a las deficiencias como la falta de planificación territorial, las industrias, utilización de tecnología obsoleta, uso de transporte antiguo y mala calidad de combustión (Zambrano et al., 2010). Según Loaiza (2023), las ciudades que sobrepasan los límites permisibles de la contaminación del aire por la OMS y la normativa ecuatoriana de la calidad del aire son Ambato, Portoviejo, Quito, Esmeraldas, Santo Domingo y Loja.

Las fuentes móviles son la principal fuente de contaminación del aire en las zonas urbanas, el crecimiento del parque vehicular dentro de las ciudades conduce a un mayor tráfico vehicular causando congestión en las calles y provocando mayor emisión de contaminantes a la atmósfera de la ciudad, siendo las emisiones vehiculares quienes generan la principal problemática ambiental relacionada a la calidad del aire (Habermann et al., 2011). Los principales contaminantes emitidos por los vehículos de motor a diésel son el CO, NO_x, óxidos de azufre (SO_x), plomo (Pb) y partículas en suspensión (PM), la contaminación por los vehículos con motores a gasolina se produce cuando el CO, NO_x y HC no quemados se encuentran en grandes concentraciones (Goel et al., 2018).

Según el INEC (2022), la contaminación del aire es el tercer problema ambiental que enfrenta el Ecuador (32,83 %), afectando al 38,05 % de los hogares ubicados en las diferentes zonas urbanas. Las ciudades que registraron un mayor número de vehículos matriculados son Ambato, Cuenca, Ibarra, Latacunga, Manta, Milagros, Portoviejo, Quito, Esmeraldas, Santo Domingo y Loja (Loaiza, 2023). Para el año 2020 la tasa de matriculación por cada mil habitantes en la provincia de Loja fue de 129 vhi/1000 hab y la tasa a nivel nacional fue de 135 vhi/1000 hab, a nivel nacional los principales registros de matriculación fueron los automóviles particulares (29,6 %) y motocicletas (28,6 %) (INEC, 2021). En Ecuador los vehículos entre el año 2000 al 2021 cumplen con los mismos límites de emisiones, en cambio en Europa las normativas se van ajustando cada 5 años con el objetivo de obligar a los fabricantes a reducir los gases contaminantes impidiendo la comercialización de vehículos nuevos que no cumplan con los límites establecidos (Pesantes et al., 2021).

Los vehículos necesitan la energía generada a partir del combustible (gasolina, diésel, electricidad, gas natural, biocombustibles) para su desplazamiento, la combustión a temperaturas altas del combustible en el interior del motor genera contaminantes que salen por el tubo de escape a la atmósfera por el área donde transitan, alrededor del 12 % al 30 % de energía del combustible que se pone en un vehículo convencional se usa para el desplazamiento por la carretera dependiendo de los ciclos de conducción el resto se pierde por la ineficiencia del motor (Fueleconomy, 2010).

En el país los combustibles fósiles han tenido una participación promedio del 81 % entre el 2010 y 2020, el diésel y la gasolina son los de mayor demanda con un incremento de 11,7 % y 13,7 % respectivamente en el mismo periodo, para el año 2020 el consumo del diésel fue de 81,8 % mientras que la gasolina fue de 75,8 % por el sector del transporte, siendo el de mayor participación los vehículos de carga pesada con 49 %. En cuanto al consumo de gasolina los vehículos individuales son los mayores consumidores con 47,1 % del total y para el diésel los mayores consumidos son los vehículos de carga pesada con 74,1 % (IIGE, 2021). Los vehículos livianos en Ecuador utilizan como combustibles, la Gasolina Super con 93 octanos, Gasolina Extra con 87 octanos y Gasolina Eco-país (gasolina extra y un 5 % de bioetanol) (Llanes et al., 2018), según INER (2017), las condiciones geográficas del país contribuye a un mayor consumo energético del transporte.

En la ciudad de Loja uno de los problemas ambientales es la contaminación atmosférica, debido al crecimiento del parque automotor y la concentración de las actividades en el centro de la ciudad contribuyen al aumento del tráfico vehicular generando gases contaminantes degradando la calidad del aire en la ciudad, los indicadores de la calidad del aire son insuficientes y no se han implementado un sistema de monitoreo de las diversas emisiones (PDOT, 2019).

El presente estudio pretende generar un inventario de emisiones de los contaminantes emitidos por el tubo de escape y de las emisiones evaporativas de los vehículos que circulan por la zona céntrica de la ciudad de Loja utilizando el software MOVES (*Motor Vehicle Emission Simulator*) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), determinado las concentraciones de los contaminantes que son emitidos a la atmósfera, así como que contaminantes son los que sobrepasan los límites máximos permisibles por los estándares de calidad del aire.

Se planteó la hipótesis, las concentraciones de contaminantes criterio presentes en el aire generados por fuentes móviles en la ciudad de Loja y estimados mediante el software MOVES sobrepasan los estándares de calidad del aire.

En el mismo contexto, el objetivo general del estudio fue estimar la contaminación del aire por las emisiones de fuentes móviles que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Loja mediante el uso del software MOVES.

Se planteó tres objetivos específicos para este estudio

- Determinar la carga vehicular, cantidades y tipos de combustibles usados en la urbe lojana.
- Estimar la concentración de contaminantes criterio mediante el software MOVES para el transporte público y privado.
- Realizar mapas de tráfico vehicular y de las concentraciones de contaminantes emitidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja.

4. Marco teórico

4.1. Contaminación atmosférica

Es la presencia en el aire de uno o más contaminantes primarios o secundarios (Tabla 1) en concentraciones que pueden generar un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, la preservación de la naturaleza o conservación del patrimonio ambiental. El origen de los contaminantes atmosféricos se produce por fuentes biogénicas generados por fenómenos naturales como las erupciones volcánicas, erosión, incendios forestales, tormenta de polvo entre otros y fuentes antropogénicas corresponden a las actividades que realizan las personas siendo la mayor causa la combustión de materiales ya sea por las industrias, los vehículos etc. clasificándose en fuentes fijas, móviles y fugitivas (MMA, 2016).

Tabla 1

Contaminantes primarios y secundarios

Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Óxidos de carbono (CO)	Ozono troposférico (O ₃)
Compuestos nitrogenados (NO _x , NH ₃ , N ₂ O)	Hidrocarburos oxidados
Compuestos azufrados (SO _x , SO ₂)	Aerosoles orgánicos secundarios
Material particulado (MP ₁₀ y MP _{2,5})	Sulfatos
Hidrocarburos	Nitratos
Metales	Material particulado secundario

Fuente: (MMA, 2016)

4.1.1. Efectos a la salud de los contaminantes comunes o criterios

Según Díaz (2014), las principales afectaciones de los contaminantes a la salud de las personas a causa de las emisiones a la atmósfera en la Tabla 2.

Tabla 2*Fuente y características de los contaminantes comunes o criterio y no convencionales*

Contaminante	Características	Origen	Efectos a la salud
Partículas sedimentables	El MP es de tamaño mayor a 10 μm . partículas gruesas de tierra y polvo	Erosión eólica y tráfico en vías sin pavimento, molienda.	En concentraciones altas causa irritación de garganta y mucosidad
PM₁₀	MP suspendido de diámetro 10 μm . pueden ser partículas de polvo, neblina, aerosoles, humo, hollín etc.	Erosión eólica, tráfico vías sin pavimento y actividades de construcción	Produce irritación en las vías respiratorias, agrava el asma y favorece las enfermedades cardiovasculares.
PM_{2.5}	MP suspendido menor a 2.5 μm	Proceso de combustión, incendios forestales y procesamiento de metales.	Pueden ingresar a los alvéolos pulmonares o torrente sanguíneo, muerte prematura.
SO₂	Gas incoloro de olor fuerte, se oxida hasta SO ₃ , y en presencia de agua formará H ₂ SO ₄ .	Proceso de combustión, centrales termoeléctricas, generadores eléctricos, erupciones volcánicas	En concentraciones altas causa dificultades para respirar conjuntivitis, irritación severa en vías respiratorias y en pulmones.
CO	Gas incoloro, incoloro e insípido	Procesos de combustión incompleta. Los vehículos a gasolina son la principal fuente	La hipoxia (falta de oxígeno) producida por inhalación de CO, puede afectar al corazón, cerebro, plaquetas, disminución de la visibilidad.
O₃	Gas incoloro, inodoro a concentraciones ambientales	Se produce por reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno y compuesto orgánicos volátiles, bajo la influencia de radiación solar	Producen irritación ocular, nariz y garganta, dolor en la respiración profunda, malestar, debilidad etc.
NO₂	Gas rojizo marrón, de olor fuerte	Proceso de combustión; vehiculares, plantas industriales, centrales	Produce irritación pulmonar, bronquitis, pulmonía, a altas concentraciones causa

Contaminante	Características	Origen	Efectos a la salud
		térmicas, incineradores	enfermedades respiratorias.
Benceno	Líquido incoloro, que se evapora al aire muy rápidamente y de aroma dulce	Incendios forestales, es un componente natural del petróleo crudo, gasolina, humo de cigarrillo	Altas concentraciones causan la muerte, a niveles bajos causan somnolencia, mareo taquicardia
Cadmio	Metal que por lo general se encuentra combinado con otros componentes como el oxígeno	Producción de metales, batería, plásticos, humo de cigarrillo	Niveles altos causan daños a los pulmones, exposición a niveles bajos de cadmio se acumulan en los riñones.

Fuente: (Díaz, 2014)

4.1.2. La combustión en la contaminación atmosférica

Según Martínez (2016), la combustión es una reacción de oxidación rápida que libera energía mediante la transformación química del combustible, es decir que toda combustión requiere un combustible, un comburente y energía de activación alcanzando la temperatura de inflamación, descritos a continuación:

- El combustible es cualquier material que en presencia de oxígeno y aplicando una energía de activación es capaz de arder (carbono, el gas, el petróleo y materia orgánica como leña, papel).
- El comburente es la sustancia que permite arder el combustible como el oxígeno disponible en toda la atmósfera.
- La energía de activación es el aporte energético que se desencadena y permite alcanzar la temperatura de inflamación correspondiente a la temperatura mínima al cual el combustible puede arder.

Los factores que determinan la eficiencia de la combustión son la disponibilidad de oxígeno, la pureza o calidad, el grado de humedad y las temperaturas del combustible entre otros, además el desarrollo de actividades industriales, construcción, transporte y hogares, emiten grandes cantidades gases y compuestos químicos los cuales van alterando la composición de la atmósfera logrando desestabilizarla, contaminarla, ocasionando problemas ambientales y salud de las personas (MMA, 2016).

4.2. Emisiones vehiculares

4.2.1. Contaminantes emitidos por los vehículos

La gasolina y el diésel son mezclas de hidrocarburos compuestos que contienen átomos de hidrógeno y carbono. Si en el motor existiera una combustión perfecta, el oxígeno presente en el aire convertiría todo el nitrógeno del combustible en agua y todo el carbono en dióxido de carbono, por lo general no existe tal combustión perfecta es decir que los automotores emiten contaminantes como se puede observar en la Tabla 3 (SEMARNAT, 2009).

Tabla 3

Contaminantes emitidos por los vehículos

Tipo de emisión	Contaminantes emitidos
Tubo de escape	Hidrocarburos, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, partículas, bióxido de carbono, bióxido de azufre, plomo (sólo en el caso de gasolina con plomo), amoníaco y metano.
Evaporativas	Hidrocarburos (COV)

Fuente: (SEMARNAT, 2009)

Los gases considerados como hidrocarburos son conocidos como compuestos orgánicos totales (COT), gases orgánicos totales (GOT) o hidrocarburos totales (HCT o HC), donde se incluye a todos los compuestos carbonados menos carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono y bióxido de carbono. Los COT emitidos a la atmósfera presentan una reactividad fotoquímica muy baja o sin presencia, mientras que los compuestos orgánicos volátiles (COV) o gases orgánicos reactivos (GOR) son considerados fotoquímicamente reactivos, son un subconjunto de los hidrocarburos totales que participan en la formación del ozono, por lo tanto, es recomendable realizar estimaciones de emisiones para los dos grupos los COT y COV (SEMARNAT, 2009).

4.2.2. Contaminantes producidos por gasolina

La gasolina es un derivado del petróleo obtenido por destilación, cuando es empleado en una máquina bien sincronizado y con suficiente aire produce dióxido de carbono CO₂, agua (H₂O), óxido de nitrógeno (NO_x) y energía, además unos contaminantes tóxicos se encuentran en la gasolina y son liberados a la atmósfera por evaporación o pasa a través del motor como combustible no quemado (combustión incompleta) por ejemplo en este caso sería el benceno,

como también el tolueno y el xilema que son químicamente similares al benceno (P. Castro & Escobar, 2006).

4.2.3. Contaminantes producidos por diésel

El diésel es un combustible derivado del petróleo obtenido de la destilación, genera dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O), óxido de nitrógeno (NO_x), óxido de azufre (SO₂), partículas (MP) y energía. Las emisiones de diésel son una mezcla de más de 400 partículas finas diferentes, materiales orgánicos tóxicos resultantes durante la combustión del diésel. Otros contaminantes tóxicos incluidas en las emisiones del diésel son; monóxido de carbono, dióxido de azufre, compuestos de cianuro, aldehídos, benceno, formaldehído, plomo inorgánico, compuestos de magnesio y mercurio, metanol, fenol y arsénico (P. Castro & Escobar, 2006). Uno de los problemas que presentan los motores a diésel, es el uso de exceso de aire generando los óxidos de nitrógeno (NO_x) productos de la unión del oxígeno y el nitrógeno a altas temperaturas (mayores 1200 °C), al mezclarse con el vapor de agua forma ácido nitroso (NHO₂) o ácido nítrico (HNO₃) (Sánchez et al., 2019).

4.2.4. Diferencia entre los motores a diésel y a gasolina

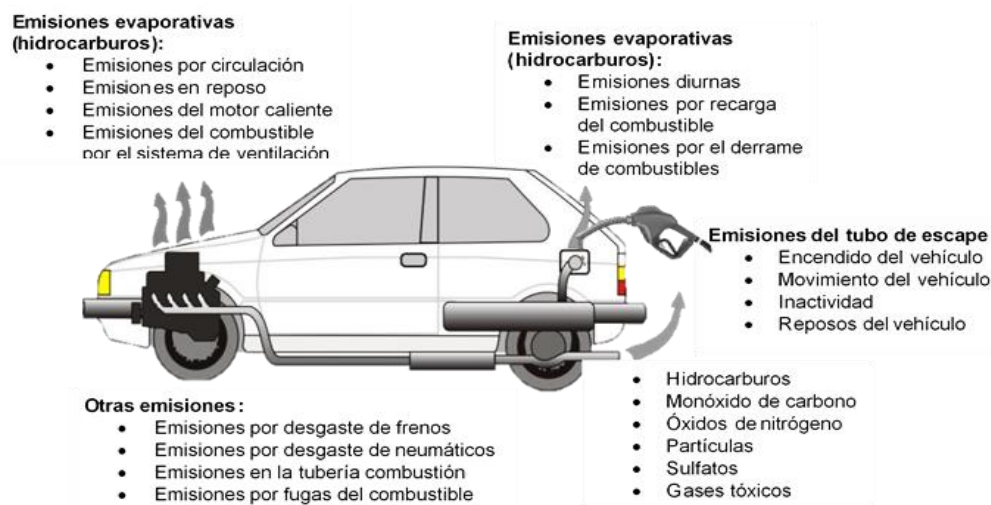
Según ICC (2011), Un motor a gasolina aspira una mezcla de gas y aire, los comprime y enciende la mezcla con una chispa, por lo general utiliza una carburación donde se mezcla el aire y el combustible antes de entrar al cilindro. Un motor a diésel solo aspira aire lo comprime y le inyecta el combustible al aire comprimido, el calor del aire enciende espontáneamente el combustible, es decir que el combustible diésel es inyectado directamente al cilindro conocido como inyección de combustible directa.

4.2.5. Procesos de emisiones de vehículos que circulan por carretera

Los vehículos automotores impulsados por motores de combustión interna generan tres tipos de emisiones (gases contaminantes) los mismos se indican en la Figura 1; **a) emisiones evaporativas** y **b) emisiones del tubo de escape** (combustión del combustible, liberados por el tubo de escape), aunque existe las **emisiones de partículas (MP)** por el desgaste de frenos y llantas, solo se tomará en cuenta las emisiones mencionadas (SEMARNAT, 2009).

Figura 1

Emisiones del vehículo



Fuente: (SEMARNAT, 2009)

4.3. Clasificación de las emisiones vehiculares

4.3.1. Emisiones evaporativas

Según International (1997), la evaporación del combustible se produce cuando el vehículo está en reposo o en circulación, su extensión dependerá de las características del vehículo, factores geográficos y meteorológicos (altura, temperatura, presión del vapor del combustible).

- **Emisiones evaporativas del motor caliente;** por la volatilización del combustible en el sistema de alimentación después de que el motor se ha apagado (calor del motor volatiliza el combustible)
- **Emisiones evaporativas de operación (circulación);** ocasionado por las fugas del combustible (líquido o vapor), cuando el motor está en funcionamiento.
- **Emisiones evaporativas durante la recarga del combustible;** emisiones evaporativas del tanque de combustible del vehículo durante la recarga, cuando el vehículo está en reposo o en gasolineras.
- **Emisiones diurnas;** por el sistema de combustible del vehículo, debido a los cambios de temperatura (T) durante todo el día.
- **Emisiones evaporativas en reposo (motor frío);** se presenta cuando el motor no está en funcionamiento, las pérdidas se deben a las fugas de combustible y permeabilidad del vapor a través de las líneas de alimentación del combustible.

4.3.2. Emisiones por abrasión

- **Fuentes de material particulado (PM);** es el levantamiento de polvo del camino, polvo recogido por las llantas y suspendido en el aire por turbulencia, desgaste de llantas y frenos, sin embargo, estas son insignificantes con las emitidas por el escape y polvo levantado, normalmente se omite en los inventarios.

4.3.3. Emisiones por tubo de escape

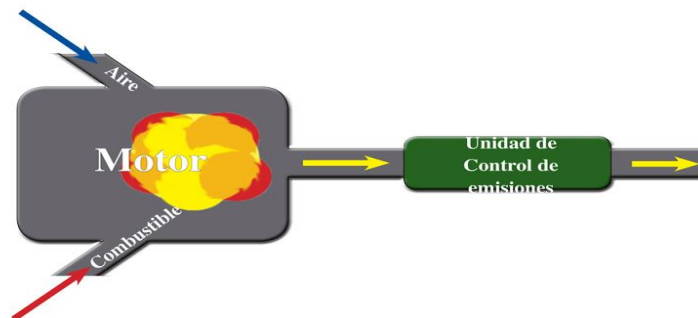
Generado por la quema del combustible (diésel, gasolina, gas licuado o biocombustibles) liberados por el tubo de escape del vehículo, generando contaminantes como el monóxido y bióxido carbono, hidrocarburos, óxido nitrógeno y material particulado, estas emisiones dependen de las características del vehículo, su tecnología, mantenimiento y su sistema de control de emisiones, también dependen de factores de operación como velocidad de circulación, la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y las características del combustible, es decir los vehículos más pesados o potentes generan mayores emisiones por kilómetros recorrido, por lo tanto el mantenimiento del vehículo y factores operativos (velocidad de circulación, frecuencia e intensidad de aceleración) y las características del combustible tiene un papel determinante en las emisiones del escape (SEMARNAT, 2009).

4.4. Generación de emisiones vehiculares

Los automóviles que circulan por las calles dentro o fuera de la ciudad son potenciados por motores de combustión interna alimentados por gasolina, diésel, gas natural, propano o etanol. El motor de combustión interna, es un motor térmico que obtiene energía del proceso de ignición del combustible, mediante este proceso transforma la energía química del combustible en energía mecánica permitiendo el movimiento del vehículo (Nicole et al., 2017).

Figura 2

Proceso de combustión de motor de combustión interna



Fuente: (Nicole et al., 2017)

En la Figura 2, se observa como el aire y el combustible son introducidos en el motor generando la combustión, la expansión de los gases como resultado de la combustión son liberados la mayoría de las veces a un dispositivo de control (catalizador). Los gases que salen por el escape son bio-productos de una reacción química entre el oxígeno del aire y el carbón (C), Hidrógeno (H), azufre (As) entre otros compuestos oxidables del combustible. El 70 % del aire de la tierra está compuesto por nitrógeno y el combustible puede tener cierta parte de nitrógeno por lo que existe una cantidad de nitrógeno en la cámara de combustión calentándose y comprimiendo a medida que se produce el proceso de combustión, llevando a la producción de óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO₂), óxido nitroso (N₂O) etc. expulsados con otros gases. La salida de los gases no es constante debido a que los vehículos están constantemente acelerando y frenando por lo tanto la cantidad de flujo de gases de escape cambiará por razón a esto. Así mismo la mezcla del aire y combustible cambia a menudo, lo cual cambia la tasa de formación de los variados componentes de escape (Nicole et al., 2017).

4.5. Clasificación de la combustión

Según Martínez (2016), la combustión se la puede clasificar en completa o incompleta dependiendo del grado de eficiencia en la oxidación total del combustible.

- **Combustión completa**, se produce cuando el combustible se quema y transforma completamente en presencia suficiente de oxígeno y en condiciones óptimas generando como producto; energía, dióxido de carbono y agua.
- **Combustión incompleta**, se produce cuando el combustible no se quema totalmente por falta de oxígeno y por condiciones inadecuadas generando productos secundarios tales como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxido de azufre, dióxido de carbono, energía, agua, cenizas finas (hollín) e hidrocarburos no quemados entre otros.

4.6. Condiciones geográficas y climáticos

La concentración de contaminantes se debe a factores naturales como la geografía y el clima. Estos factores afectan de forma significativa la calidad del aire en determinadas localidades, estaciones del año, afectando las condiciones de dispersión de los contaminantes emitidos desde la superficie. Las estructuras morfológicas son determinantes en la calidad del aire, las ciudades rodeadas por montañas influyen en la dispersión de los contaminantes ya que estos están limitados al área cerrada por el relieve. Dependiendo del tamaño de la geoforma los contaminantes tendrán mayor o menor espacio para dispersarse y disminuir su concentración

en comparación con las zonas costeras que presentan mejores condiciones de ventilación para la dispersión de contaminantes (MMA, 2016).

4.7. Parámetros ambientales que influyen en la combustión

Según Cantos & Toledo (2015), la combustión dentro de un motor es afectada por los siguientes parámetros ambientales;

- **Densidad del aire** va a depender de la cantidad de oxígeno que posee, y su concentración es afectada por la temperatura, altitud y otras condiciones atmosféricas, a nivel del mar el motor genera mayor potencia, debido a que en el aire posee una mayor concentración de oxígeno y el consumo de combustible será menor, por consiguiente, a mayor altitud la presencia de oxígeno es menor provocando que el motor genera mayores emisiones contaminantes.
- **Temperatura:** la densidad del aire se ve afectada por la temperatura ambiente, cuando la temperatura aumenta la densidad del aire disminuye, a altas temperatura la densidad aumenta.
- **Humedad:** la humedad presente en el ambiente disminuye el funcionamiento del motor, ya que a mayor humedad el octanaje disminuye.
- **Altitud y presión atmosférica:** al aumentar la altura sobre el nivel del mar menor será la densidad del aire y la concentración de gases contaminantes aumenta por la disminución del oxígeno, por lo tanto, el consumo de gasolina será mayor en comparación a la del nivel del mar. Los motores a diésel (sin turbo) pierden un 10 % de potencia por cada 1000 msnm, en cambio el motor a gasolina los octanos requeridos disminuyen de 1 a 2 octanos por cada 1000 msnm por la escasez del aire y la disminución de la presión de combustión (pérdida de la potencia del motor).

La altura es un factor importante en la combustión interna del motor, ya que al aumentar la altura la cantidad de oxígeno disminuye afectando a la combustión debido a que los motores necesitan del aire para su funcionamiento (potencia y rendimiento del combustible), por cada 100 metros sobre el nivel del mar disminuye 1 % el rendimiento, además de la altura existen otros factores como tránsito lento, aceleración rápida, usar el aire acondicionado, carga en la cajuela, partes mecánicas etc. afectan al rendimiento del combustible de un automóvil (Gómez et al., 2009).

4.8. Sistemas de control de emisiones en vehículos

En la Tabla 4 se muestran los sistemas de control de la contaminación empleados por los vehículos.

Tabla 4

Sistema de control de contaminación más empleados en motores de combustión interna

Combustible	Tipo de control	Descripción
Gasolina, Alcohol, Gas Natural, Propano, Diésel	Recirculación del gas de escape (EGR)	Disuelve parte del gas de escape a la cámara de combustión con el fin de reducir la temperatura de la cámara, de tal manera reducir la formación de NO (20 % - 50 %).
Gasolina, Alcohol, Gas Natural, Propano	Catalizador de 2 vías	Esta es la primera forma de control catalítica utilizado en vehículos. oxida el CO e hidrocarburos (COV) en CO ₂ Y H ₂ O. reduce el 90 % del CO y COV.
Gasolina, Alcohol, Gas Natural, Propano	Catalizador de 3 vías	Es la forma moderna del control catalítico. Oxida el CO e hidrocarburos de la misma forma que el catalizador de 2 vías, pero además convierte NO en N ₂ y O ₂ . Puede reducir CO Y COV hasta el 99 % y NOx en un 95 %.
Diésel	Filtro de Partículas	Remueven el material particulado (PM) desde el flujo de gas de escape por intermedio de un filtro removible. Puede reducir el material particulado hasta en un 99 %.
Diésel	Filtro Catalítico de Particulado	Destruye el material particulado del gas de escape recolectando en un filtro que contiene material catalítico y luego quema el material particulado para removerlo. Reduce el PM en un 95 % y 99 % del PM es capturado, pero es liberado durante el proceso de regeneración del filtro disminuyendo la eficiencia de captura
Diésel	Catalizador de oxidación diésel (DOC)	Similar al catalizador de 2 vías en vehículos, a gasolina, esté catalizado destruye el CO, Hidrocarburos (COV) e hidrocarburos particulados en el flujo de escape. Puede reducir CO y COV en un 09 % y PM a un 0-40 %.
Diésel	Inyección de Urea	La urea es inyectada al flujo de escape para destruir el NO que se forma en el motor. Reduce el NOx en un 50 %.
Diésel	Inyección de Urea con Catalizador	La urea es inyectada al flujo de escape y luego transportada a través de un catalizador en donde se destruye el NO. Reduce el NOx en un 70 % - 90 %.

Fuente: (Nicole et al., 2017)

4.9. Inventario de emisiones

Un inventario de emisiones de fuentes móviles es una compilación de información de emisiones relacionada con las fuentes de uno o más problemas de calidad del aire en un lugar de interés. Los inventarios de emisiones son un componente obligatorio para el desarrollo de un proceso eficaz de la gestión de la calidad del aire, normalmente son utilizados para apoyar el análisis impactos de las fuentes de contaminación, para programas de reducción de la contaminación del aire y apoyar los análisis normativos y reglamentos de los esfuerzos de gestión de la calidad del aire (Nicole et al., 2017).

4.10. Técnicas de estimación de emisiones vehiculares

4.10.1. Técnicas indirectas

Según SEMARNAT (2009), las técnicas indirectas (modelos computacionales) utilizan los resultados de miles de mediciones directas realizadas en otros lugares de estudio y las correlaciona con la flota específica que se estudia y parámetros locales que afectan sus emisiones. Aunque parezca que las técnicas indirectas son menos precisas que las técnicas directas, al estar basadas en un alto número de mediciones generan una mayor validez estadística al resultado, a continuación, se describen los modelos de emisiones más utilizados;

a) Modelo MOBILE

El modelo MOBILE fue desarrollado por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) para estimar la contaminación de vehículos en carretera, en la actualidad ha sido reemplazado por el modelo MOVES (US EPA, 2021), además el modelo es utilizado para el cálculo de factores de emisión en gramos por milla (g/milla) como hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de carbono, material particulado, tóxicos para automotores a gasolina y diésel, considerando las emisiones resultantes del escape y las emisiones evaporativas para vehículos que circulan en vías y carretera. Este programa permite el cálculo de factores de emisión para 28 diferentes categorías vehiculares conformados por criterios de uso del vehículo, tipo de combustible empleado, peso bruto del vehículo y tecnología del motor (construidos bajo normas o estándares estadounidenses) (SEMARNAT, 2009).

b) Modelo IVE

El modelo IVE fue desarrollado por la universidad nacional de california en Riverside, con fondos de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos. El Modelo Internacional De Emisiones Vehiculares (IVE), programa en lenguaje JAVA que permite la estimación de las emisiones de contaminantes criterio, tóxicos y gases de efecto invernadero (GEI) generados por los vehículos automotores que circulan por las carreteras (considera emisiones de escape y evaporativas), al igual que el programa MOVES incorpora la medición de los patrones de manejo, permitiendo corregir las emisiones por hábitos de manejo locales. Este modelo fue desarrollado para proveer a los países en vías de desarrollo una herramienta que les permita la estimación de emisiones de vehículos en circulación y que las autoridades pudieran establecer estrategias de control y planeación de transporte (SEMARNAT, 2009).

Estima las emisiones generadas por automóviles, motocicletas, camiones y autobuses permitiendo el uso de factores de emisión tanto estadounidenses como europeos y corrige las categorías vehiculares con mediciones directas. Presenta 7 categorías vehiculares agrupados en diferentes parámetros; tamaño del vehículo, tipo de combustible, uso del vehículo, sistemas de alimentación del combustible, sistemas de control de emisiones evaporativas y sistemas de control de emisiones por el tubo de escape. Estima las emisiones de los contaminantes criterio, tóxicos y gases de efecto invernadero (GEI) (SEMARNAT, 2009).

c) Modelo COPERT

El modelo COPERT (Programme to Calculate Emissions from Road Transport), fue desarrollado por el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea para la estimación de inventarios de emisiones de gases contaminantes de los vehículos por carretera tanto a nivel nacional como local, estima emisiones en caliente, frío, evaporativas de contaminantes criterio, GEI, COV, COVNM (EMISIA SA, 2022), además cabe mencionar que este modelo fue diseñado para estimar emisiones de vehículos fabricados de acuerdo con la legislación europea, estima emisiones generadas por vehículos a gasolina (con y sin plomo), diésel y GLP para seis categorías de vehículos, con el fin de realizar una estimación más precisa elaboraron una subcategoría de vehículos con base a criterios tales como: tipo de combustible, peso de vehículo, tamaño del motor, tecnología del motor etc. estima emisiones de COV, CO, NO_x, PM, CO₂, CH₄, N₂O, NH₃, SO₂, HAP, COP, METALES PESADOS (SEMARNAT, 2009).

d) Modelo MOVES

El modelo MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator) de la Agencia De Protección Ambiental De Los Estados Unidos, consiste en una base de datos escrita en JAVA/MySQL (software para el manejo de bases de datos), este sistema permite estimar emisiones para un amplio rango de contaminantes, este modelo puede ser usado para vehículos que circulan en carretera como para vehículos fuera de camino y permite múltiples escalas de análisis, el propósito del modelo es facilitar el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes móviles. El modelo MOVES incluye valores preestablecidos de la flota vehicular de los Estados Unidos, por lo que es necesario incorporar información que caracterice adecuadamente las condiciones del sitio de interés si se aplica en otro país (SEMARNAT, 2009).

Las emisiones emitidas por el vehículo automotor están directamente relacionadas con la actividad y características del vehículo, la flota vehicular se clasifica en 13 categorías, dentro de esta son reagrupados por criterios como tipo de combustible, tecnología del motor, año modelo y peso del vehículo cargado. Este modelo considera las emisiones evaporativas, por el tubo de escape y emisiones particulares (desgaste de frenos, llantas etc.) (SEMARNAT, 2009).

Estimación de Emisiones de GEI (N_2O , CH_4 , CO_2), emisiones de contaminante criterio (hidrocarburos, CO , NO_x y material particulado) y emisiones de contaminantes tóxicos (NH_3 y SO_2) (SEMARNAT, 2009).

4.10.2. Técnicas directas

Estas técnicas representan las emisiones de un vehículo en condiciones reales de operación, es decir están basadas en la medición directa de la fuente, sin embargo, el costo asociado al equipo requerido para las pruebas es alto y el tiempo que implica las mediciones, por lo que resultan poco viable para los países que no disponen con los recursos financieros suficientes para realizar estas pruebas (S. Sánchez et al., 2013).

Las técnicas más empleadas son, el monitoreo a bordo permite medir las emisiones directas procedentes de un vehículo en operación mediante el uso de un analizador de gases mientras el vehículo está en operación, las pruebas dinamométricas se llevan a cabo en condiciones controladas donde a los vehículos se les aplica una carga conocidas para representar la operación normal y mediciones con equipos de detección remota basados en la detección de emisiones vehiculares que pasan en un punto de control a través de un haz de rayos infrarrojos y/o rayos ultravioletas. (S. Sánchez et al., 2013).

4.11. Estudios realizados empleando el software MOVES

Los estudios principales que se llevaron a cabo para obtener el inventario de emisiones por medio del software *MOVES* fueron realizados en Europa y en América, descritos a continuación:

El proyecto “Evaluación de la reducción de las emisiones vehiculares por el Programa Estatal de Verificación Vehicular en el Municipio de León, utilizando el modelo MOVES”, presentó como objetivo de investigación, determinar la reducción de las emisiones por la aplicación del programa estatal de verificación vehicular (PEVV) en el año 2013, en la metodología emplearon el software MOVES (Motor Vehicle Emission Simulator), las variables incluidas en el programa fueron: el año calendario base, meteorología del año de estudio y específicamente sobre el área de estudio se especificó la temperatura ambiente y humedad relativa, formulación del combustible usado, tipo de población vehicular entre otras. El programa fue ejecutado en dos ocasiones: la primera con los datos obtenidos considerando el PEVV, la segunda sin considerar el PEVV, finalmente los resultados obtenidos mostraron una reducción de las emisiones de 4,1 % de monóxido de carbono (CO), 3,2 % de hidrocarburos totales gaseosos o compuestos orgánicos totales (COT) y 5,7 % de Metano (CH₄), finalmente la conclusión a la que llegaron fue que las emisiones vehiculares son los principales precursores del ozono O₃ por lo que no se consideró en el estudio por ser un contaminante secundario y que la verificación vehicular conlleve en beneficios en materia de salud ambiental (DGCA, 2017).

El estudio “*Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 Mediante el Uso del Modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*” el objetivo que se plantearon fue elaborar un inventario nacional de emisiones de fuentes móviles año base 2013, con una proyección para el año 2030. En la metodología del estudio emplearon el software *MOVES 2010* y los parámetros que integraron al programa fueron: a) la flota vehicular, b) la actividad vehicular obtenida por año modelo y por categoría vehiculares para tres regiones del país (norte, centro y sur), c) el promedio de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y presión barométrica), d) las características de los combustibles de cada región, e) los datos de inspección y mantenimiento vehicular. Los resultados obtenidos de la modelación de las emisiones a nivel nacional de las fuentes móviles por carretera para el año 2013 las emisiones fueron de 148,982,296 mg/año (CO₂), 3,284,361 mg/año (CO), 984,481 mg/año (NO_x), 267,143 mg/año de hidrocarburos totales HCT, 237,307 mg/año (COV), 43,394 mg/año de PM₁₀ y 36,408 mg/año (SO₂), con la proyección para el año

2030 la emisiones fueron de 247,579,660 mg/año (CO₂), 2,167,523 mg/año (CO), 508,239 mg/año (NO_x), 154,423 mg/año de hidrocarburos totales HCT, 141,302 mg/año (COV), 24,094 mg/año PM₁₀ y 7,487 mg/año (SO₂). Las conclusiones al cual llegaron es la integrar las bases de datos de entrada al modelo *MOVES* realizando la estimación de las emisiones de las fuentes móviles carreteras año base 2013 y 2030, además que la implementación de políticas en la tecnologías vehicular, calidad del combustible e implementación de programas de inspección y mantenimiento vehicular se disminuye la cantidad de contaminantes atmosféricos provenientes el tubo de escape (INECC, 2014).

En el caso de Ecuador se han realizado los siguientes estudios empleando el software *MOVES* para determinar el inventario de emisiones:

El proyecto de investigación “*Análisis de la Reducción de Emisiones por el Cambio a Buses Eléctricos Mediante Software MOVES en Santo Domingo*” el objetivo de este estudio fue analizar la reducción de emisiones por el cambio a buses eléctricos para el año 2018, el estudio muestra una metodología exploratoria conformada por cuatro etapas:

1. Recolección de la información de las 5 compañías de buses urbanos existentes en la ciudad,
2. Ejecución del simulador de emisiones Vehiculares Motor (*MOVES*) utilizando información local, precisa y actualizada que sirva de entrada al software de modelación por ejemplo las variables solicitadas por el programa son; tamaño de la flota, acumulación anual de kilometraje por clase de vehículo, km de viaje por clase de vehículo y de camino, velocidad media por tipo de camino, datos meteorológicos (T y Hr) y características del combustible.
3. La simulación de sistemas reales mediante interacción con modelo VENSIM PLE y los beneficios ambientales generados por la implementación de buses eléctricos, los resultados obtenidos fueron que para el año 2018 se hubiesen reducido los contaminantes emitidos (50,28 kg de NO_x, 10.46 kg de SO₂, 3989.40 kg de CO, 15.48 kg de NO₂, 114370.50 kg de CO₂, 13.58 kg de PM₁₀, 12.74 kg de PM_{2,5} y 9.10 kg de HCs) por la flota de los buses de la ciudad de Santo Domingo en comparación con los valores del año 2015 debido a la adquisición de nuevas tecnologías. Con VENSIM PLE determinó que al incorporar los buses eléctricos dentro de la ciudad se eliminarían las emisiones de CO₂ eq, como conclusión de este estudio el contaminante con mayor

emisión en la atmósfera en el año 2018 fue el CO (99 %) de las emisiones totales generados por los buses interurbanos de la ciudad de Santo Domingo. Por último, los buses eléctricos mitigaría el 100 % de las emisiones del tubo de escape y evaporativas, al cambiar los buses que excedan los 10 años de reduciría el 9,51 Ton de CO₂ eq y al cambiar la flota de 5 años se reduciría 79,48 Ton de CO₂ eq (N. Torres, 2019)

El estudio “*Estimación Emisiones Vehiculares En Santo Domingo 2015*”, el objetivo de la investigación fue realizar un inventario de emisiones para el transporte público de la ciudad de Santo Domingo en el año 2015, la metodología planteada consistía en la ejecución de encuestas a las empresas de transporte municipal de Santo Domingo, compañías y cooperativas de transporte de la ciudad, con la finalidad de obtener la información requerida para ingresar al software *MOVES*. El modelo que utilizaron fue el MOVES 2014a (USEPA) y los contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), gases orgánicos totales (GOT), compuestos orgánicos volátiles (COVs), amoníaco (NH₃), material particulado (MP) y óxidos de nitrógeno (NOx) los analizaron con el software. Los resultados que obtuvieron, muestran que la flota del transporte público de la ciudad de Santo Domingo emite 56,32 ton/año de contaminantes, siendo el CO el contaminante con mayor emisión de los vehículos automotores de transporte público con 43,64 ton/año seguido de NOx con 4,24 ton/año, los GOT con 4,20 ton/año y los COVs con 3,87 ton/año, los taxis correspondientes a la categoría vehicular 21 contribuyen con el 62,2 % del total de emisiones de todos los contaminantes. La conclusión del estudio es que el CO es el principal contaminante emitido a la atmósfera por los vehículos automotores públicos con 43,64 ton/año por el uso de la gasolina, donde los taxis contribuyen con el 62,2 % , los buses con el 37,8 % y NOx se emitieron por los vehículos a diésel (Castro, 2016).

4.12. Normativa legal de la gestión del aire en el Ecuador

A continuación, se menciona el marco legal vigente que abarca el tema planteado, leyes, normas reglamentos que respaldan la estimación de fuentes de contaminantes atmosférica.

4.12.1. Código Orgánico del Ambiente

La presente ley es una de las más importantes para la protección del medio ambiente en el Ecuador, presentando marco legal que se deben de realizar para la toma de acciones y el procedimiento en contra del daño ecológico e incumplimiento de las políticas ambientales.

En el libro cuarto sobre el cambio climático, título II del capítulo II Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero;

Art. 723.- ... *“El Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero contiene la estimación de las emisiones antropogénicas por fuentes. La información derivada del inventario permite identificar las principales fuentes emisoras de gases de efecto invernadero por sector del país, sirve para el desarrollo de políticas para reducción y control de emisiones a través de los instrumentos de gestión del cambio climático y las medidas y acciones de mitigación”* ...

Art. 725. ... *“Las entidades competentes encargadas de los sectores priorizados por la Estrategia Nacional de Cambio Climático, las instituciones públicas y los diferentes niveles de gobierno, deberán entregar de forma obligatoria a la Autoridad Ambiental Nacional, los datos, documentos y registros relativos a información relacionada con las categorías de fuentes emisoras y de absorciones por sumideros”* ...

4.12.2. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) Acuerdo Ministerial N° 097A

En el libro VI Anexo 4 se establece la norma ambiental, su objetivo es la preservación de la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, la conservación de los ecosistemas y del ambiente en general. En las Tablas 5 y 6 se muestran los límites permisibles de los contaminantes criterios y contaminantes no convencionales.

Tabla 5

Concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, alarma y de emergencia en la calidad del aire

Contaminantes	Tiempo concentración horas	Alerta ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Alarma ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Emergencia ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Monóxido de Carbono (CO)	8	15 000	30 000	40 000
Ozono (O₃)	8	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y óxido de Nitrógeno	1	1 000	2 000	3 000
Dióxido de Azufre (SO₂)	24	200	1 000	1 800
Material particulado PM₁₀	24	250	400	500
Material Particulado PM_{2.5}	24	150	250	350

Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg

Nota: todas las concentraciones expresadas en microgramos por metro cúbico del aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015)

Tabla 6

Norma de la calidad de aire ambiente (NCAA)

Contaminante	Símbolo	Periodo	Concentración
Contaminantes criterio			
Material Particulado	PM _{2.5}	Anual	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		24 horas	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Material particulado	PM ₁₀	Anual	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		24 horas	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		1 hora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Azufre	SO ₂	Anual	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		24 horas	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		10 minutos	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de carbono	CO	8 horas	10 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
		1 hora	30 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Ozono	O ₃	8 horas	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Contaminantes no convencionales			
Benceno	(C ₆ H ₆)	Anual	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Cadmio	(Cd)	Anual	5x10 ⁻³ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Mercurio inorgánico (vapores)	(Hg)	Anual	1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Nota: todas las concentraciones expresadas en microgramos por metro cúbico del aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015)

4.12.3. Normas por Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) del Ecuador

Las normativas vigentes en el Ecuador mencionan la regulación de los gases de escape permitidos en los vehículos que trabajan con combustibles derivados de petróleo, la cual se muestra a continuación para poder salir a circulación:

a) INEN 2204:2017, Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan gasolina

Dicha norma se basa en las regulaciones europeas y americanas adaptadas a las políticas nacionales ecuatorianas (Tabla 7). Toda fuente móvil con motor de gasolina, durante su funcionamiento en condición de marcha mínima o ralentí y temperatura normal de operación, no deberá emitir al aire monóxido de carbono (CO), e hidrocarburos (HC) en cantidades superiores a las señaladas.

Tabla 7

Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de gasolina marcha mínima o ralentí (prueba estática), considerando la altura sobre el nivel del mar

Año modelo	% CO (volumen)		Ppm HC (volumen)	
	0 – 1500 msnm	1500 – 3000 msnm	0 – 1500 msnm	1500 – 3000 msnm
2000 y posteriores	1.0	1.0	200	200
1990 a 1999	3.5	4.5	650	750
1989 y anterior	5.5	6.5	1000	1200

Fuente: INEN 2204:2017

Toda fuente móvil a gasolina que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y emisiones evaporativas en cantidades superiores a las establecidas (Tabla 8).

Tabla 8

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de gasolina (prueba dinámica) (ciclos americanos FTP-75, g/mi)

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años			
	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi
Vehículos de pasajeros	3,4	0,41	0,25	0,4	4,2	-	0,31	0,6
LLDT, LVW < 3750 lbs	3,4	-	0,25	0,4	4,2	0,80	0,31	0,6

Categoría	50,000 millas/5 años				100,000 millas/10 años			
	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	THC g/mi	NMHC g/mi	NOx g/mi
LLDT, LVW > 3750 lbs	4,4	-	0,32	0,7	5,5	0,80	0,40	0,97
HLDT, ALVW < 5750 lbs	4,4	0,32	-	0,7	6,4	0,80	0,46	0,98
HLDT, ALVW > 5750 lbs	5,0	0,39	-	1,1	7,3	0,80	0,56	1,53

Vida útil 120,000 millas/11 años para todos los estándares HLDT, THC y LDT.

Abreviaturas:

PBV Peso bruto vehicular, LVW Peso del vehículo cargado (tara + 300 lbs), ALVW LVW ajustado (promedio numérico de la tara y el PBV), LDT Camión ligero, LLDT Camión liviano ligero (debajo de 6000 lbs PBV), HLDT Camión ligero pesado (sobre 6000 lbs PBV)

Fuente: INEN 2204:2017

b) INEN 2207:2002 Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan diésel.

Toda fuente móvil a diésel que se importe o se ensamble en el país no podrá emitir al aire monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas en cantidades superiores a las establecidas (Tabla 9).

Tabla 9

Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica), a partir año modelo 2000 (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km	Ciclos de prueba
Vehículo liviano	Todos	Todos	2,10	0,25	0,62	0,12	
Vehículos medianos	=<3.860	=<1700	6,2	0,5	0,75	0,16	FTP-75
		>1700 =<3860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos pesados*	>3.860 = <6.350	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10***	Transiente pesado

*prueba realizada a nivel del mar, ** en g/bhp-h (gramos/brake house power hora), ***para buses urbanos en valor es 0,07 g/bhp-h

Fuente: INEN 2207:2002

4.12.4. Estándares internacionales de la calidad del aire

En la Tabla 10 se muestran los estándares de calidad ambiental (ECA) para aire, Ministerio del Ambiente (MINAM, Perú) decreto 003-2017-MINAM, y en la Tabla 11 se indica la normativa de calidad del aire en España y la unión europea.

Tabla 10

Estándares nacionales de la calidad ambiental del aire (ECA)

Contaminantes	Periodo	Valor ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formato	Método de análisis
Dióxido de Azufre	Anual	80	Medio aritmética anual	Fluorescencia UV
	24 horas	365	NE más de 1 vez al Año	
PM₁₀	Anual	50	Medio 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 hora	30000	NE más de 1 veces/año	
Dióxido de Nitrógeno	Anual	100	Promedio Aritmético anual	Quimioluminiscencia
Ozono	8 horas	120	NE más de 24 veces/año	Fotometría UV
Plomo	Anual	1.5	NE más de 4 veces/año	Método para PM ₁₀ (espectrometría de absorción Atómica)
	Mensual			
Sulfuro de Hidrógeno	24 horas			Fluorescencia UV

Fuente: (MINAM, 2017)

Tabla 11

Valores legislativos de la normativa europea y valores guías de la organización mundial de la salud (OMS)

Contaminantes	Valor límite/umbral de alerta	Concentración (legislación Unión Europea)	Valores guía OMS
PM₁₀	Media anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Media diaria	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 35 días/año)	45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{2,5}	Media anual	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Contaminantes	Valor límite/umbral de alerta	Concentración (legislación Unión Europea)	Valores guía OMS
	Media diaria		15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Índice medio exposición Media anual	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Media diaria	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 3 días/año)	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	Media horaria	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 24 horas/año)	
SO₂	Umbral de alerta (3 horas consecutivas en área representativa de 100 km o zona)	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Media anual	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Media diaria		25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO₂	Media horaria	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 18 horas/año)	
	Umbral de alerta (3 horas consecutivas en área representativa de 100 km o zona)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Pb	Media anual	0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
CO	Media máxima octohoraria diaria	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Media diaria		4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
C₆H₆	Media anual	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Máxima diaria de las medias móviles octohorarias	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (máximo 25 superaciones en un promedio de 3 años)	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O₃	Umbral de información (media horaria)	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Umbral de alerta (media horaria)	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Fuente: Fundación Gas Natural Fenosa & Querol (2018)

4.12.5. Estándares internacionales de las emisiones vehiculares

En la Tabla 12 y 13 se muestran los estándares y las normas de regulación para las emisiones vehiculares de Estados Unidos y Unión Europea.

Tabla 12*Estándares de emisiones para vehículos pasajeros diésel y gasolina (g/km), Unión Europea*

Motor diésel					
Legislación	Fecha de aplicación	NOx	HC+NOx	CO	PM (PPM)
Euro I	07/1992		0,97	2,72	0,140
Euro II	01/1996		0,70	1,0	0,08
Euro III	01/2000	0,50	0,56	0,64	0,05
Euro IV	01/2005	0,25	0,30	0,5	0,025
Euro V	09/2009	0,18	0,23	0,5	0,005
Euro VI	01/2014	0,08	0,17	0,5	0,005
Motor Gasolina					
Euro I	07/1992		0,97	2,72	
Euro II	01/1996		0,50	2,2	
Euro III	01/2000	0,15		2,30	
Euro IV	01/2005	0,08		1,0	
Euro V	09/2009	0,06		1,0	0,005
Euro VI	01/2014	0,06		1,0	0,005

Fuente: Fundación Gas Natural Fenosa & Querol (2018)

Tabla 13*Normas de regulación de emisiones en EEUU para vehículos de pasajeros (ciclo FTP75, unidades g/mi)*

Norma	50,000 millas/5 años			100,000 millas/10 años		
	CO g/mi	HC g/mi	NOx g/mi	CO g/mi	HC g/mi	NOx g/mi
Federal (EPA)						
US TIER 0	3.40	0,41	1.00			
US TIER I (2003)	3.40	0.25	0.40	4.20	0.31	0.60
US TIER II (2004-2010)	1.70	0.12	0.20	1.70	0.12	0.20
US TIER III (2015-2025)				1.00	0.03	0.03
California LEV I (fase I)						
Transición (TLEV)	3.40	0.12	0.40	4.20	0.15	0.60

Norma	50,000 millas/5 años			100,000 millas/10 años		
	CO g/mi	HC g/mi	NO _x g/mi	CO g/mi	HC g/mi	NO _x g/mi
Emisiones bajas (LEV)	3.40	0.07	0.20	4.20	0.09	0.30
Emisiones Ultra bajas (ULEV)	1.70	0.04	0.20	2.10	0.05	0.30
Emisiones cero (ZEV)	0	0	0			
California LEV II (fase II)						
Emisiones bajas (LEV)	3.40	0.07	0.05	4.20	0.09	0.07
Emisiones ultra bajas (ULEV)	1.70	0.04	0.05	2.10	0.05	0.07
California LEV III (fase III)						
Emisiones bajas (LEV)				4.20	0.16	0.16
Emisiones ultra bajas (ULEV125)				2.10	0.12	0.12
Emisiones ultra bajas (ULEV70)				1.70	0.07	0.07
Emisiones ultra bajas (ULEV50)				1.70	0.05	0.05
Emisiones ultra bajas (SULEV30)				1.00	0.03	0.03
Emisiones ultra bajas (SULEV20)				1.00	0.02	0.02
TLEV = emisiones vehiculares muy bajas transitorias						
LEV = emisiones vehiculares bajas						
ULEV = emisiones vehiculares ultra bajas						
SULEV = emisiones vehiculares súper ultra bajas (90 % menos de emisiones)						
PZEV = emisiones vehiculares parcial cero (cero emisiones de evaporación)						
ZEV = emisiones vehiculares cero (eléctricos e hidrógeno)						

Fuente: (Revelo & Recalde, 2015)

4.12.6. Tecnologías de control de emisiones en automotores

En las Tablas 14 y 15 se indican las tecnologías para el control de la contaminación empleadas en los automóviles de la norma EURO y de Estados Unidos.

Tabla 14

Tecnologías implementadas en los vehículos de acuerdo nueva normativa entró en vigencia

Tecnologías	Descripción
EURO 1	Turbo, Inter enfriadores, aumentó presión de inyección
EURO 2	Bombas controladas electrónicamente, turbocompresor
EURO 3	EGR, catalizador de dos vías, Nuevo diseño inyectores
EURO 4	Sistemas de post tratamiento, sistema CRDI, filtro antipartículas FAP

Tecnologías	Descripción
EURO 5	Filtro FAP mejorado, control independiente de cada inyector, diésel grado 3
EURO 6	Dos EGR para alta y baja presión, SCR con Adblue (Urea)

Fuente: (García, 2018)

La EPA (por sus siglas en inglés Environmental Protection Agency) gestiona los estándares de emisiones vehiculares por medio de las “TIER”, cabe recalcar que cada norma es más rigurosa que la anterior, sin embargo, las normas de emisiones de California “LEV” establecidos por California Air Resources Board (CARB) son más estrictas que las federales EPA, por lo que varios estados los han adoptado (Trujillo, 2019).

Tabla 15

Estratos tecnológicos de Estados Unidos

Estratos tecnológicos	Descripción
1976 y anterior	Vehículos sin sistemas de postratamiento de gases
1977 – 1984	Vehículos con convertidor catalítico, de dos y tres vías
1985 – 1993	Vehículos TIER 0, con convertidor catalítico de tres vías
1994 – 2005	Vehículos TIER 1, con convertidor catalítico de tres vías avanzado e incorporación de sistemas de diagnóstico a bordo de segunda generación
2006 y post	Vehículos TIER 2
2017 - 2025	TIER III

Fuente: (INECC, 2014)

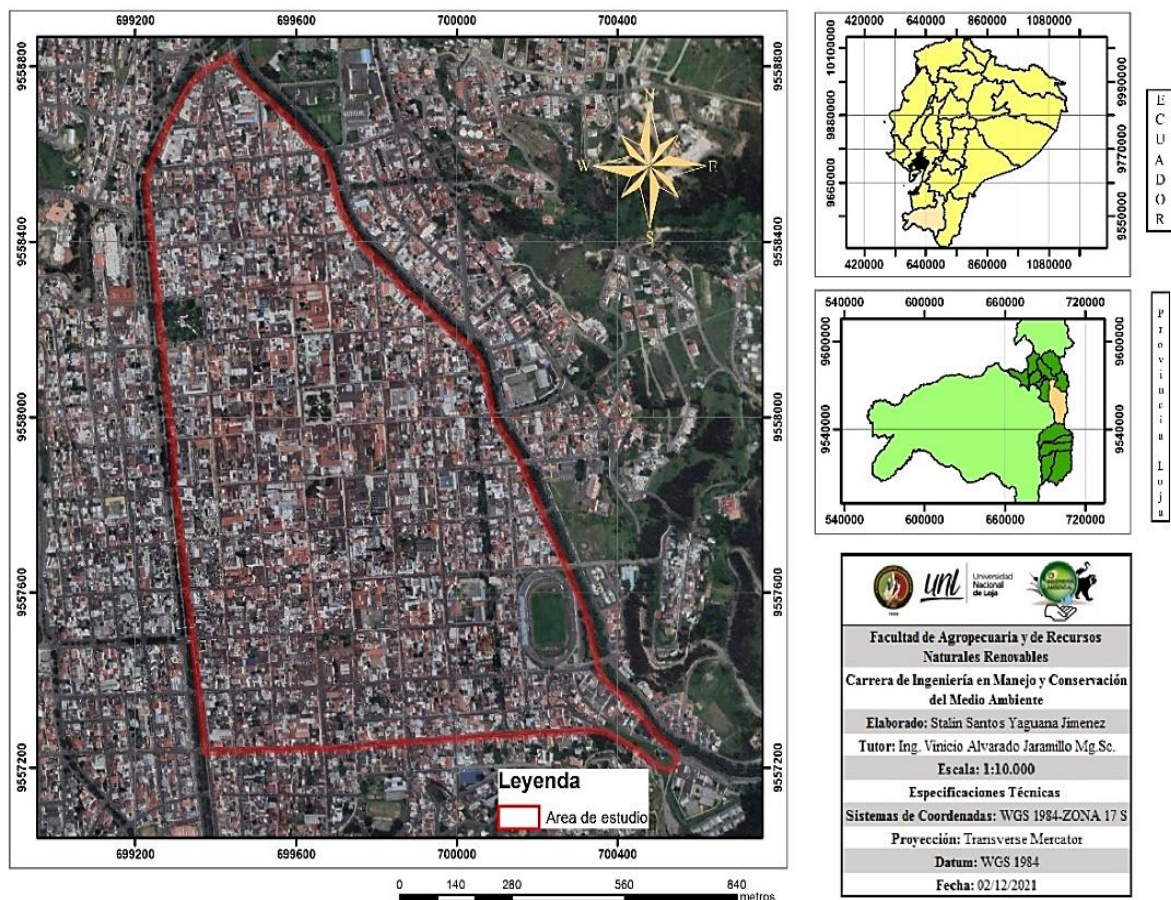
5. Metodología

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó al sur de la Región Interandina de la república del Ecuador en la ciudad de Loja, provincia y cantón de Loja (Figura 3), la zona de estudio se delimitó al casco céntrico de la ciudad comprendida entre la Av. Universitaria con - Av. Emiliano Ortega (Oeste-Este) y la calle Juan de Salinas hasta la calle Catacocha (Norte-Sur). La ciudad de Loja se encuentra atravesada por los ríos Zamora y Malacatos, ubicada en las coordenadas latitud sur: 03° 39' 55" y 04° 30' 39" (9501249 N – 9594638N) y longitud oeste: 05' 58,6" y 79° 32' 42,1" (661421 E -711075 E), a una altitud promedio de 2100 msnm. Comprendida entre los límites norte y este con las elevaciones de Osopamba, Mascarón, Santa Bárbara y Sañe; al sur por la elevación de Cajanuma y al Oeste por la elevación del Villonaco. Presenta un clima temperado ecuatorial subhúmedo con una temperatura media de 16 °C (PNUMA et al., 2007).

Figura 3

Mapa de ubicación de la zona de estudio en la ciudad de Loja



Fuente: elaborado por el autor

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo por la recolección de datos numéricos obtenidos del aforo vehicular de cada intersección en la zona céntrica de la ciudad de Loja, permitiendo obtener información actual del área de estudio y enfoque cualitativo al considerar los datos bibliográficos (revisión de documentos) de las investigaciones realizadas para delimitar los puntos de aforo vehicular y determinar la situación pasada con la actual.

Las etapas en el cual se basa la investigación, la primera en el registro del aforo (conteo) vehicular en los puntos de muestreo previo a una delimitación del área de estudio, la segunda es el registro de las encuestas realizadas a los conductores que circulan por la zona de estudio, con el fin de determinar la actividad vehicular y el motivo de circulación dentro de la zona céntrica de la ciudad de Loja, la tercera es la operación del software MOVES para generar un inventario de emisiones de los gases provenientes del tubo de escape y evaporativas.

La investigación es de tipo exploratorio y longitudinal (no experimental) ya que previo a la delimitación del área de estudio se comenzó con la recolección de los datos en distintos momentos durante un periodo de tiempo, la información obtenida permitió analizar la congestión vehicular en los puntos de muestreo y el flujo en el tiempo.

Los métodos empleados en la realización del trabajo investigativo fueron: método observacional, por medio de la observación directa en la zona de estudio donde se realizó la contabilización y clasificación de los vehículos por categoría, método de análisis, empleado para el procesamiento de la información recolectada por encuestas realizadas a los conductores de los vehículos en el área de estudio y método de síntesis, para determinar cuál es el combustible con mayor demanda por parte de los vehículos y que categoría vehicular circula con frecuencia en la zona céntrica de la ciudad Loja.

Las técnicas empleadas para el estudio de investigación fueron: encuestas, realizadas a los conductores de los automóviles para recopilar información de la actividad vehicular en la zona de estudio y trabajo de campo, para el levantamiento de la información de fuentes primarias, es decir, son aquellas que se obtiene información actualizada acerca de la zona de estudio mediante la observación directa por medio de mediciones, muestreos, encuestas etc.

La población o universo analizada es el tráfico vehicular (carga vehicular en las vías) existente que circulan por la zona de estudio, en el mes de diciembre (2021), enero (2022) y febrero (2022).

5.2. Determinar la carga vehicular, cantidades y tipos de combustibles usados en la urbe lojana.

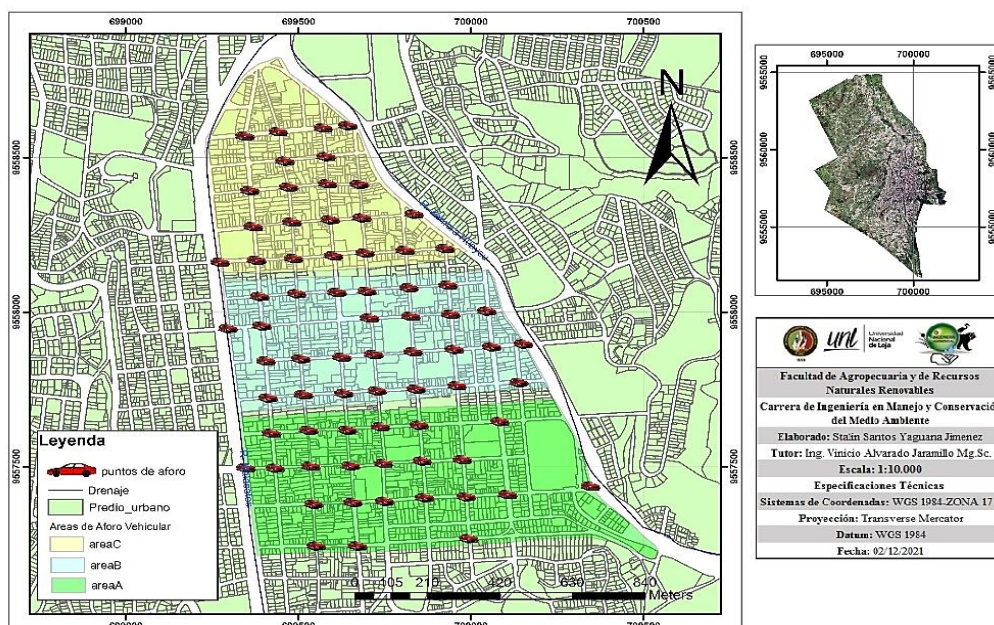
5.2.1. Conteo vehicular

Por medio del conteo vehicular, se determinó el número de vehículos que transitan por una determinada vía en la zona céntrica de la ciudad de Loja, el método que se utilizó para realizar el aforo o conteo vehicular fue el método manual que consiste en el registro de cada categoría vehicular en un formato elaborado (Figura 5) mediante la observación directa en cada punto establecido. Los 72 puntos establecidos (Figura 4) se determinó en base a la revisión bibliográfica de investigaciones realizadas por diferentes autores en la zona céntrica de la ciudad, en el cual mencionan los puntos (intersecciones) con mayor congestión vehicular durante las “horas pico”.

El conteo vehicular se realizó en los 72 puntos seleccionados dentro de la zona céntrica de la ciudad para los tres estratos A, B y C en el mes de diciembre del año 2021 y los meses de enero y febrero del año 2022 en intervalos de tiempo de 15 minutos, realizando la misma actividad en las tres “horas pico” de 7h00-8h00 am, 12h00-13h00 pm y 18h00-19h00 pm para todos los días de la semana a excepción del día domingo ya que cierran las calles en el casco céntrico de la ciudad (Anexo 1).

Figura 4

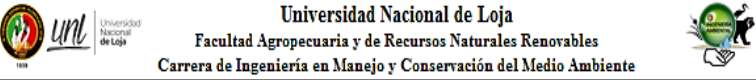












Puntos de aforo vehicular en la zona de estudio



Fuente: elaborado por el autor

Para el aforo vehicular se empleó formatos para la toma de datos de campo, fueron elaboradas tomando como referencia las Tablas expuestas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas Del Ecuador (MTOPE), ajustada para el área de estudio (Figura 5), con el fin de determinar la categoría vehicular que circula con mayor frecuencia en las calles céntricas de la ciudad.

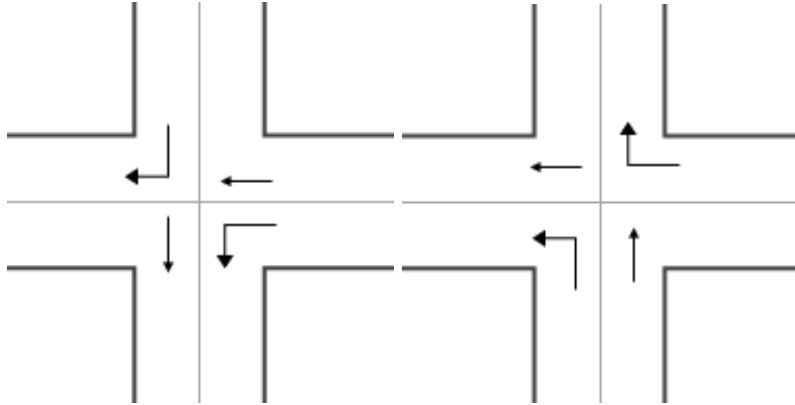
Figura 5
Ficha del aforo vehicular en la zona de estudio

														
FICHA N° 1: FICHA DE AFORO VEHICULAR														
Responsable		Ubicación						Croquis						
Calles		fecha (D.M.A)												
Clima		Sentido						N-S S-N E-W						
Hora		VEHICULOS LIVIANOS (2 ejes simples)			VEHICULOS PESADOS					VEHICULOS EXTRA PESADOS		MOTOS	OTROS	TOTAL CH15 min
		AUTOS	TAXIS	CAMIONETAS	BUSES		CAMIONES			CAMIONES				
Inicio	Final													
7:00	7:15													
7:15	7:30													
7:30	7:45													
7:45	8:00													

Fuente: elaborado por el autor

En conteo de vehículos se consideraron los movimientos permitidos para cada intersección como se indica en la Figura 6.

Figura 6
Movimientos vehiculares permitidos en la intersección



Fuente: elaborado por el autor

A continuación, en la Tabla 16 se indican las intersecciones (puntos de aforo) ubicados dentro de la zona de estudio, la Av. Universitaria con Av. Emiliano Ortega entre la calle Catacocha y la calle Juan de Salinas.

Tabla 16*Puntos de aforo vehicular en la zona de estudio*

Punto	Área	Intersección	Ubicación de las intersecciones
1	C (norte)	AFOROP14	Calle Juan de Salinas/ 18 de noviembre
2	C (norte)	AFOROP15	Calle Juan de salinas/ A. José Sucre
3	C (norte)	AFOROP38	Calle Juan de Salinas/ Simón Bolívar
4	C (norte)	AFOROP3	Calle Juan de Salinas/ Av. Emiliano Ortega
5	C (norte)	AFOROP16	Calle José Félix de Valdivieso/ A. José Sucre
6	C (norte)	AFOROP37	Calle José Félix de Valdivieso/ Simón Bolívar
7	C (norte)	AFOROP13	Calle Quito/ 18 de noviembre
8	C (norte)	AFOROP17	Calle Quito/ A. José Sucre
9	C (norte)	AFOROP36	Calle Quito/ Simón Bolívar
10	C (norte)	AFOROP39	Calle Quito/ Bernardo Valdivieso
11	C (norte)	AFOROP12	Calle Imbabura/ 18 de noviembre
12	C (norte)	AFOROP18	Calle Imbabura/ A. José Sucre
13	C (norte)	AFOROP35	Calle Imbabura/ Simón Bolívar
14	C (norte)	AFOROP40	Calle Imbabura/ Bernardo Valdivieso
15	C (norte)	AFOROP69	Calle Imbabura/ Av. Emiliano Ortega
16	C (norte)	AFOROP1	Calle Cristóbal Colón/ Av. Universitaria
17	C (norte)	AFOROP11	Calle Cristóbal Colón/ 18 de noviembre
18	C (norte)	AFOROP19	Calle Cristóbal Colón / A. José Sucre
19	C (norte)	AFOROP34	Calle Cristóbal Colón/ Simón Bolívar
20	C (norte)	AFOROP41	Calle Cristóbal Colón/ Bernardo Valdivieso
21	C (norte)	AFOROP56	Calle Cristóbal Colón/ J. Joaquín de Olmedo
22	C (norte)	AFOROP57	Calle Cristóbal Colón/ J. José Peña
23	B (centro)	AFOROP10	Calle J. Antonio Eguiguren/ 18 de noviembre
24	B (centro)	AFOROP20	Calle J. Antonio Eguiguren/ A. José Sucre
25	B (centro)	AFOROP33	Calle J. Antonio Eguiguren/ Simón Bolívar
26	B (centro)	AFOROP42	Calle J. Antonio Eguiguren/ Bernardo Valdivieso
27	B (centro)	AFOROP55	Calle J. Antonio Eguiguren/ J. Joaquín de Olmedo
28	B (centro)	AFOROP58	Calle J. Antonio Eguiguren/ J. José Peña
29	B (centro)	AFOROP2	Calle 10 agosto/ Av. Universitaria
30	B (centro)	AFOROP9	Calle 10 agosto/ 18 de noviembre

Punto	Área	Intersección	Ubicación de las Intersecciones
31	B (centro)	AFOROP43	Calle 10 agosto/ Bernardo Valdivieso
32	B (centro)	AFOROP54	Calle 10 agosto/ J. Joaquín de Olmedo
33	B (centro)	AFOROP59	Calle 10 agosto/ J. José Peña
34	B (centro)	AFOROP68	Calle 10 agosto/ 24 de mayo
35	B (centro)	AFOROP8	Calle Vicente Rocafuerte/ 18 de noviembre
36	B (centro)	AFOROP21	Calle Vicente Rocafuerte/ A. José Sucre
37	B (centro)	AFOROP32	Calle Vicente Rocafuerte/ Simón Bolívar
38	B (centro)	AFOROP44	Calle Vicente Rocafuerte/ Bernardo Valdivieso
39	B (centro)	AFOROP53	Calle Vicente Rocafuerte/ J. Joaquín de Olmedo
40	B (centro)	AFOROP60	Calle Vicente Rocafuerte/ J. José Peña
41	B (centro)	AFOROP67	Calle Vicente Rocafuerte/ 24 de mayo
42	B (centro)	AFOROP71	Calle Vicente Rocafuerte/ Av. Emiliano Ortega
43	B (centro)	AFOROP7	Calle Miguel Riofrío/ 18 de noviembre
44	B (centro)	AFOROP22	Calle Miguel Riofrío/ A. José Sucre
45	B (centro)	AFOROP31	Calle Miguel Riofrío/ Simón Bolívar
46	B (centro)	AFOROP45	Calle Miguel Riofrío/ Bernardo Valdivieso
47	B (centro)	AFOROP52	Calle Miguel Riofrío/ J. Joaquín de Olmedo
48	B (centro)	AFOROP61	Calle Miguel Riofrío/ J. José Peña
49	B (centro)	AFOROP70	Calle Miguel Riofrío/ Macara
50	A (sur)	AFOROP6	Calle Azuay/ 18 de noviembre
51	A (sur)	AFOROP23	Calle Azuay/ A. José Sucre
52	A (sur)	AFOROP30	Calle Azuay/ Simón Bolívar
53	A (sur)	AFOROP46	Calle Azuay/ Bernardo Valdivieso
54	A (sur)	AFOROP51	Calle Azuay/ J. Joaquín de Olmedo
55	A (sur)	AFOROP66	Calle Azuay/ 24 de mayo
56	A (sur)	AFOROP72	Calle Alonso de Mercadillo/ Av. Universitaria
57	A (sur)	AFOROP5	Calle Alonso de Mercadillo/ 18 de noviembre
58	A (sur)	AFOROP24	Calle Alonso de Mercadillo/ A. José Sucre
59	A (sur)	AFOROP29	Calle Alonso de Mercadillo/ Simón Bolívar
60	A (sur)	AFOROP47	Calle Alonso de Mercadillo/ Bernardo Valdivieso
61	A (sur)	AFOROP50	Calle Alonso de Mercadillo/ J. Joaquín de Olmedo
62	A (sur)	AFOROP62	Calle Alonso de Mercadillo/ J. José Peña

Punto	Área	Intersección	Ubicación de las Intersecciones
63	A (sur)	AFOROP25	Calle Lourdes/ A. José Sucre
64	A (sur)	AFOROP28	Calle Lourdes/ Simón Bolívar
65	A (sur)	AFOROP48	Calle Lourdes/ Bernardo Valdivieso
64	A (sur)	AFOROP49	Calle Lourdes/ J. Joaquín de Olmedo
67	A (sur)	AFOROP63	Calle Lourdes/ J. José Peña
68	A (sur)	AFOROP65	Calle Lourdes/ 24 de mayo
69	A (sur)	AFOROP4	Calle Lourdes/ Av. Emiliano Ortega
70	A (sur)	AFOROP26	Calle Catacocha/ A. José Sucre
71	A (sur)	AFOROP27	Calle Catacocha/ Simón Bolívar
72	A (sur)	AFOROP64	Calle Catacocha/ J. José Peña

Fuente: elaborado por el autor

5.2.2. Caracterización de la zona céntrica de estudio

Para la recopilación de información de las posibles razones del congestionamiento vehicular, en las intersecciones seleccionadas se realizó una inspección visual de las calles céntricas por donde circulan los vehículos.

5.2.3. Actividad vehicular

Para conocer la información de la actividad vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja, se empleó la técnica de encuesta (Anexo 2) aplicadas a los conductores de los vehículos para obtener información de la cantidad o gasto aproximado de combustible, tipo de combustible utilizado, uso del aire acondicionado etc. Las encuestas se aplicaron de dos formas: la primera por medio de la plataforma Google forms (vía internet), la segunda de manera presencial en estacionamiento de taxis, camionetas, gasolineras etc.

El tipo de muestreo fue aleatorio permitiendo que la probabilidad sea la misma para cada conductor de la población elegida, obteniendo conclusiones de la muestra e inferir lo que puede ocurrir a partir de esta en la población. Para determinar la cantidad de camionetas, taxis, autos, motocicletas, camiones y buses, a tomar como muestra representativa el total de la carga vehicular de los tres meses, se obtuvo el tamaño de la muestra por proporciones, que permite determinar el tamaño de la muestra a partir del universo de la población, se utilizó la ecuación 1 en el caso de proporciones para determinar el número de encuestas aplicadas por categoría vehicular, sugerida por (Gómez et al., 2009).

$$n = p(1 - p) \left(\frac{Z}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Donde

n = tamaño de la muestra

p = proporción estimada, basada en la experiencia o estudio piloto

Z = valor asociado con el nivel de confianza (1,65)

E = error máximo permitido (0,10)

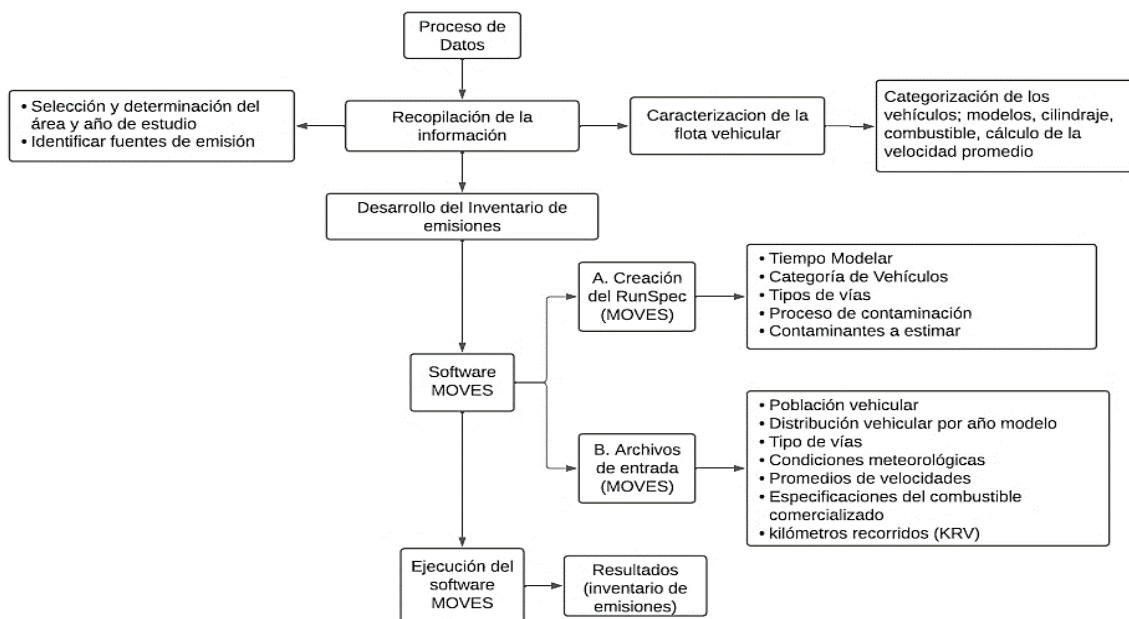
El nivel de confianza escogido fue del 90 % ($Z = 1,65$) teniendo en cuenta la calidad de la información recolectada, debido a que las encuestas son aplicadas directamente a los conductores de los vehículos, es decir, la probabilidad de éxito es del 90 % y del fracaso del 10 % ($E = 0,10$) considerando la fiabilidad de los resultados.

5.3. Estimar la concentración de contaminantes criterio mediante el software MOVES para el transporte público y privado.

Se planteó la siguiente metodología propuesta para realizar inventarios de emisiones de contaminantes criterios emitidos por el parque automotor en la zona céntrica de la ciudad de Loja (Figura 7).

Figura 7

Metodología para la estimación de las emisiones de la flota vehicular en la zona céntrica de Loja



Fuente: elaborado por el autor

A continuación, se describe cada una de las etapas:

5.3.1. La caracterización de la flota vehicular en la zona céntrica de ciudad Loja.

Se empleó el método por placas que consiste en el registro del número de placa de cada automotor durante las “horas pico” de cada intersección, para lo cual se utilizó un formulario elaborado (Figura 8).

Figura 8

Ficha registro número de placas de automotores

										
Responsable					Ubicación				Croquis	
Calles					Fecha (D.M.A)					
Clima					Sentido	N-S	S-N	E-W	W-E	
Placa	Provincia (Matriculación)	Tipo de placa (servicio)	Color de Placa	Año	Marca	Modelo	Clase	Pais	Combustible	Cilindraje (cc)
PBX8853	Pichincha	Particular	Blanca	2012	CHEVROLET	AK8JRA 7.7 4X2 TM	Camioneta	Ecuador	Diesel	3000

Fuente: elaborada por el autor

5.3.2. Procesamiento de los datos

Obtenido el registro del número de placa de los vehículos que transitan en las calles céntricas de la ciudad, se procede a adquirir información de cada vehículo mediante la página web del Servicio de Rentas Internas (SRI) del Ecuador, en el apartado de servicios en línea, seleccionamos la opción de vehículos (valores a pagar por placa o chasis), en el que se mostrará una ventana y una opción de búsqueda para ingresar el número de placa del vehículo donde se observará las características del vehículo. Las características que se tomaron en cuenta de cada vehículo ingresado fue el año, clase, tipo de combustible, servicio, país, cilindraje y marca como se muestra en la Figura 9, tomando en cuenta la clasificación de MOVES. Con la información proporcionada por el SRI se la organizó en una Tabla diseñada en una hoja de Excel, dichos datos sirvieron para la elaboración de un inventario vehicular para obtener la caracterización de la flota vehicular.

El SRI del Ecuador clasifica de manera general los automotores por ejemplo el sistema clasifica a las busetas como camionetas, los taxis como automóvil, los buses provinciales como Ómnibus y un gran número de vehículos gubernamentales son registrados como servicio particular, por tal motivo no se pudo realizar una clasificación en la base de datos sobre la clase buseta, buses provinciales y autos de servicio gubernamentales, cabe mencionar que las placas

que tienen tres letras y tres números se le agrega cero al inicio de la numeración para que el sistema pueda detectarlos.

Figura 9
Características del automotor SRI

Placa, RAMV o CPN
Chasis

Consultar valores a pagar

Placa, RAMV o CPN

[Consultar](#)

Consulta valores a pagar por placa o chasis

Placa
LAA1983

Marca	Modelo	Año de modelo	País
HINO	AK8JRSA 7.7 4X2 TM DIESEL	2015	JAPON

Último año de pago
2020

RAMV o CPN	Cantón	Clase	Servicio
G01500573	LOJA	OMNIBUS	ALQUILER

Cilindraje	Color 1	Color 2	Estado exoneración	Prohibido enajenar
7684	VERDE	VERDE	SI	NO

Fecha caducidad matrícula	Fecha última matrícula	Fecha compra	Fecha matrícula anual
2025-04-30	2020-06-23	2015-03-31	2020-06-23

Observaciones

RESTRICCIÓN DE VENTA POR CINCO AÑOS A PARTIR DE LA FECHA DE COMPRA - PLAN RENOVA

Fuente: Servicio De Rentas Internas del Ecuador (SRI)

5.3.3. Desarrollo del inventario de emisiones

Software MOVES

Se realizó un reconocimiento del software MOVES2014b del año 2018, determinando la información requerida para obtener el inventario de emisiones vehiculares, por medio de documentos o guías se identificó la información necesaria para su ejecución, debido a que es un modelo desarrollado por la EPA, la base de datos predeterminada corresponde a las

condiciones de los Estados Unidos por lo que es necesario realizar una adaptación los datos obtenidos en la zona modelada.

a) Creación de un archivo de especificaciones RunSpec (MOVES)

Para crear el RunSpec es necesario la información local de la zona de estudio donde se realizará el inventario de emisiones; zona geográfica, el periodo de tiempo de análisis, tipos de vehículos que circulan por la zona de estudio (categoría), tipos de vías (carreteras o calzada), tipo de combustible que usa la flota vehicular (especificaciones), procesos que producen emisiones, contaminantes considerados para el inventario y proceso de operación del vehículo, (Anexo 3 y 4) los mismos que se describirán a continuación;

a) Periodo de tiempo

En la presente investigación se consideró las “horas pico”, es decir desde 07h00 am a 08h00 am, 12h00 pm a 13h00 pm y 18h00 pm a 19h00 pm donde se produce un mayor congestionamiento vehicular en las calles céntricas de la ciudad, en los meses de diciembre, enero y febrero periodo 2021-2022.

b) Categorías de vehículos

En la Tabla 17 se muestran a continuación las 13 categorías de vehículos considerados por MOVES.

Tabla 17

Categoría vehicular según MOVES

ID tipo fuente	Tipo de vehículo	Descripción
11	Motocicleta	Vehículos con menos de cuatro ruedas.
21	Automóviles de pasajeros (Autos particulares y taxis)	Vehículos de dos ejes cuya función principal es el transporte de pasajeros
31	Camión de pasajeros (Camionetas y jeeps)	Vehículos particulares de mayor cilindraje que los de la categoría 21, su principal uso es para la carga y transporte de pasajeros.
32	Camión comercial ligero (Busea y furgones)	Camiones de eje utilizado principalmente para el transporte de carga y pasajeros.

ID tipo fuente	Tipo de vehículo	Descripción
	Autobuses interurbanos	
41	(autobuses intercantonales e interprovinciales)	Vehículos de pasajeros con una capacidad de 15 o más personas. Utilizado principalmente para el transporte entre ciudades
42	Autobús de tránsito (Autobús urbano)	Vehículos de pasajeros con una capacidad de 15 o más personas. Utilizado principalmente para el transporte dentro de las ciudades.
43	Autobús escolar	Vehículos de pasajeros con una capacidad de 15 o más personas. Utilizado principalmente para el transporte de los estudiantes para la escuela
51	Camión de basura	Camiones utilizados principalmente para transportar basura a una ubicación central
52	Camión de corta distancia /una sola unidad	Camiones de una sola unidad con más de cuatro neumáticos con un rango de operación de hasta 200 millas
53	Camión de larga distancia/ una sola unidad	Camiones de una sola unidad con más de cuatro neumáticos con un rango de operación de más de 200 millas
54	Casa rodante	Camiones utilizados como casa-habitación
61	Camión combinado de corto recorrido	La combinación del tractor / remolque con más de cuatro neumáticos con un rango de operación de hasta 200 millas en su trayecto
62	Camión combinado de largo recorrido	Conjunto tractor / remolque con más de cuatro neumáticos con un rango de operación de más de 200 millas en su trayecto

Fuente: EPA (2012)

En la presente investigación se empleó 8 categorías de 13, debido a que el ID 41, ID 51, ID 54 se encuentra en una probabilidad baja de ocurrencia en la zona de estudio, mientras que ID 61, ID 62 está prohibido la circulación de vehículos pesados debido a su rigidez dentro de la zona céntrica de la ciudad.

Se realizó la homologación del parque automotor de la provincia de Loja propuesta por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (2020) con las categorías vehiculares del software MOVES (Tabla 18). No se consideró realizar una homologación con los estándares de emisión vehiculares (“TIER”) de los Estados Unidos debido a que se tendría que tomar años

modelos más antiguos y las emisiones de cada categoría vehicular tienden a ser mayores con los datos homologados (Puentes & Valdés, 2022).

Tabla 18

Homologación con las categorías vehiculares INEC-MOVES

Categoría vehicular INEC (AÑO)	MOVES	
	ID	categorías
Autos	21	Automóvil de pasajeros
SUV	21	Automóvil de pasajeros
Taxis	21	Automóvil de pasajeros
Motocicletas	11	Motocicletas
Furgonetas de pasajeros	31	Camión de pasajeros
	41	Autobús interurbano
Buses	42	Autobús urbano
	43	Autobús escolar
Camionetas	31	Camión de pasajeros
Furgonetas de carga	32	Camión comercial ligero
Camiones < 3 TM	54	Casa rodante
	51	Camión de basura
Camiones 3 ¼ a 6 TM	52	Camión de corta distancia/una sola unidad
Camiones 6 ½ a 9 TM	53	Camión de larga distancia/una sola unidad
Camiones 10 a 15 TM	61	Camión combinado de corto recorrido
Camiones 15 TM>	62	Camión combinado de largo recorrido
Tanqueros	53	Camión de larga distancia/una sola unidad
Tráiler	62	Camión combinado de largo recorrido
Volquetas	53	Camión de larga distancia/una sola unidad

Fuente: elaborado por el autor

c) Tipos de vías o calzada

MOVES define cinco tipos de carreteras diferentes existentes en Estados Unidos descritas en la Tabla 19 la misma que permitirá identificar las vías en la zona de estudio, las vías con las características similares a la zona de estudio por donde circulan los vehículos es la vía de Acceso Urbano sin Restricciones que corresponde a las vías asfaltadas, adoquinadas y

de hormigón identificada como ID 5, debido a que todas las calles del centro de Loja se encuentran asfaltadas.

Tabla 19

Tipos de vías o carreteras según MOVES

ID	Tipos de vías	Descripción
1	Fuera de la red (carretera)	Todos los lugares donde la actividad predominante es el arranque de vehículos (no están en movimiento): los estacionamientos y lugares de partida como paradas de camiones, estaciones de autobuses, zonas de descanso.
2	Acceso rural restringido	Carreteras rurales donde solo puede acceder mediante una rampa de entrada (autopistas e intersecciones)
3	Acceso Rural sin restricciones	Todos los demás caminos rurales (arterias, conectores y calles locales) vías sin tratamiento.
4	Acceso Urbano restringido	Vías urbanas que solo pueden acceder por una rampa (autopistas e intersecciones))
5	Acceso Urbano sin restricciones	Todas las demás vías urbanas (arterias, conectores y calles locales) con tratamiento (asfaltado)

Fuente: EPA (2014)

d) *Proceso de contaminación del vehículo*

MOVES contiene 15 procesos de contaminación generados por los vehículos en carretera (Figura 1), para la presente investigación se estimó los procesos provenientes del tubo de escape cuando se encuentra en movimiento (running exhaust), las evaporativas provenientes del tanque/sistema de combustible (evap fuel vapor venting) y evaporativas de fugas del combustible (evap fuel leaks) de los vehículos que circulan dentro de la zona céntrica de la ciudad de Loja.

e) *Contaminantes a estimar*

Para el inventario de emisiones vehiculares que circulan por la zona céntrica de la ciudad de Loja, los contaminantes seleccionados e introducidos en el software MOVES se muestran en la Tabla 20 perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas, establecidos por la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire.

Tabla 20*Contaminantes criterio y no convencionales de la calidad del Aire*

Contaminante	Descripción
Dióxido de azufre	SO ₂
óxido de nitrógeno	NO _x
Material particulado	PM ₁₀ totales
Material particulado	PM _{2,5} totales
Monóxido de carbono	CO
Compuestos orgánicos volátiles	COVs
Amonio	NH ₃

Fuente: elaborado por el autor

5.3.4. Determinación de los archivos de entrada para MOVES

Una vez creado el RunSpec el siguiente paso fue determinar los archivos de entrada del software MOVES en formato Excel que contienen información específica de la zona de estudio tales como el tipo fuente vehicular, distribución por año modelo, tipos de vías, condiciones meteorológicas, promedio de velocidades, especificaciones del combustible y kilómetros recorridos del vehículo (Anexo 5 y 6). A continuación, se describen cada uno de los archivos de entrada;

a) Tipo fuente población (Source Type Population)

Finalizado el aforo vehicular en los puntos establecidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja durante los tres meses (2021-2022), los datos obtenidos se los organizó en Tablas elaboradas en Excel donde se estableció el número de vehículos de cada categoría vehicular, para su posterior importación al software MOVES.

b) Distribución vehicular por año modelo (Age Distribution)

Con base a la información obtenida en los registros vehiculares de la página web del Servicio de Rentas Internas (SRI) del Ecuador, se obtuvo la edad de la flota vehicular que transita en la zona céntrica de la ciudad, en esta pestaña se ingresa la distribución de edad por categoría vehicular en base al software MOVES cubriendo más 30 años de antigüedad.

Se debe colocar cero para los vehículos del año modelo 2022, es decir que los vehículos para ese año modelo 2022 se acumulará en la edad cero, en cambio para los años modelo 2021 estarán en la edad 1 continuando así sucesivamente, la información se la organizó en una hoja de cálculo de Excel para importar a MOVES.

c) Tipos de vías o calzadas (Road Type Distribution)

Para la creación de este archivo de entrada, se tomó en cuenta la infraestructura vial de la zona céntrica de la ciudad, en esta pestaña se ingresa información sobre la fracción de recorrido (VMT) de cada categoría en los diferentes tipos de vías, las distancias (km) de las calles fueron medidas por medio Google Earth Pro, con la información proporcionada se elaboró una Tabla para su organización.

d) Meteorológica (Meteorology Data)

El modelo MOVES requiere de datos de la temperatura (°F, temperature) y humedad relativa (% , relHumidity) como datos de entrada del lugar donde se realizó el muestreo, dichos datos fueron obtenidos y proporcionados por la estación meteorológica de la UTPL ubicada dentro del campus de la universidad, los mismo se los puede visualizar en la página web (<https://vinculacion.utpl.edu.ec/es/observatorios/clima>), del cual se usaron los promedios de las variables meteorológicas para la ciudad de Loja durante 2021-2022 en los meses de diciembre, enero y febrero, cabe mencionar que la temperatura debe ser convertida de ° C a ° F por ser unidad requerida por el software MOVES, la información se la organizó en una hoja de cálculo de Excel.

e) Distribución promedio de la velocidad (Average Speed Distribution)

Se realizó el cálculo de la velocidad de circulación de los vehículos por medición directa en las “horas pico” seleccionados al azar, para dicha actividad se determinó las calles céntricas de la ciudad que carecían de la presencia de semáforos (Figura 10) y se seleccionó la longitud de 235 metros de calle, para estimar el tiempo (t) de recorrido se utilizó un cronómetro. Por medio de la Tabla 21 proporcionada por MOVES se ubican los valores promedios de las velocidades para cada categoría vehicular tomando en consideración la siguiente ecuación 2 utilizada por Gómez (2016) para el cálculo de la velocidad recorrida. La velocidad promedio es una variable importante de los vehículos ya que esta se introducirá en el software MOVES para el cálculo de las emisiones.

$$v = \frac{d}{t} \quad (2)$$

Donde;

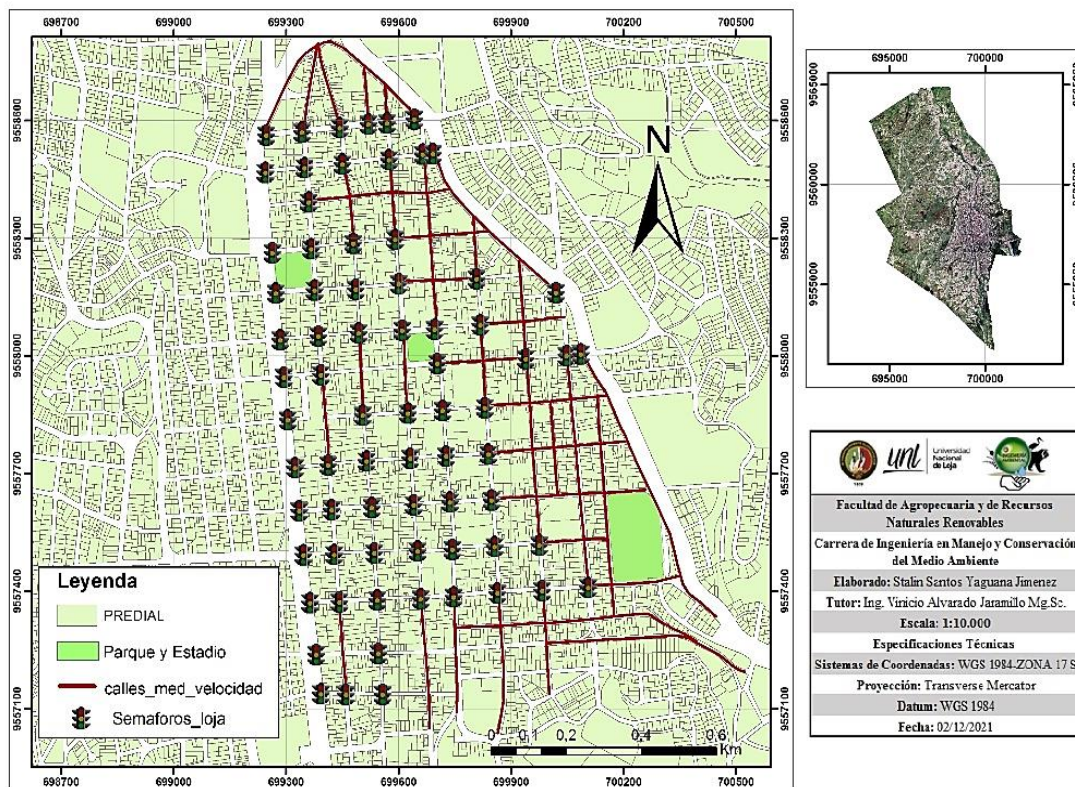
v = velocidad (m/s)

d = distancia (m)

t = tiempo (s)

Figura 10

Medición de la velocidad dentro de la zona de estudio



Fuente: elaborado por el autor

En la Tabla 21 se presenta 16 clasificaciones de intervalos de potencia, estos van de 4.0 a 129,7 km/h proporcionada por MOVES.

Tabla 21*Intervalos de velocidad según MOVES*

# de intervalo o bin	Velocidad promedio (km/hr)	Rango de bin's de velocidad (km/hr)
1	4.0	Menor de 4
2	8.0	Mayor o igual a 4 y menor a 12.1
3	16.1	Mayor o igual a 12.2 y menor a 20.1
4	24.1	Mayor o igual a 20.1 y menor a 28.2
5	32.2	Mayor o igual a 28.2 y menor a 36.2
6	40.2	Mayor o igual a 36.2 y menor a 44.2
7	48.3	Mayor o igual a 44.2 y menor a 52.3
8	56.3	Mayor o igual a 52.3 y menor a 60.3
9	64.4	Mayor o igual a 60.3 y menor a 68.4
10	72.4	Mayor o igual a 68.4 y menor a 76.4
11	80.5	Mayor o igual a 76.4 y menor a 84.5
12	88.5	Mayor o igual a 84.5 y menor a 92.5
13	96.5	Mayor o igual a 92.5 y menor a 100.6
14	104.6	Mayor o igual a 100.6 y menor a 108.6
15	112.6	Mayor o igual a 108.6 y menor a 116.7
16	129.7	Mayor o igual a 116.7

Fuente: EPA (2016)

f) Combustibles (Fuel)

MOVES presenta cuatro Tablas, *fuelFormulation*, *Fuel Supply*, *FuelUsageFraction* y *AVFT* que interactúan para definir los combustibles utilizados en la zona de estudio, la participación en el mercado y la composición de las mezclas de combustibles etc., los mismos se describen a continuación;

- **Tabla FuelFormulation;** en este archivo de entrada se puede reformular o crear una nueva formulación de combustible ingresan los valores de la composición fisicoquímica de los combustibles comercializados en la zona de estudio, así como la identificación de los combustibles para ingresarlos en el archivo FuelSupply, los valores se asignaron de acuerdo a la normativa INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) para los productos derivados de petróleo de la gasolina (INEN 935: 2016) y el diésel (INEN 1489:2012).

- **FuelSupply:** revisado o modificado el archivo FuelFormulation este archivo puede ser rellenado, donde se establece el porcentaje de venta de cada combustible o formulaciones de combustible y el coeficiente de variación respecto a las ventas, debe sumar uno dentro de cada tipo de combustible.
- **FuelUsageFraction;** en este archivo se define la frecuencia con la que los vehículos con capacidad Etanol-85 (combustible flexible) usan Etanol-85 en comparación con la gasolina convencional, sin embargo, en Ecuador no se usa E-85, por lo tanto, se especifica que no hay combustible Etanol-85 en la zona de estudio asignando 1 para la fracción de combustible convencional y 0 a la fracción de Etanol-85.
- **Tabla AVFT;** define la fracción de uso de los tipos de combustibles comercializados y tecnología del motor para cada categoría vehicular y año modelo, en la Tabla 22 muestra los tipos de combustible.

Tabla 22

Tipos de combustibles MOVES

ID	Tipos de combustibles
1	Gasolina
2	Diésel
3	Gas natural comprimido (GNC)
4	Gas licuado de petróleo (GLP)
5	Etanol (E-85)

g) Cantidad de millas recorridas (Vehicle Type VMT)

El archivo de entrada de Vehicle Miles Traveled (VMT) requerido por software MOVES, también conocido como KVR define un promedio de la cantidad de kilómetros o millas recorridos por un vehículo o flota de vehículos para una zona geográfica durante un determinado tiempo días, meses y años. En el presente estudio se empleó la metodología empleada por Gómez et al. (2009) donde menciona que a partir de los datos de uso y consumo de combustibles semanales y la combinación de la información obtenida con los rendimientos promedios por categoría vehicular se obtiene los Kilómetros Recorridos por Vehículo (KRV), cabe mencionar que los datos del consumo de combustible se los obtuvo aplicando la encuesta a los conductores (Anexo 1), además Gómez et al. (2009) no considera el kilómetro acumulado (odómetro) por el vehículo ya que es un dato muy disperso y con un margen de error enorme.

Los rendimientos promedios de cada categoría vehicular se utilizó los valores proporcionados por Díaz & Castillo (2021), en su investigación dichos valores se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23

Rendimiento promedio según el tipo de vehículos Ecuador

Tipo de vehículos	Gasolina (km/gal)	Diésel (km/gal)	Híbridos (km/gal)
AUTOS	40	45	63
SUV	35	43	35
TAXIS	38	44	
MOTOS	30	35	
FURGONETAS PASAJEROS	35	42	
BUSES	20	30	35
CAMIONETAS	32	42	
FURGONETA CARGA	25	30	
CAMIONES <3 TM	20	25	
CAMIONES 3 ¼ a 6 TM	18	22	
CAMIONES 6 ½ a 9 TM	15	20	
CAMIONES 10 a 15 TM	13	17	
CAMIONES 15 TM<	6	12	
TANQUEROS	4	9	
TRAILERS	6	10	
VOLQUETAS	4	9	

*Nota: *SUV (Sport Utility Vehículos Deportivos Utilitarios)*

Fuente: Díaz & Castillo (2021)

5.3.5. Procedimiento para calcular los KRV

Con los datos de uso del combustible en porcentaje (gasolina Súper, gasolina Extra y gasolina Ecopaís) se obtiene el precio del combustible ponderado, el precio del combustible en el momento de realizar las encuestas fue de gasolina Súper a 3,49 \$ por galón, gasolina Extra a 2,55 \$ por galón, gasolina Ecopaís a 2,55 \$ por galón y Diésel a 1,90 \$ por galón, utilizando la ecuación 3 aplicada por Gómez et al. (2009) se obtiene el precio ponderado de las gasolinas comercializadas.

Precio comb

$$= \frac{2.55 (\% \text{ uso comb. Ecopaís}) + 2.55 (\% \text{ uso comb. extra}) + 3.49 (\% \text{ uso comb. super})}{(\% \text{ uso comb. Ecopaís}) + (\% \text{ uso comb. extra}) + (\% \text{ uso comb. super})} \quad (3)$$

En la Tabla 24 se indica el procedimiento a seguir para calcular KVR de acuerdo al consumo de combustible, obteniendo de esta manera el dato de los kilómetros recorridos anuales, el mismo procedimiento se aplicó para el resto de las categorías vehiculares.

Tabla 24

Cálculo de kilómetros recorridos vehicular por consumo de combustible

Desviación estándar del consumo de combustible semanal	0
Rendimiento promedio (km/gal)	0
Promedio del Consumo de combustible semanal (\$)	0
Precio de la gasolina ponderada por galón (\$)	0
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio de la gasolina ponderada por galón en \$)	0
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanales)	0
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	0

Fuente: (Gómez et al., 2009)

Finalmente, el MOVES2014b presenta tres escalas de modelación: nacional, condado y proyecto, en este trabajo de investigación se utilizó la escala condado, en el panel de límites geográficos (geographic Bounds) se seleccionó dominio personalizado (Custom Domain).

Cabe agregar, que cuando se importan los archivos al software MOVES a lado de cada archivo tiene una señal de verificación (visto verde) o de incorrecto (x roja), los archivos (variables) que no se mencionaron se conservaron por defecto.

5.3.6. Ejecución de MOVES

Con toda la información organizada en las Tablas de Excel se procede a subir todos los archivos adaptados a las condiciones de la zona de estudio al software MOVES, por último, damos clic en el botón Activo / Ejecución realizando la corrida del Runspec y de los archivos, obteniendo las emisiones o concentraciones de los contaminantes de cada categoría vehicular.

5.3.7. *Inventario de emisiones*

El inventario de emisiones generado por el software MOVES, contiene información sobre los diferentes contaminantes emitidos hacia la atmósfera urbana de la ciudad de Loja por el tubo de escape y evaporativas de las diferentes categorías vehiculares.

5.4. Realizar mapas de tráfico vehicular y de las concentraciones de contaminantes emitidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja.

En la presente investigación se usó los Sistemas De Información Geográficos (SIG) para el procesamiento y visualización de los datos obtenidos del aforo vehicular realizado en la zona céntrica de la ciudad de Loja y las concentraciones de los contaminantes emitidos por el parque automotor por la ejecución del software MOVES. La elaboración de los mapas se utilizó el software Excel para la importación de los datos y el software ArcGis10.5, donde se realizaron los análisis espaciales determinando los puntos de aforo con mayor o menor congestión vehicular durante las “las horas pico”, de la misma manera para las emisiones vehiculares.

Una vez generada la base de datos ordenados en la hoja de cálculo de Excel, se importa los datos al software ArcGis10.5, para la digitalización de puntos muestreados y la capa de los ejes viales (delimitado la zona de estudio), con la ayuda de la caja de herramientas “3D Analyst Tools” de ArcMap, se utilizó la herramienta “Raster Interpolation” para la interpolación de los datos del congestión y contaminantes vehiculares, se seleccionó el método de interpolación “IDW”, además se realizó una reclasificación de los datos (Reclassify) y una extracción por máscara (Extract by Mask) con el fin de visualizar los datos sobre las calles principales y secundarias de la zona céntrica de la ciudad de Loja, por último se asignó colores para una mejor visualización de los datos.

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos de la simulación de emisiones vehiculares (software MOVES) con los límites máximos permisibles de la normativa de la calidad del aire de Ecuador se basó en la metodología empleada por Caballero & Valencia (2018), menciona que utilizó un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos denominado modelo de celda fija, este modelo asume que la emisión se ve confinado dentro de límites definidos considerando que el contaminante no entra ni sale por la parte superior o por ningún lado que no sea paralelo a la dirección del viento, cuya fuente principal de

contaminación en la zona de estudio es el tráfico vehicular por lo se utilizó la ecuación 4 para determinar la concentración de un contaminante.

$$C_F = C_0 + \left(\frac{Q_A \Delta_x}{vz} \right) \quad Q_A = \frac{\text{masa}}{\text{área}} \quad (4)$$

Donde:

C_f = concentración final del contaminante ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

C_o = concentración inicial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

z = altura de mezclado (m), 35 a 50 para la ciudad de Loja.

v = velocidad promedio del viento (m/s)

Δ_x = longitud de dirección paralelo al viento (m)

Δ_y = longitud de dirección perpendicular al viento (m)

Q_A = tasa de emisión ($\mu\text{g}/\text{s} * \text{m}^2$)

5.4.1. Análisis estadístico

El análisis se realizó a partir de los resultados obtenidos del aforo vehicular, las encuestas dirigidas a los conductores y las características del automotor en base al Sistema de rentas Internas del Ecuador (SRI), la información obtenida se la organizó en Tablas con el fin de importarlas al programa MOVES para poder generar el inventario de emisiones para los tres meses diciembre, enero y febrero (2021-2022).

6. Resultados

6.1. Determinar la carga vehicular, cantidades y tipos de combustibles usados en la urbe lojana.

6.1.1. Caracterización de la zona de estudio

Las posibles causas del tráfico vehicular en las calles céntricas de la ciudad de Loja son por la concentración de varias instituciones públicas y privadas, locales comerciales, centros médicos, instituciones financieras, instituciones educativas etc. atrayendo a un gran número de personas y vehículos, ocasionando una aglomeración vehicular en las calles céntricas y una concentración de contaminantes a la atmósfera de la zona céntrica de la ciudad, además de la salida de los estudiantes de las escuelas, colegios y la salida de los vehículos de los parqueaderos en las “horas pico”, cabe mencionar que para ingresar/salir de la zona céntrica de la ciudad de Loja debe hacerse por medio de puentes. La mayoría de las vías céntricas presenta un solo carril delimitando el flujo vehicular y generando un “cuello de botella” al pasar de dos carriles a un carril así mismo presenta vías con tramos de un carril y pasa a tramos de dos carriles, en las Tablas 25 y 26 se presenta la información recolectada sobre las causas del congestionamiento vehicular.

Tabla 25

Razones de la congestión vehicular en las calles (O-E) céntrica de la ciudad de Loja

Calles	Posibles razones del congestionamiento
Juan de Salinas	Locales comerciales, (repuestos automotores, panaderías, mecánica, farmacias, local estética, herrería, ferretería, cajeros automáticos, oficinas, tiendas), centros médicos; clínicas, parqueadero público y parqueadero municipal (en toda la vía). (doble vía (O-E y E-O), edificaciones entre 1 a 5 pisos)
José Félix de Valdivieso	Locales comerciales (insumos médicos, farmacias, repuestos automotores, centros estéticos, aluminio y vidrio, restaurantes, mecánica, ferretería, tiendas, locales de ropa, lavandería ropa, papelerías), edificios; Tribunal de Garantía Penales Unión Jurídica Penal, centros médicos: odontológicos, “Medihelp”, instituciones financieras; coop. Cristo Rey, parqueaderos municipales (toda la vía). (dos carriles (E-O), edificaciones entre 5 a 2 pisos)
Quito	Locales comerciales (farmacias, restaurantes, locales de ropa, locales estética, repuestos automotores (más 5), tiendas), edificios: centro de formación religiosa oblatas Manuel Valarezo, notaría 02, centros médicos: consultorios odontológicos, consultorios médicos “San Camilo”, clínica “Lojasalud”, parqueaderos municipales (toda la vía) y parqueaderos (3). (un carril (O-E), edificaciones entre 5 a 2 pisos)

Calles	Posibles razones del congestionamiento
Imbabura	Locales de comercio (restaurante, locales de ropa, local venta de autos, respuestas de autos, maquinaria de construcción, hostel “chandelier”, tiendas), institución educativa: escuela particular Antonio Peña Celi, unidad educativa San Francisco de Asís, institución financiera: coop. Fortuna, centros odontológicos. oficinas del diario “hora”, consejo cantonal de seguridad ciudadana CCSC, Parqueaderos (3), parqueaderos municipales entre 18 noviembre y Bernardo Valdivieso. (un carril (E-O), edificios de 5 a 2 pisos)
Cristóbal Colón	Locales comerciales (restaurantes, tiendas, farmacias, hostel “Vilcatur”, hostel “Ransis”, equipos electrodomésticos, herrería), notaría 06, centro médico: “Medical Center”, laboratorio “Edtalanb”, centro dental “sandenid”, hospital militar, laboratorio clínico, edificio Contraloría, Jurídica Gratuita de la Universidad Internacional del Ecuador, casa de la cultura “Benjamín Carrión”, edificio Judicial de Loja, correos del Ecuador, Institución financiera Cacpe Loja. gasolinera, parqueadero público y municipal y plaza “san francisco”. (un carril (O-E), dos carriles (colon entre Bernardo y Bolívar, colón entre Av. Universitaria y 18 noviembre), edificios entre 5 a 2 pisos. congestión vehicular (cuello de botella), 18 noviembre y colón, Bernardo Valdivieso y colon)
José Antonio Eguiguren	Locales comerciales (equipos electrodomésticos, zapatería, ropa, hotel “podocarpus”, hostales, farmacias, hostel “Oro Verde”, restaurantes, farmacias), edificio de la contraloría del estado, edificio judicial de Loja, edificio portal jurídico, municipio de Loja, edificio “CNT”, Institución financiera: “Crea”, coop. Chibuleo, coop. Solidario, banco BanEcuador, banco de Machala, Produbanco, banco Guayaquil, banco Austro, colegio “la dolorosa”, notaría 03, notaría 07, parqueadero público y municipal, catedral, parque central. (un carril (E-O) y dos carriles (Eguiguren entre Bolívar y Bernardo), edificio entre 5 a 2 pisos, congestión vehicular Eguiguren y Bolívar)
10 de agosto	Locales comerciales (equipos electrónicos, hostales, ropa, supermercados, farmacias, restaurantes), instituciones financieras: banco de Pichincha, coop. Coopfilz, centro médico; oftalmológico, “Saludsa”, “ABMedical”, edificio de Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, centro comercial de Loja, estación de bomberos, museo y centro cultural de Loja, parroquia, monasterio concepcionista, parqueadero público. (un carril (O-E), dos carriles (10 agosto entre Bolívar y Bernardo Valdivieso), edificio de 6 a 3 pisos, Congestión vehicular Av. Universitaria y 10 de agosto, Bernardo Valdivieso y 10 de agosto)
Rocafuerte	Locales comerciales (ferretería, lavandería, restaurantes), Banco de Loja, edificios del IESS, Banco del Biess, teatro Bolívar, empresa eléctrica del “EERSSA”, Banco Finca, colegio “La Inmaculada”, escuela particular Miguel ángel Suarez, clínica, centro oftalmológico, clínica dental, Plaza “Santo Domingo”, parqueadero público y municipal, (un carril (E-O), edificios de 6 a 2 pisos).
Miguel Riofrío	Establecimiento de las Toyota, locales comerciales (restaurantes, ropa, calzado, ferretería), hotel “zamorano real”, escuela de educación básica “Dirigente del Futuro”, Instituto Tecnológico Sudamericano, Sindicato de Operadores y Mecánicos, Western Union, distribuidor LojaGas, cajeros automáticos banco de Loja, parqueadero público y municipal (en toda la vía), (un carril (O-E), edificios 5 a 2 pisos).

Calles	Posibles razones del congestionamiento
Azuay	Locales comerciales (restaurante, farmacia, papelerías), centros médicos, clínica “San Agustín”, parqueaderos de la clínica San Agustín, coop, Marcabel, Banco Internacional, parqueadero público y municipales, plaza de las flores, escuela “Punto de partida”, establecimientos diversión, estadio “Reina del Cisne”, (un carril (E-O) y dos carriles (Azuay entre Av. Universitaria y 18 noviembre, Azuay entre José Peña y 24 mayo), edificio de 5 a 1 piso).
Mercadillo	Locales comerciales (restaurante, equipos electrónicos, ropa), cajeros de Banco Loja, coop Padre Julián Lorente, Western Union, coop. Jardín Azuayo plaza de San Sebastiano, escuela Miguel Riofrío, escuela 18 de noviembre, edificio de Netplus, parqueaderos públicos y municipales, (un carril (O-E) y dos carriles (mercadillo entre 24 mayo y Olmedo), edificio 5 a 2 pisos).
Lourdes	Local comercial, mercado de San Sebastián, ruta del bus urbano, coordinación zonal 7, centros odontológicos, parqueaderos públicos, academia inglesa “Be Free”, estadio “Reina del Cisne”, (un carril y dos carriles (Lourdes entre Bernardo Valdivieso y Emiliano ortega), edificios 4 a 1 pisos).
Catacocha	Centro médicos (biomplast, Genaltor Medic), locales comerciales, parqueaderos públicos y municipales, coop. Cristo Rey, mecánica, hostel “Iruña”, viviendas (doble vía (O-E y E-O), edificios de 3 a 1 piso).

Fuente: elaborado por el autor

Tabla 26

Razones de la congestión vehicular en las calles (N-S) céntrica de la ciudad de Loja

Calles	Posibles razones de congestionamiento
Av. Universitaria	Locales comerciales (ferretería, restaurantes), lavanderías de autos, hostales, parqueaderos públicos, edificio del registro civil, establecimiento Toyota, hostales, estación de los bomberos, gasolinera, parque Simón Bolívar, mecánica, laboratorio clínico, cruz roja, coop. Cristo Rey, mayor movilidad de taxis, (dos carriles S-N).
18 noviembre	Locales comerciales (repuestos de autos, ferretería, restaurantes, mueblería, supermercados, ropa), viviendas, consultorios dentales, Edificio Ecotel, coop. Cariamanga, Coop. Jeep, parqueaderos públicos y municipales, hostel “San Sebastián”, edificio “Calypso”, centro comercial, parque Simón Bolívar, cajeros automáticos coop. Jeep y CoopMego, mal estacionamiento del vehículo, (dos carriles N-S).
Antonio José de Sucre	Locales comerciales (restaurantes, ropa, equipos electrónicos), parqueaderos públicos y municipales, escuela de educación básica Simón Bolívar, centros médicos (odontológicos), edificio de la Fiscalía General del Estado, Western Union, notaria, plaza Matilda, Instituto educativo Antonio Peña Celi, hostel “San Luis”, edificio Instituto Patrimonio Cultural, mal estacionamiento de vehículos, (un carril S-N).
Simón Bolívar	Locales comerciales (imprentas), Colegio “Pio Jaramillo Alvarado”, escuela de educación básica “Eliseo Álvarez”, parqueaderos públicos y municipales, plaza San Sebastián, coop CoopMego, unidad educativa inmaculada, plaza santo domingo, Banco de Loja, Banco Bolívar, cajeros automáticos, parque central, Municipio de Loja, plaza San Francisco, cooperativa fortuna, unidad educativa

Calles	Posibles razones de congestión
	San Francisco de Asís, viviendas, (un carril (N-S), dos carriles Catacocha y Bolívar)
Bernardo Valdivieso	Coop. Cristo Rey, locales comerciales, estacionamientos públicos y municipales, mercado San Sebastián y plaza San Sebastián, escuela Zoila Alvarado Jaramillo, escuela Miguel Riofrío, teatro Bolívar, edificio del IESS, consejo nacional electoral, edificio SRI, Banco de Pichincha, Municipio de Loja, catedral, parque central, Prefectura de Loja, escuela particular Betel, unidad educativa Ángel Palacios, centro médico, (un carril (S-N), dos carriles Bernardo Valdivieso y Lourdes)
José Joaquín de Olmedo	Clínica Abendaño, parqueaderos municipales y públicos, locales comerciales, escuela Miguel Riofrío, estación de radio, Coordinación Nacional de Educación Zona 7, colegio Santa Mariana de Jesús, colegio “La Dolorosa”, centros de diversión, iglesia de Jesucristo Sud, (dos carriles N-S).
Juan José Peña	Ruta de los buses, locales comerciales, hospital UTPL, viviendas, parqueaderos públicos y municipales, escuela 18 de noviembre, mecánica, notaría sexta, mayor movilidad de taxis y camiones, (dos carriles S-N).
24 de mayo	Viviendas, restaurantes en toda la vía, escuela de educación básica Adolfo Jurado, estacionamientos municipales, (dos carriles N-S).
Av. Emiliano Ortega	Estadio “Reina del Cisne”, plaza Cristóbal Ojeda, locales comerciales, viviendas, ruta de bus, parqueadero público, plaza Marco Ochoa, (dos Carriles S-N).

Fuente: elaborado por el autor

6.1.2. Tráfico vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja

En las siguientes Figuras 11, 12, 13 se indican el tráfico vehicular por área (A, B, C) de la zona céntrica de la ciudad de Loja para los tres diferentes periodos de tiempo, mañana (07h00 a 08h00), tarde (12h00 a 13h00) y noche (18h00 a 19h00) en los meses de diciembre del año 2021 y de enero, febrero del año 2022, cabe mencionar que se realizó una agrupación entre buses urbanos con los buses internacionales, los camiones livianos con los camiones pesados y los camiones de 3, 4, 5 ejes con otros (máquina de construcción, tanqueros) debido a su baja circulación por la zona céntrica (Anexo 7).

Figura 11

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 07 a 08 am

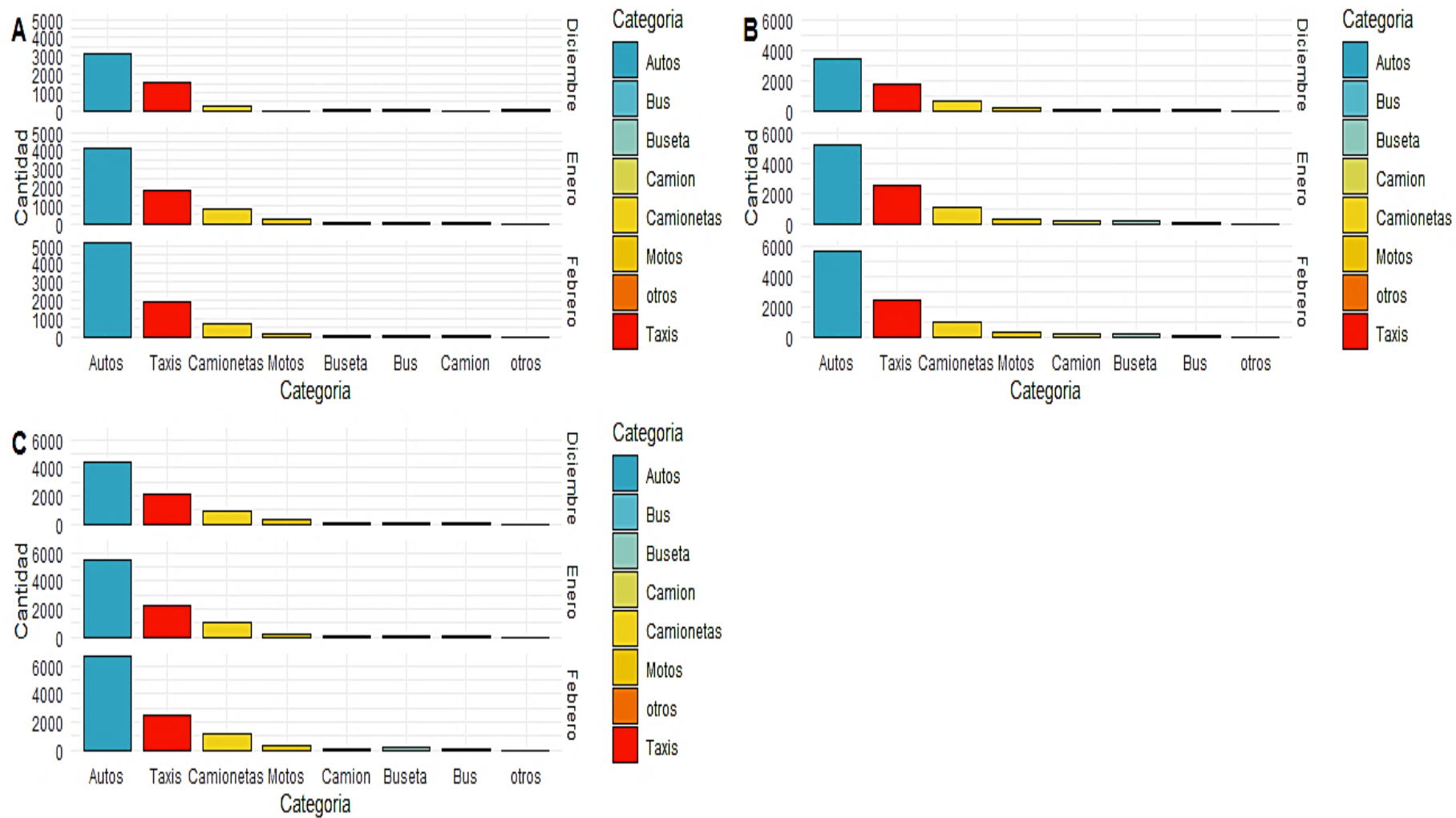


Figura 12

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 12 a 13 pm

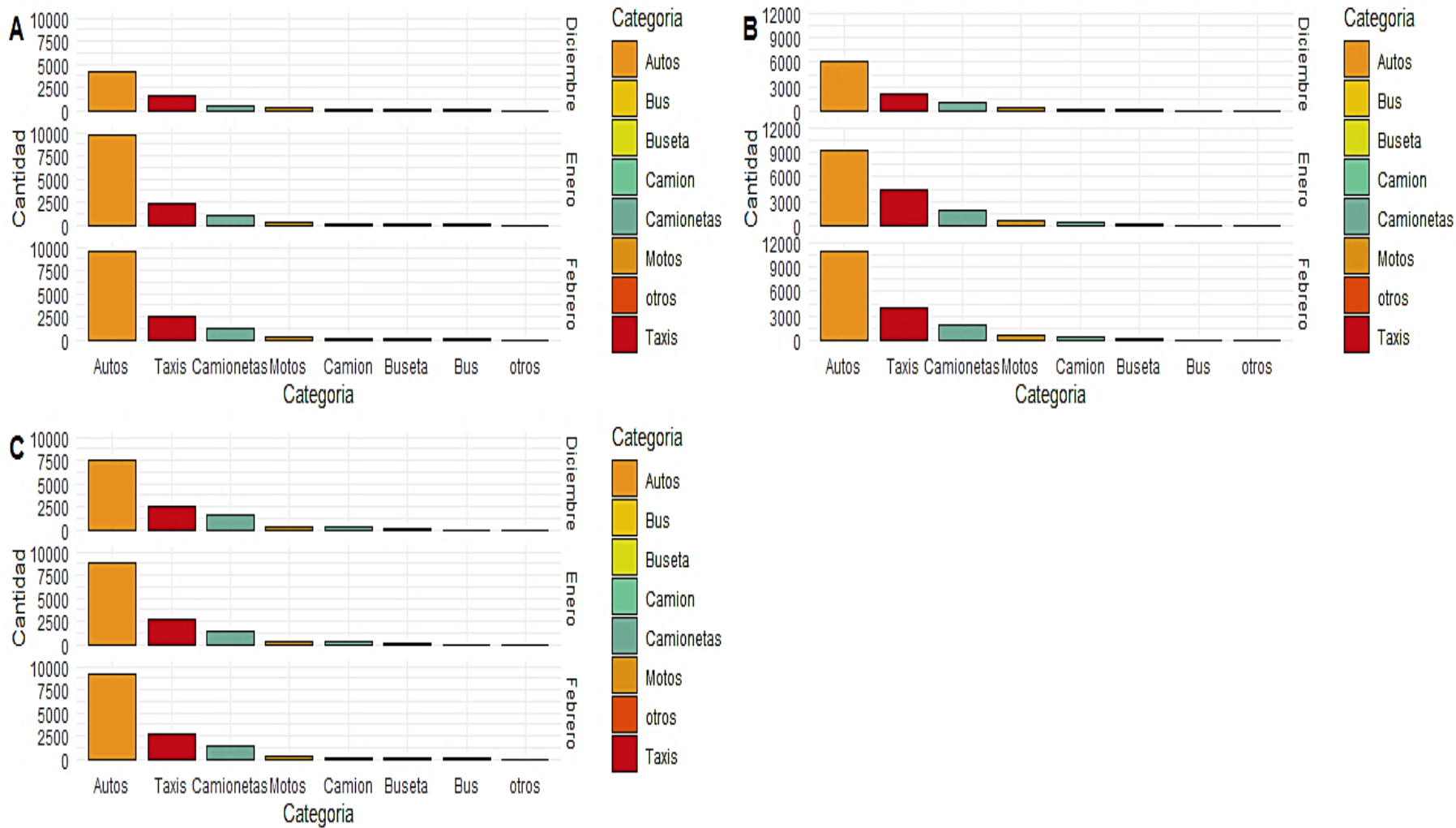
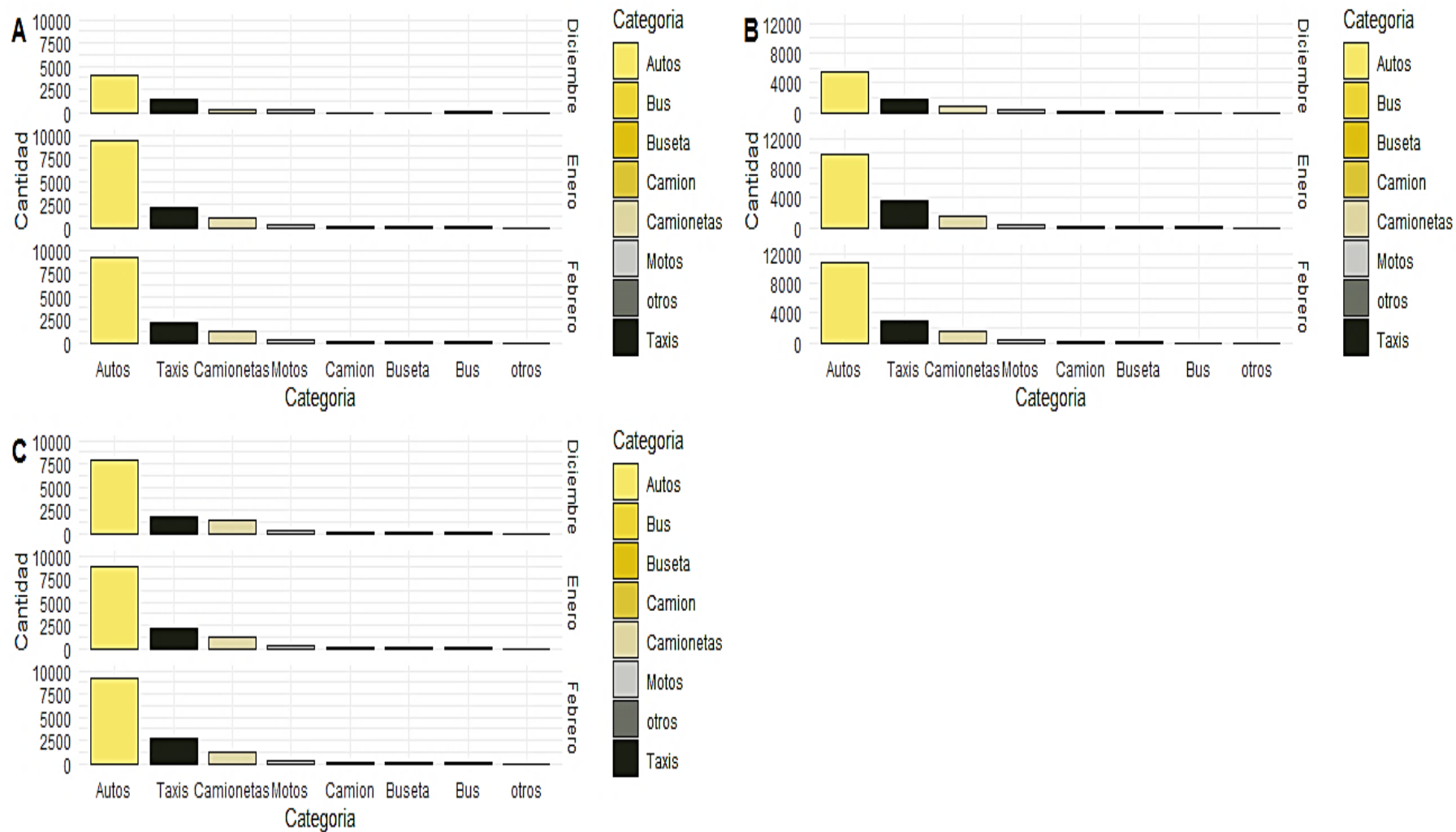


Figura 13

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja en el periodo 18 a 19 pm



Por medio del aforo vehicular se determinó la carga vehicular de cada intersección en los tres periodos de tiempo (horas pico) y la composición de la flota vehicular que circula dentro del zona céntrica de la ciudad de Loja. Compuesta por autos, taxis, camionetas, busetas, buses, camiones, motocicletas y otros (maquinaria de construcción, tanqueros de agua o combustible, volquetas etc.). La mayoría de las vías de la zona céntrica presenta un solo carril de circulación, delimitando la circulación a los vehículos de 3 a 5 ejes por su rigidez a excepción de los camiones de basura que transitan con normalidad por las vías fuera de las “horas pico”, al igual que los buses de transporte público ya que circulan por rutas establecidas como la calle Juan José Peña, Av. Universitaria y Av. Emiliano Ortega en diferentes periodos de tiempo.

En cada intersección, la congestión vehicular se manifestó de diferente manera debido a los diversos factores que aportan a la variación del tráfico. Las principales clases de vehículos que circulan con mayor frecuencia por las vías de la zona céntrica de la ciudad son los automóviles, taxis, camionetas y motos reflejados en las tres áreas y periodos de tiempo en los meses de diciembre (2021), enero y febrero (2022) como se muestra en las Figuras 11, 12 y 13, además de los tres periodos de tiempo donde se puede evidenciar un mayor tráfico vehicular es en la tarde (12 h 13 pm) y la noche (18 h 19 pm).

En el aforo vehicular realizado en los tres meses se obtuvo un total de 30 6173 vehículos que circularon por las vías céntricas de la ciudad de Loja, en el mes de diciembre (2021) la carga vehicular fue de 75 485 vehículos, para el mes de enero (2022) fue de 112 451 vehículos, por último, el mes de febrero fue de 118 237 vehículos representando el 25 %, 37 %, y 39 % respectivamente, en comparación con los meses de diciembre y enero el mes de febrero aumentó considerablemente el tráfico vehicular, el mes de diciembre por ser el último mes del año presenta fechas importantes como nochebuena, navidad y año viejo provocando una disminución de vehicular en las calles céntricas por tal razón su carga vehicular fue inferior a los meses de enero y febrero.

En la Figura 11, se muestra el tráfico vehicular en el periodo de la mañana el cual varía con respecto al mes de diciembre y enero, siendo el mes de febrero con mayor tráfico de 8 186 (área A), 9 676 (área B) y 11 110 (área C) vehículos, seguido del mes de enero con 7 327 (área A), 9 466 (área B) y 9371 (área C) vehículos y el mes de diciembre con 5 329 (área A), 6 239 (área B), 8 028 (área C) vehículos, por lo tanto el área de mayor tráfico vehicular para los tres meses fue el área C y el de menor trafico el área A.

Por otro lado, en la Figura 12 del periodo de la tarde al igual que en el periodo de la mañana el mes de febrero (2022) presentó mayor tráfico con 14 152 (área A), 17 865 (área B) y 14 076 (área C) vehículos, en segundo lugar, se encuentra el mes de enero (2022) con 13 841 (área A), 16 786 (área B) y 13 550 (área C) vehículos y el mes de diciembre con 6 934 (área A), 9 824 (área B) y 12 509 (área C) vehículos, así mismo las áreas con mayor circulación en el periodo de la tarde para los meses diciembre, enero y febrero fueron las áreas C, B y A respectivamente, el mes de diciembre el área de menor tráfico vehicular fue A y el de enero y febrero fue el área C.

Por último, en la Figura 13 del periodo de la noche siendo el mes de febrero con mayor tráfico vehicular con 13 198 (área A), 15 955 (área B) y 14 019 (área C) vehículos, seguido del mes de enero con 13 086 (área A), 16 059 (área B) y 12 965 (área C) vehículos y del mes de diciembre con 6 273 (área A), 8 844 (área B) y 11 505 (área C) vehículos, además en los meses de enero y febrero el área B presentó mayor tráfico y el mes de diciembre fue el área C, las áreas con menor tráfico en los meses de diciembre y febrero fue el área A y en el mes de enero el área C.

6.1.3. Actividad vehicular

Aplicando la ecuación 1 de la metodología, el número de encuestas realizadas a los conductores de los automóviles fueron 147 total, en la Tabla 27 se indica el número de encuestas realizadas para cada categoría vehicular.

Tabla 27

Proporción de la muestra por categoría vehicular en la ciudad de Loja

Tipo de vehículo	N°. Vehículos	Proporción (p)	N° Encuestas
Automóvil	193257	0,6312	63
Taxis	64527	0,2107	45
Camionetas	30041	0,0981	24
Busetas	3532	0,0115	3
Autobús urbano	1462	0,0047	1
Autobús interurbano	53	0,0001	0
Camión liviano	2738	0,0089	2
Camión Pesado	1533	0,0050	1

Tipo de vehículo	N° Vehículos	Proporción (p)	N° Encuestas
Camión de 3-4 ejes	127	0,0004	0
Camión de 5 ejes	5	0,00001	0
Motocicleta	8817	0,0288	8
Otros	82	0,0002	0
Total	306173	1	147

Fuente: elaborado por el autor

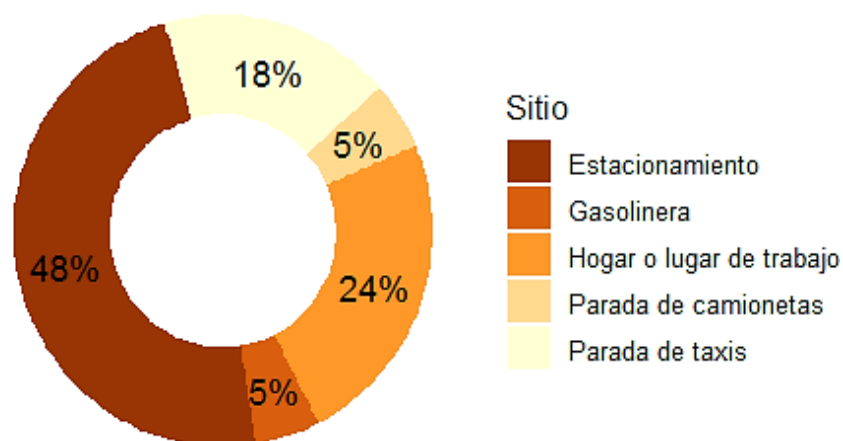
6.1.4. Tabulaciones de las encuestas

Lugar de encuesta aplicadas a los conductores en la ciudad de Loja

La mayoría de las encuestas aplicadas a los conductores de los vehículos de la ciudad de Loja fue en estacionamientos (48 %) de forma presencial, seguido en hogares o lugar de trabajo (24 %) de forma virtual, por último, en las paradas de taxis y camionetas comerciales (Figura 14).

Figura 14

Sitio de aplicación de las encuestas en la ciudad de Loja

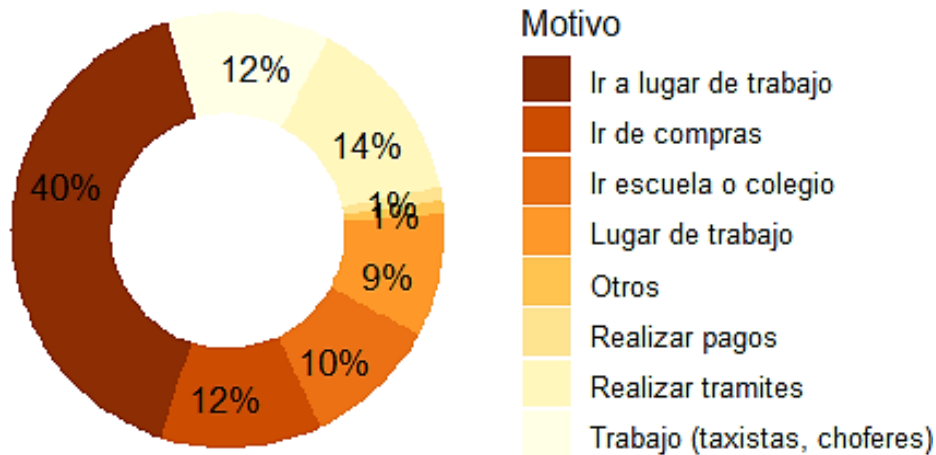


Motivo de circulación dentro de la zona céntrica de la ciudad de Loja

Las principales razones por que los conductores circulan dentro de la zona céntrica de la ciudad son por trabajo 40 %, seguido de realizar trámites 14 %, realizar compras y trabajo (taxistas y choferes) con el 12 %, siendo de menor porcentaje realizar pagos con 1 % (Figura 15).

Figura 15

Motivo de circulación en la zona céntrica de la ciudad de Loja

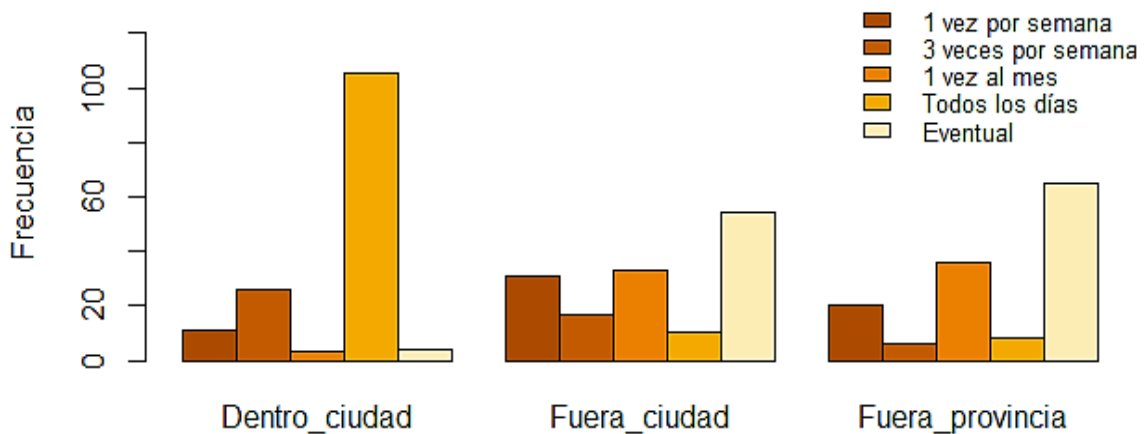


Frecuencia de circulación dentro de la zona céntrica de Loja

La circulación vehicular dentro de la zona céntrica de la ciudad es de todos los días a excepción del día domingo que cierran las vías céntricas, ciertos conductores circulan tres veces dentro de la zona céntrica debido a la acumulación y tránsito vehicular en la zona (Figura 16).

Figura 16

Frecuencia de circulación dentro de la zona céntrica ciudad de Loja

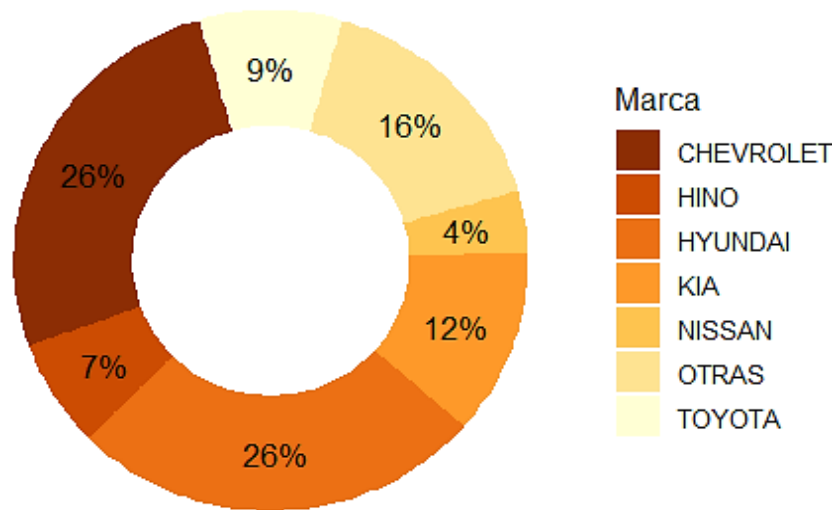


Marca de vehículos en la ciudad de Loja

En base a las encuestas realizadas a los conductores de la ciudad de Loja la marca vehicular predominante es la CHEVROLET y HYUNDAI con el 26 %, seguido de la marca KIA con 12 % y TOYOTA con 9 % preferidas por los conductores de la ciudad de Loja. Las principales marcas de los autos, taxis y camionetas son CHEVROLET, HYUNDAI y KIA, para los buses, busetas y camiones son HINO, CHEVROLET, VOLKSWAGEN Y KIA (Figura 17).

Figura 17

Marca de vehículos predominante en la ciudad de Loja

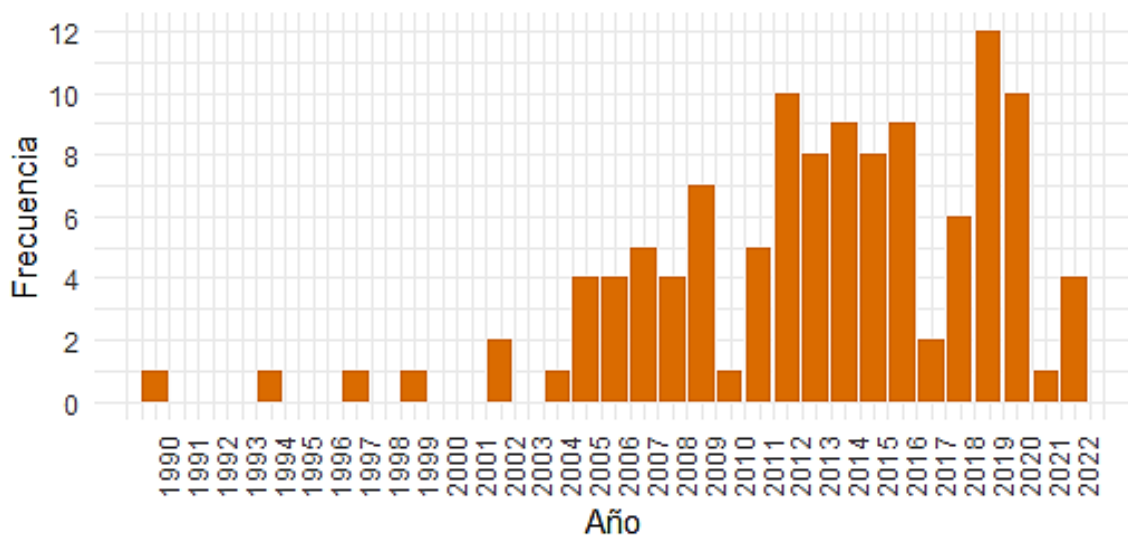


Año modelo de los vehículos de la ciudad de Loja

El parque automotor de la ciudad de Loja es nuevo de acuerdo a las encuestas siendo en promedio de vida útil de nuevo años, por otro lado, en la ciudad de Loja circulan automóviles con más 20 años de antigüedad sin embargo su número no es considerable, además existen vehículos del año 2019 y 2020 (9 %) que circulan con mayor frecuencia por las calles de la ciudad, seguido de los vehículos del año 2012 y 2015 (8 %). Cabe mencionar que en la ciudad de Loja los autos son del año 2012 en promedio, taxis del 2015, busetas del 2010, buses del 2018, camiones del 2010, camionetas del 2011 y motos del 2017 (Figura 18).

Figura 18

Edad de los vehículos de la ciudad de Loja

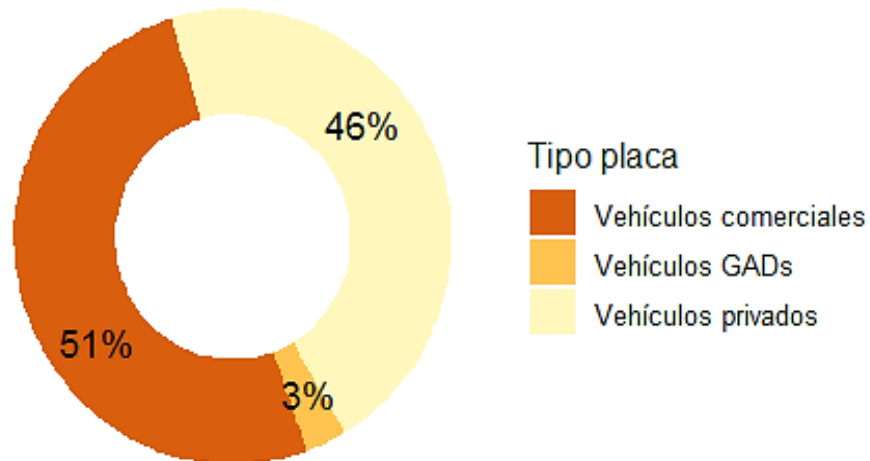


Tipos de placas de la flota vehicular en la ciudad de Loja

En primer lugar, se encuentran placas comerciales con el 51 % y en segundo lugar placas privadas con 46 % por último las placas de los GADs con el 3 % de acuerdo a los datos obtenidos de las encuestas (Figura 19).

Figura 19

Tipo de placa utilizadas por la flota vehicular en la ciudad de Loja

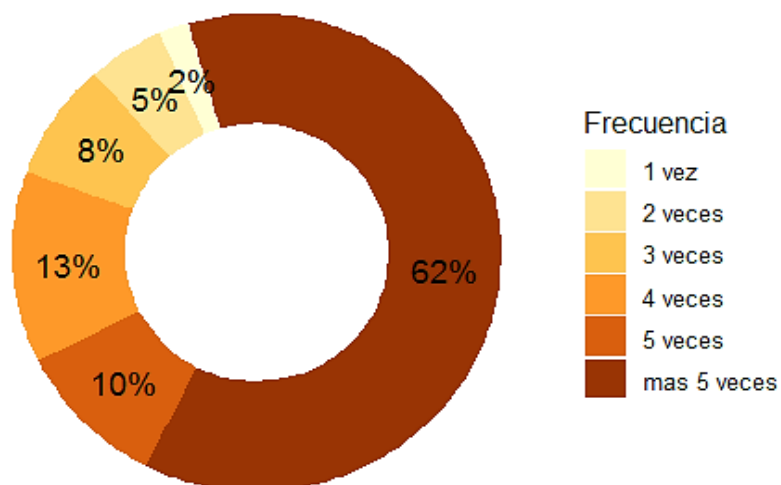


Frecuencia de encendido del automotor en la ciudad de Loja

La mayoría de las categorías vehiculares, encienden sus vehículos más de 5 veces representando el 62 % al día, seguido de 4 veces (13 %) al día y 5 veces (10 %) al día, por último, el de menor frecuencia es de 1 vez (2 %) al día (Figura 20).

Figura 20

Frecuencia de encendido del auto en la ciudad Loja

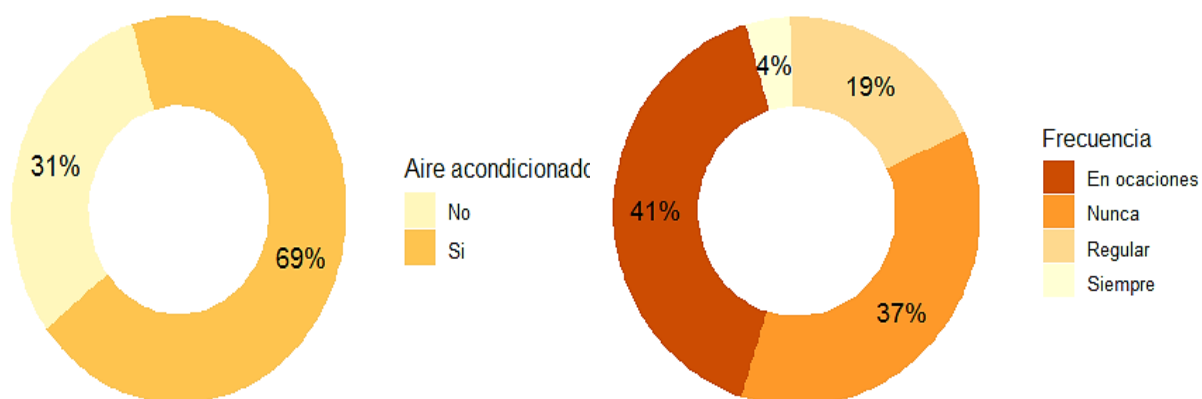


Presencia y frecuencia de aire acondicionado en los vehículos

El 69 % de los vehículos de la ciudad poseen aire acondicionado, en cambio el 31 % no cuentan con aire acondicionado, además la frecuencia de uso por parte de los conductores es del 41 % en ocasiones, seguido del 37 % nunca y el 19 % regular (Figura 21).

Figura 21

Presencia y uso del aire acondicionado por los automotores en la ciudad de Loja

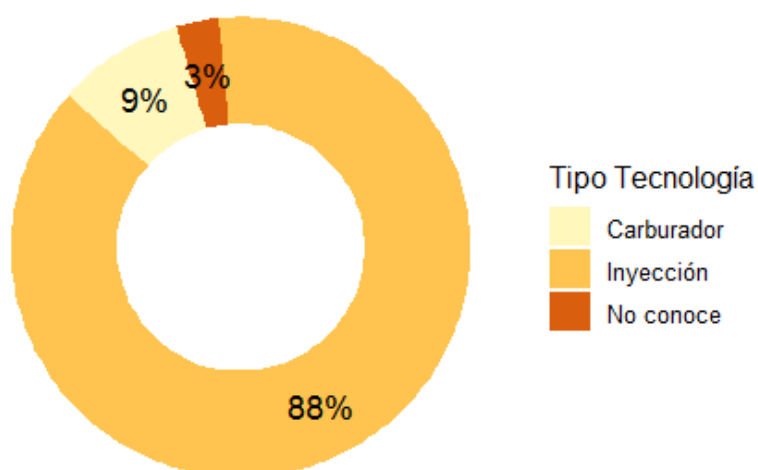


Tecnología de los vehículos de la ciudad de Loja

Dentro de los sistemas de control de la contaminación en motores de combustión interna, el 88 % de los vehículos cuentan con un sistema de inyección y el 9 % con sistemas de carburador (Figura 22).

Figura 22

Tecnología de los vehículos en la ciudad de Loja



Kilómetros recorridos diarios por los vehículos en la zona céntrica de Loja

La mayoría de los vehículos circulan más de 8 kilómetros representando el 44 % del total de los km recorridos, seguido de 2 a 4 km (12 %) y 4 a 6 km (9 %), además algunos automotores circulan con menor frecuencia por la zona céntrica de 1 a 2 km (7 %) y 6 a 8 km (5 %), por otro lado 14 % de los vehículos circulan entre 10 a 30 km y 30 a 50 km al día por toda la ciudad, sin embargo, existen automóviles que circulan más 100 km al día (Figura 23).

Figura 23

Kilómetros (Km) recorridos diarios en la zona céntrica y en la ciudad Loja



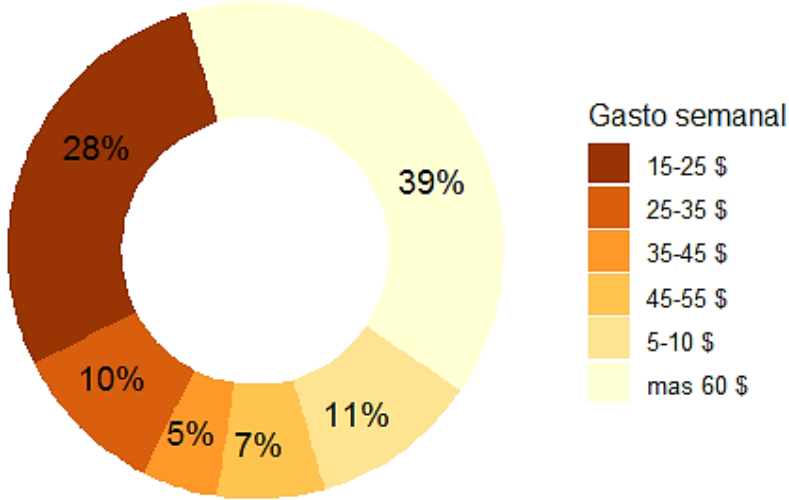
6.1.5. Cantidades y tipos combustibles consumidos en la ciudad de Loja

Gasto semanal del consumo de combustibles de la ciudad de Loja

En la Figura 24 se muestra el gasto semanal en el consumo de combustibles en la ciudad de Loja, es decir que la mayoría de los vehículos gasta a la semana más de 60 \$ (39 %) dólares dentro de este valor se encuentran algunos taxis, camionetas y buses, seguido del gasto entre 15 a 25 \$ (28 %) dólares semanales, al igual que el anterior dentro de este valor se encuentra algunos autos y camionetas, por último ciertas motocicletas gastan entre 5 a 10 \$ (11) dólares semanales, además existen vehículos que gastan entre 25 a 55 \$ dólares a la semana, cabe mencionar que el gasto dependerá de los kilómetros recorridos de los vehículos como en el caso de los vehículos comerciales que permanecen más tiempo circulando por las vías de la ciudad en comparación con los vehículos livianos.

Figura 24

Gasto semanal de combustible en la ciudad de Loja

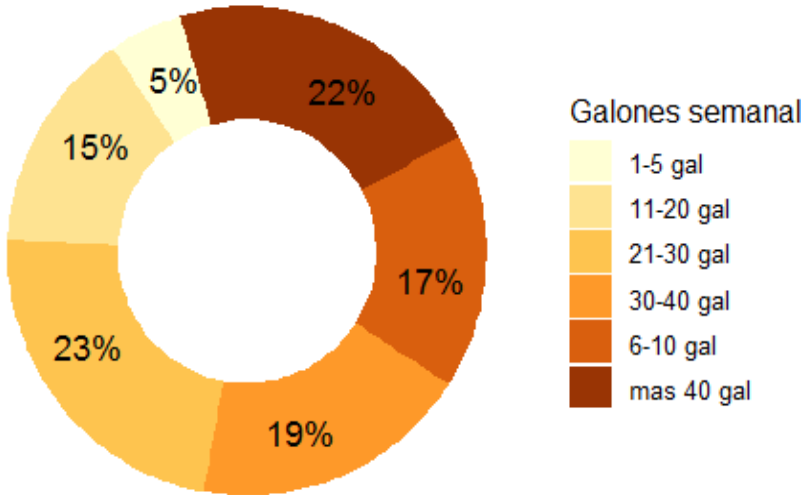


Galones de combustibles consumidos semanalmente por la flota vehicular

En la ciudad de Loja los buses consumen más de 40 galones (22 %) semanal de combustible, seguido de los taxis y camiones con un consumo entre 30 a 40 galones semanal representando el 19 %, en comparación con los autos y camionetas consumen entre 6 a 10/11 a 20 galones semanal con el 17 % y 15 % respectivamente, sin embargo, existen vehículos de todas las clases se consumen 21 a 30 galones (23 %) (Figura 25)

Figura 25

Consumo de galones de combustible semanal por los automóviles en la ciudad de Loja



En la Tabla 28 se presenta los galones consumidos por las diferentes clases vehiculares obtenidos por el promedio de consumo de combustible semanal en dólares (\$) entre el precio de la gasolina ponderada por galón en dólares (\$). El transporte público es el principal consumidor de galones de combustible, en primer lugar, se ubica el bus con 32 gal semanal seguido de los camiones 28 gal, taxis 23 gal y busetas 19 gal semanal, en consecuencia, el transporte liviano como camionetas 15 gal, auto 10 gal y motocicleta 5 gal semanal (Anexo 8)

Tabla 28

Consumo de combustibles en galones por recorrido de la flota vehicular

Categoría	Semanal (galones)	Mensual (galones)	Anual (galones)
Autos	10	41	492
Taxis	23	93	1112
Motos	5	20	235
Camioneta	15	60	720
Buses	32	126	1517
Camiones	28	112	1347
Buseta	19	77	920
Total, galones	132	529	6342

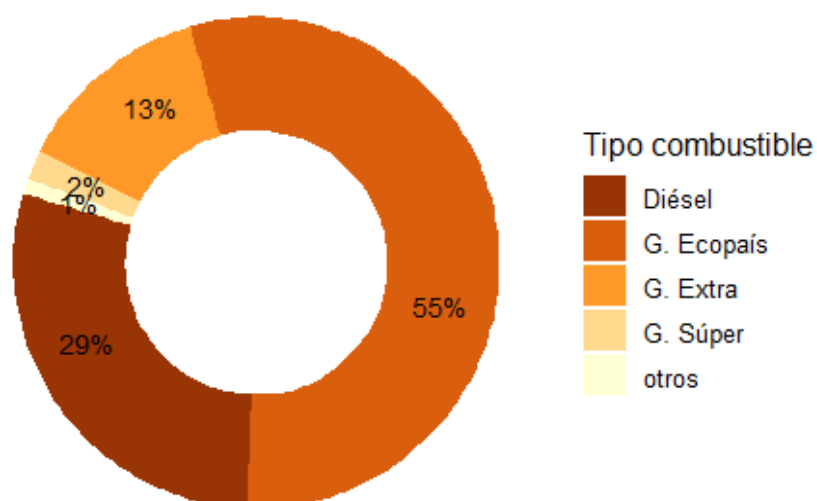
Fuente: elaborado por el autor

Combustibles consumidos por los automotores de la ciudad de Loja

En la Figura 26 se muestran los principales combustibles comercializados en la ciudad de Loja, siendo estos: G. Ecopaís, G. Extra, G. Súper y Diésel, donde el principal combustible empleado por la flota vehicular es la gasolina Ecopaís con 55 %, seguido del diésel con 29 % y la gasolina Extra con el 13 %, la gasolina Súper es poco usada por los automóviles, el precio de cada galón influye en el consumo de estos tipos de combustibles comercializados en la ciudad de Loja. Gran parte de los autos utilizan gasolina Ecopaís de igual manera los taxis, camionetas y motocicletas, pocas unidades usan la gasolina súper y extra, los buses, busetas y camiones consumen diésel.

Figura 26

Tipos de combustibles consumos en la ciudad de Loja



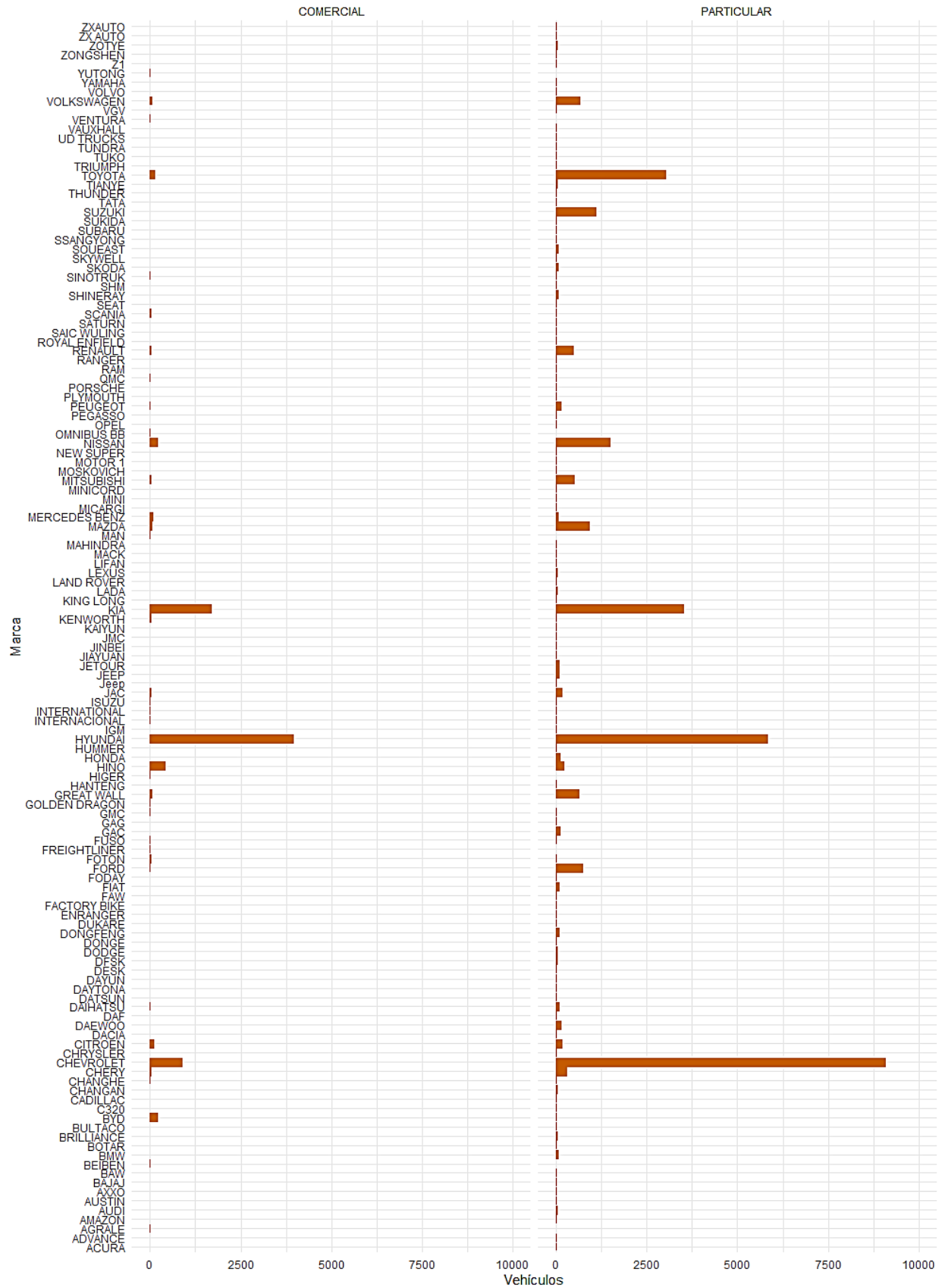
6.2. Estimar la concentración de contaminantes criterio mediante el software MOVES para el transporte público y privado.

6.2.1. Caracterización del parque automotor en la zona céntrica de la ciudad de Loja

A continuación, se presenta información como marca, provincia de matriculación, país de procedencia, año modelo, cilindraje y tipos de combustibles de los automotores que circularon durante los tres meses (diciembre, enero y febrero) monitoreados en la zona céntrica de la ciudad de Loja.

Figura 27

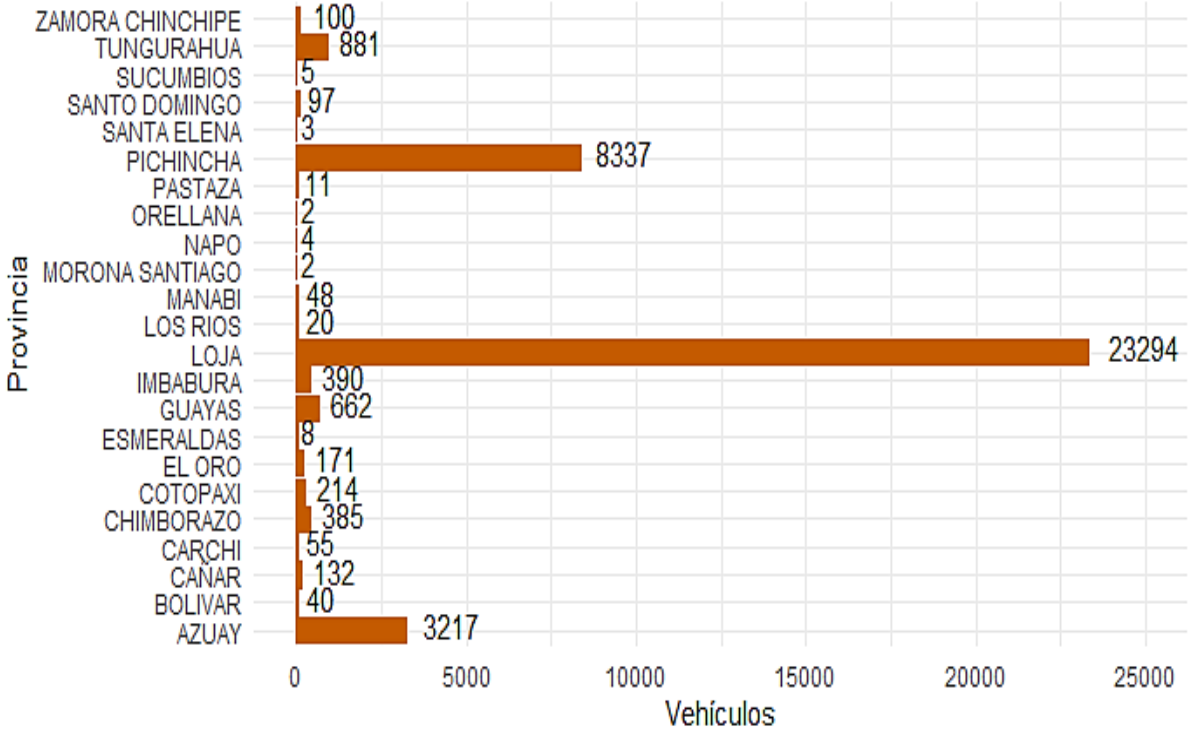
Marcas de los vehículos de la zona céntrica de Loja



Por medio de la Figura 27 es posible interpretar que existe una gran cantidad de modelos y marcas que están en circulación actualmente en la ciudad de Loja, especialmente en el sector particular que registró autos desde las marcas más populares (Chevrolet o Hyundai) hasta las menos usuales de origen europeo o asiático (Yamaha o Micargi). En el sector particular las marcas con mayor frecuencia son el Chevrolet con aproximadamente 9 000 unidades, seguido por las marcas; Hyundai (6 000 unidades aprox.), Kia (3 500 unidades aprox.) y Toyota (3 000 unidades aprox.), cada una de estas siendo ampliamente utilizadas desde hace más de una década tanto para transporte familiar, ayuda en el trabajo particular y uso personal. Por debajo de estas, pero con una frecuencia notable, están las marcas; Ford, Nissan, Volkswagen, Great Wall, Mazda, Suzuki, cada una de estas cerca de las 1 000 unidades en todo el territorio estudiado. Por otro lado, para el sector comercial se observa una importante prevalencia de la marca Hyundai (3 750 unidades aprox.), principalmente por su preferencia por parte de los taxistas y transportistas. Muy por debajo de este están las marcas Kia (1 500 unidades aprox.) y Chevrolet (1 000 unidades aprox.). Al igual que con las marcas particulares, existen entre las marcas comerciales aquellas que son usadas con menos frecuencia pero que es necesario considerar su presencia para este estudio.

Figura 28

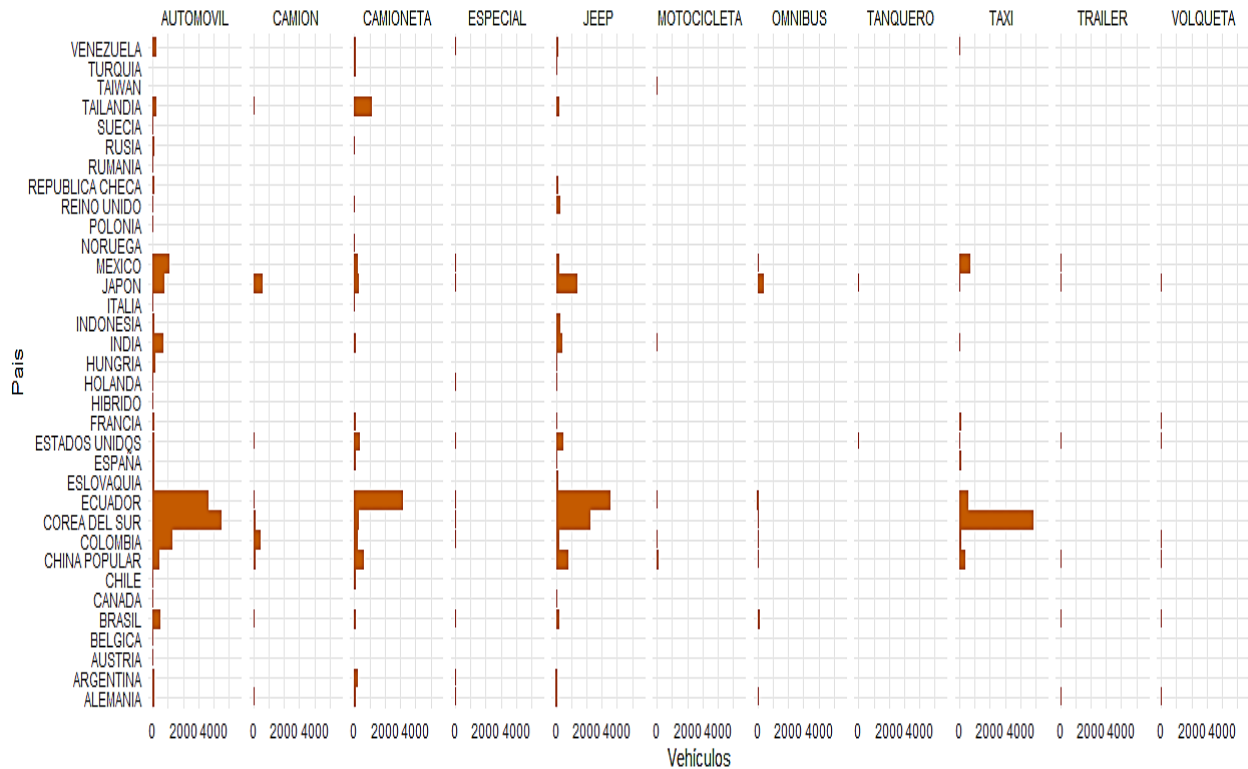
Provincia de matriculación de los vehículos de la zona céntrica de Loja



Como es de esperarse, la mayoría de los automóviles matriculados que forman parte de la población estudiada son de Loja (23 294 unidades), seguido muy por debajo los autos matriculados en Pichincha (8 337 unidades) y Azuay (3 217 unidades) (Figura 28).

Figura 29

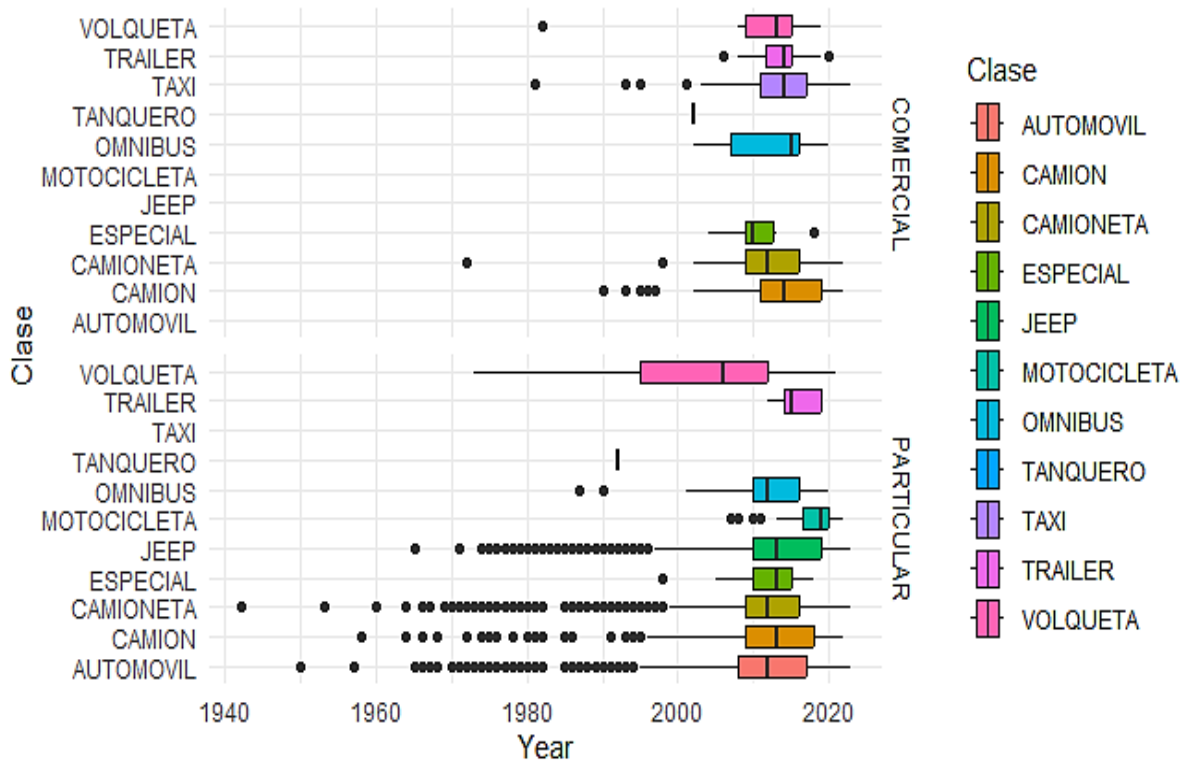
País de procedencia de los vehículos que transitan por la zona céntrica de Loja



En lo que respecta a los países de procedencia de los diferentes tipos de autos registrados en Loja (Figura 29), se tiene que estos principalmente son de Ecuador, Corea del Sur, Colombia, China Popular, México y Japón. Los autos que son de uso particular en su mayoría son de origen ecuatoriano, siendo estos aproximadamente de 3 000 unidades por cada tipo de auto; el automóvil, camioneta y el Jeep. Para aquellos destinados a actividad comercial, tiene su origen principalmente de corea del sur (automóviles y taxis), cada uno de estos por sobre las 4 000 unidades registradas. De países como China Popular, México y Japón se ha registrado la existencia de automóviles, camiones, camionetas y taxis en similares proporciones, siendo estas de aproximadamente 1 000 unidades por cada tipo de auto.

Figura 30

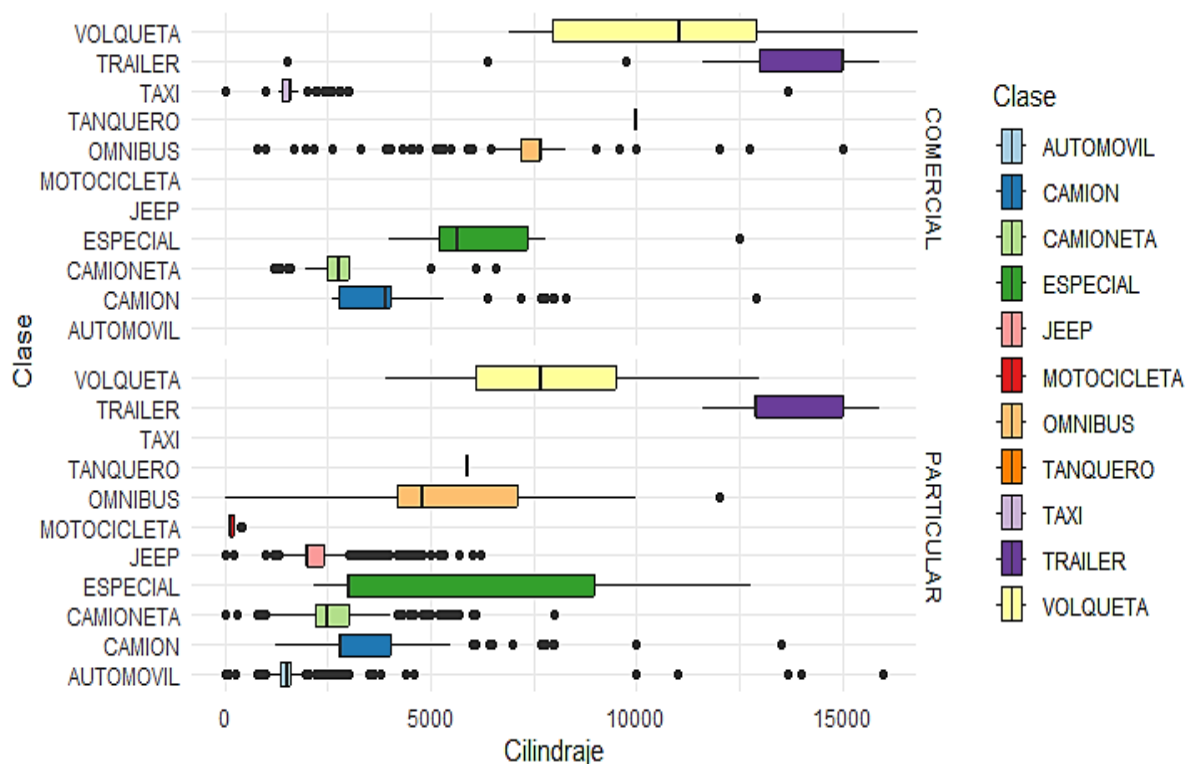
Año modelo de la flota vehicular de la ciudad de Loja



En la Figura 30 se muestra el año modelo de la flota vehicular que circular por la zona céntrica de la ciudad de cada clase vehicular, clasificados en dos grupos; automotores particulares y comerciales. Se determinó lo siguiente: el primer grupo de automotores particulares en promedio los automóviles son del año 2011 (edad 11 años), camiones del 2012 (edad 10 años), camionetas del 2011 (edad 11 años), especiales del 2013 (edad 9 años), jeeps del 2013 (edad 9 años), motos del 2018 (edad 4 años), ómnibus del año 2011 (edad 11 años), tráiler del 2016 (edad 6 años) y volqueta del 2002 (edad 20 años): por lo tanto la flota vehicular particular tiene una vida útil de 12 años en comparación con el segundo grupo de los automotores comerciales, los camiones son del año 2014 (edad 8 años) en promedio, camionetas del 2012 (edad 10 años), especiales 2011 (edad 11 años), ómnibus del 2013 (edad 9 años), tanquero del 2002 (edad 20 años), taxi del 2014 (edad 8 años), tráiler del 2013 (edad 9 años) y volqueta del 2011 (edad 11 años), es decir que la vida útil de la flota comercial es de 11 años, dando a concebir que la flota comerciales es un año más nueva que la flota particular.

Figura 31

Cilindraje de la flota vehicular en la ciudad de Loja



Los automotores comerciales poseen un mayor cilindraje, en promedio los camiones tienen un cilindraje de 4 068 cc, especiales 6 792 cc, ómnibus 7 424 cc, tanqueros 10 000 cc, tráiler 13 867 cc y volqueta 11 048 cc a excepción de las camionetas (2 755 cc) y taxis (1 465 cc) poseen un cilindraje menor debido a que estos permanecen más tiempo circulando, por lo que los conductores prefieren a vehículos de menor cilindraje que no consuman una gran cantidad de combustible, por otro lado, se encuentran los vehículos particulares que al compararlos con el cilindraje de los automotores comerciales son inferiores a excepción de los tráilers (13 798 cc), especiales (5 681 cc), volquetas (8 311 cc), tanqueros (5 900 cc), ómnibus (5 385 cc) y camión (3 380 cc), los automotores como automóviles tienen 1 490 cc en promedio, camioneta 2 564 cc, jeep 2 141 cc y moto 178 cc poseen un cilindraje menor (Figura 31).

Tabla 29

Descripción estadística de la variable cilindraje (cc)

Parámetros	Valor
Media	2007,53
Moda	1482,871

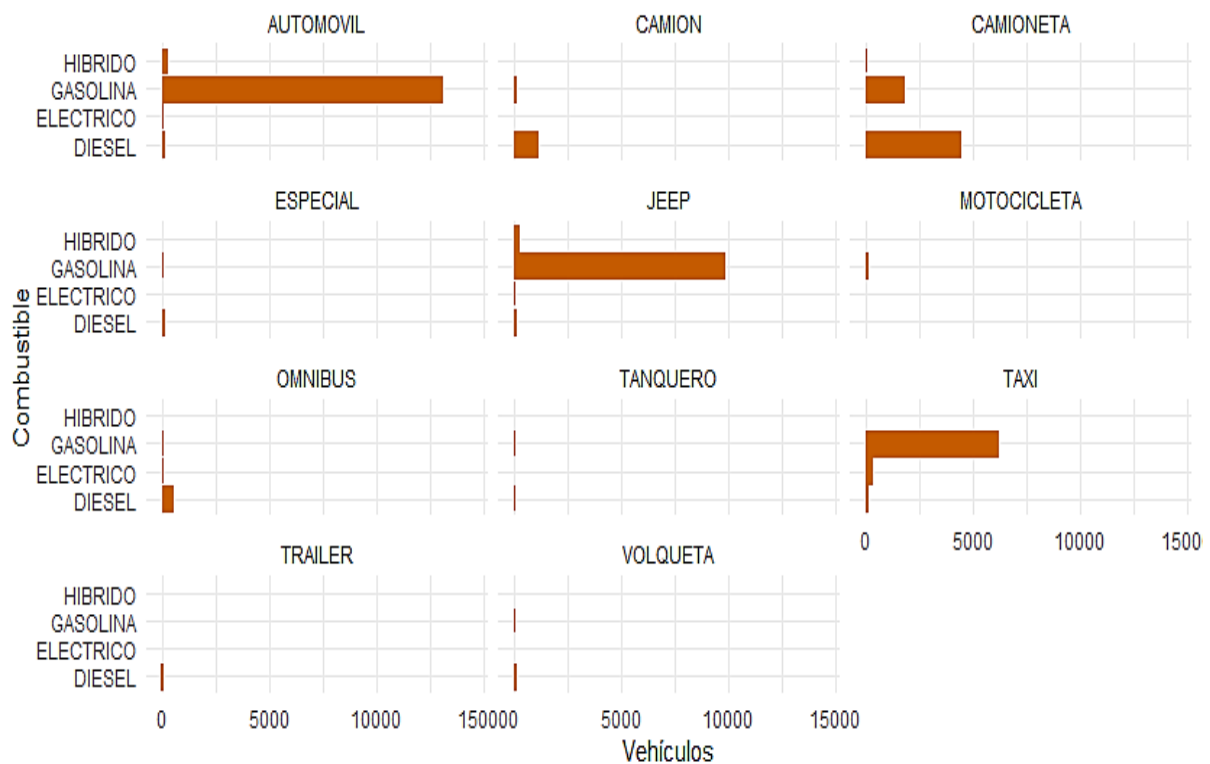
Parámetros	Valor
Mediana	1600
Valor Máximo	30000
Valor Mínimo	0
Varianza	1372577
Parámetros	Valor
Desviación	1171,57
Cuartiles	0% 25% 50% 75% 100%
	0 1496 1600 2200 30000

Fuente: elaborado por el autor

En la Tabla 29 es posible saber que entre los 11 diferentes tipos de autos registrados en Loja, existe una media de cilindraje de 2 007,53 comparable al cilindraje 2 000 cc, muy común entre camionetas, jeeps y automóviles grandes de 5 puertas. Sin embargo, la mediana de estos valores es de 1 600, dando a entender que existe una mayor cantidad de automóviles con un motor más pequeño, como aquellos destinados al servicio de transporte (taxis y automóviles).

Figura 32

Tipo de combustible utilizados por los vehículos ciudad Loja



Como es de esperarse, el combustible usado con mayor frecuencia entre los vehículos de Loja es la gasolina (Figura 32), siendo este utilizado principalmente por automóviles, jeeps y taxis. En lo que respecta a los vehículos de transporte pesados, dedicados a la carga, se observa una mayor frecuencia de uso en el diésel, usado por la mayor parte de las camionetas y camiones registradas, además de ser usado por la totalidad de los tráileres, ómnibus y volquetas.

Tabla 30

Número de placas registradas en la zona céntrica de la ciudad Loja

Mes	N°. Placas recopiladas	N°. Tabulados	Placas únicas
Diciembre 2021	19 083	17 995	15 660
Enero 2022	8 743	8 473	7 203
Febrero 2022	11 933	11 612	10 044
Total	39 760	38 080	32 907

Fuente: elaborado por el autor

En la Tabla 30 se muestra el número de placas recopiladas del aforo vehicular realizado en la zona céntrica de la ciudad de Loja, siendo un total de 39 760 placas de los tres meses diciembre (2021), enero y febrero (2022), en el mes de diciembre y febrero se obtuvo un mayor registro de placas en comparación con el mes de enero, así mismo se tabularon 38 080 placas debido al que sistema (SRI, Ecuador) no reconocía ciertos números de placas dando una diferencia de 1 680 placas, excluyendo las placas repetidas se obtiene 32 907 placas únicas.

6.2.2. Población vehicular en la zona céntrica de Loja

En base al aforo vehicular se determinó que en las vías de la zona céntrica de la ciudad de Loja durante los tres meses (diciembre, enero y febrero) transitaban un total de 306173 vehículos, en la Tabla 31 fueron clasificados de acuerdo a la categoría vehicular del software MOVES.

Tabla 31

Población vehicular en el mes de diciembre, enero y febrero

Identidad	Tipo de vehículo	Cantidad
11	Motocicleta	8 817
21	Autos particulares y taxis	257 784
31	Camionetas y jeeps	30 041
32	Busetas y Furgones	3 532
41	Autobús interurbano	53

Identidad	Tipo de vehículo	Cantidad
42	Autobús urbano	1 462
51	Camión de basura	127
52	Camiones distancia corta	2 738
53	Camiones distancia larga	1 533
61	Camiones de recorrido corto	87
Total		306 173

Fuente: elaborado por el autor

6.2.3. Tipos de vías en la zona céntrica de Loja

Tomando en cuenta la infraestructura vial de la zona céntrica de la ciudad de Loja por donde transitan las diferentes categorías vehiculares y longitud (km) de las vías céntricas, se obtuvo las fracciones de recorrido por cada categoría vehicular (Tabla 32). La mayoría de las categorías transitan con normalidad por todas las vías céntricas, a excepción de los buses que transitan por rutas establecidas y los camiones de gran tamaño se ven delimitados a transitar sin embargo algunos camiones como de carga, reparto y mensajería transitan con normalidad.

Tabla 32

Fracción de recorrido en la zona céntrica de la ciudad de Loja

Identidad	Vehículos	Tipo de vía	Longitud (Km)	Fracción
11	Motocicleta	Urbana sin restricción	23,75	0,127
21	Autos particulares y taxis	Urbano sin restricción	23,75	0,127
31	Camionetas y jeeps	Urbano sin restricción	23,75	0,127
32	Busetas y Furgones	Urbano sin restricción	23,75	0,127
41	Autobús interurbano	Urbano sin restricción	7,59	0,041
42	Autobús urbano	Urbano sin restricción	5,59	0,030
51	Camión de basura	Urbano sin restricción	23,75	0,127
52	Camiones distancia corta	Urbano sin restricción	23,75	0,127
53	Camiones distancia larga	Urbano sin restricción	23,75	0,127
61	Camiones de recorrido corto	Urbano sin restricción	7,59	0,041

Fuente: elaborado por el autor

6.2.4. Condiciones meteorológicas

En la Tabla 33 se indican los valores promedio de las variables meteorológicas como temperatura (° C) y humedad relativa requeridos por el software MOVES, para los meses de diciembre (2021), enero y febrero (2022). Cabe mencionar que para la variable temperatura se transformó a grados F para su importación al software.

Tabla 33

Datos meteorológicos de la zona de estudio

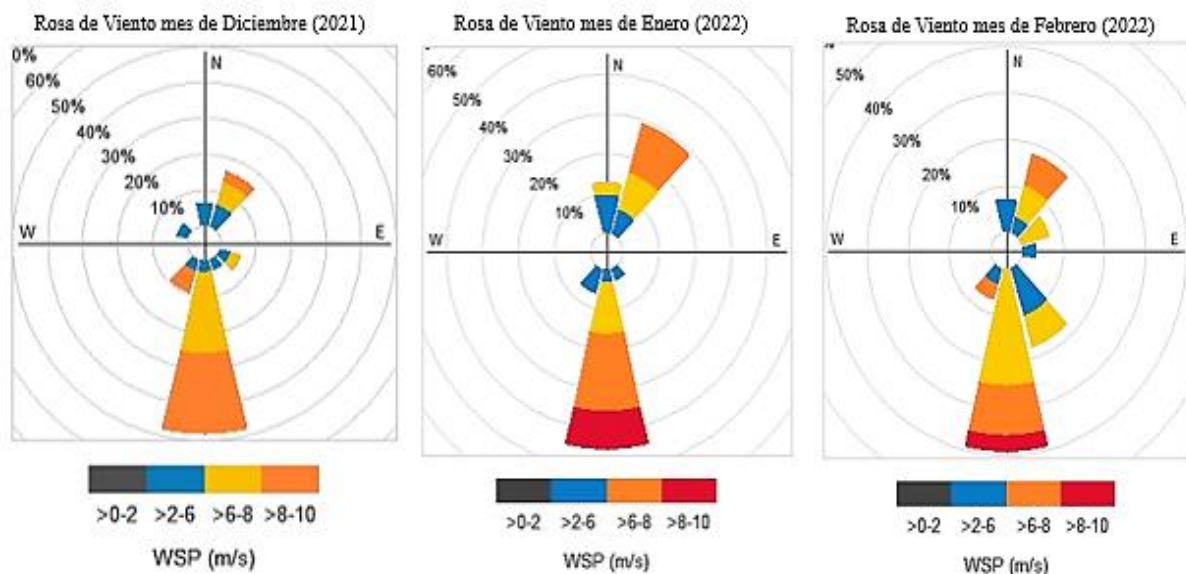
Mes	Temperatura °C	Humedad relativa %
Diciembre 2021	20,73	80,29
Enero 2022	19,71	78,16
Febrero 2022	20,85	82,89

Fuente: elaborado por el autor

En la Figura 33 se muestra la dirección de viento en los meses de diciembre, enero y febrero (2021-2022), los vientos predominantes vienen desde el sur y se dirige con dirección al norte de la ciudad, además las velocidades de viento con mayor frecuencia en los tres meses fueron de 5,70 a 8,80 m/s (64,5 % - 51,6 %), de igual manera los vientos con menor frecuencia para los meses de diciembre y enero fueron de 2,10 a 3,60 m/s (6,5 %) y por último en el mes de febrero fue de 3,60 a 5,70 m/s (25 %).

Figura 33

Dirección del viento del mes de diciembre, enero y febrero (S-N) en la ciudad de Loja



6.2.5. Distribución promedio de velocidades

En las Tablas 34 y 35 se muestran las velocidades determinadas para cada categoría vehicular, cabe mencionar que para las clases como camión de basura y camiones de recorridos corto debido a su ausencia por las avenidas del casco céntrico de la ciudad donde se realizó la medición se les asignó como límite de velocidad 40 km/h para vehículos pesados establecidos por las ordenanzas municipales.

Tabla 34

Velocidades promedio de vehículos durante horas pico en la zona céntrica de Loja (km/h)

Hora	Motocicleta	Autos particulares y taxis	Camionetas y Jeep	Buseta y Furgones	Autobús interurbano	Autobús urbano	Camión de basura	Camiones distancia corta	Camiones distancia larga	Camiones de recorrido corto
07:00-08:00	54	52	49	42	30	28	40	50	50	40
12:00-13:00	35	34	32	35	26	25	40	33	31	40
18:00-19:00	47	29	35	18	28	24	40	37	32	40

Fuente: elaborado por el autor

En el horario de la mañana las velocidades de los vehículos son mayores en comparación con el horario de la tarde y noche (Tabla 34), debido a que en la mañana las calles céntricas de la ciudad se encuentran poco transitadas, en cambio en la tarde y noche se produce un mayor congestionamiento vehicular provocando la variación de las velocidades por el flujo lento de vehículos en las calles.

Tabla 35

Velocidades promedio de vehículos fuera del horario en la zona céntrica de Loja (km/h)

Hora	Motocicleta	Autos particulares y taxis	Camionetas y Jeep	Buseta y Furgones	Autobús interurbano	Autobús urbano	Camión de basura	Camiones distancia corta	Camiones distancia larga	Camiones de recorrido
09:00-11:00	44	42	39	37	32	30	40	25	30	40
15:00-17:00	46	40	36	46	31	35	40	34	45	40

Fuente: elaborado por el autor

Las diferencias de velocidad determinadas en el horario de tráfico vehicular y fuera del mismo son notorias, es decir que fuera del horario del tráfico vehicular la movilidad en las calles céntricas es un poco despejado por lo cual facilita una movilidad rápida (Tabla 35), al contrario, con el horario de tráfico vehicular desarrollándose, hay una movilidad menor en las calles.

6.2.6. Especificaciones de los combustibles comercializados

En base a la información proporcionada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) los requisitos que debe cumplir los productos derivados de petróleo para el diésel (INEN:1489) y la gasolina (INEN:935), se muestran en la Tabla 36 detallándose las características de los combustibles comercializados, los mismos valores fueron importados al software MOVES.

Tabla 36

Características de los Combustibles de la ciudad de Loja

Requisitos	Unidades	Gasolina Ecopaís 87 octanos	Gasolina Súper 92 octanos	Gasolina Extra 87 octanos	Diésel premium
Presión de vapor	KPa	60	60	60	
Contenido de azufre	%	0,065	0,045	0,065	0,05
Contenidos aromáticos	%V/V	30	35	30	
Contenido de olefinas	%V/V	18	25	18	
Contenido benceno	%V/V	1	2	1	
Destilación 10%	° C	70	70	70	
Destilación 50%	° C	121	121	121	
Destilación 90%	° C	189	190	189	360
Índice de Cetano	%				45

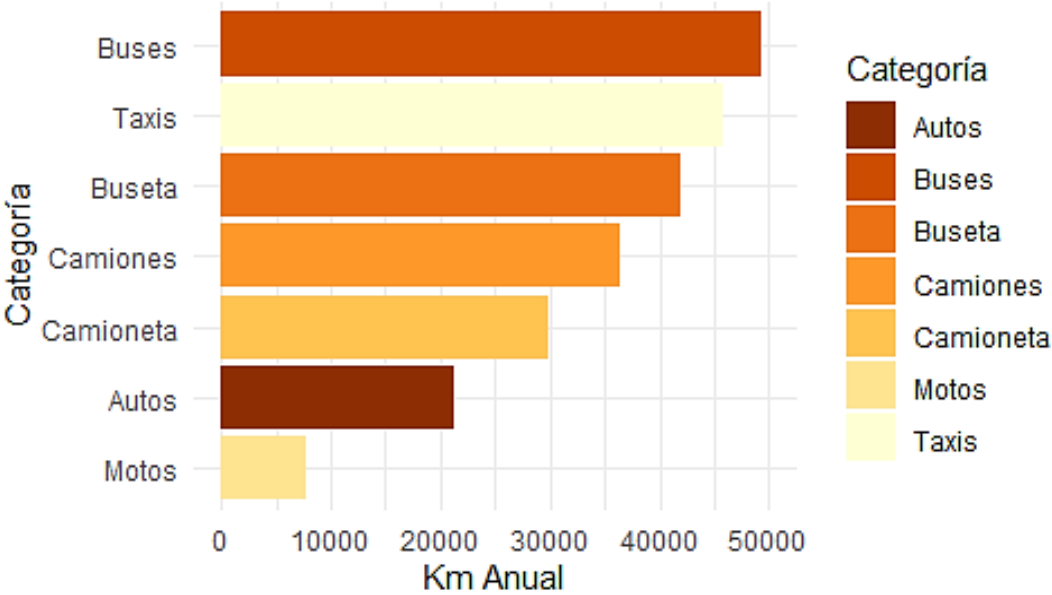
Fuente: elaborado por el autor

6.2.7. Kilómetros recorridos (KRV)

En la Figura 34 se encuentran los km recorridos por año de cada clase de vehículo, los vehículos comerciales como los buses, taxis, busetas y camiones recorren más de 35 000 km/año, los buses recorren 49 000 km/año, seguido de los taxis con 45 000 km/año, sin embargo, los vehículos ligeros como los automóviles, camionetas recorren más de 20 000 km/año, por último, las motocicletas 5 500 km/año. En el Anexo 8 se encuentran los cálculos realizados para determinar los km recorridos.

Figura 34

Kilómetros (Km) recorridos por categoría vehículo en la ciudad de Loja



6.2.8. Inventario de emisiones vehiculares

En la Tabla 37, presenta el inventario de emisiones generado con el software MOVES2014b, permitiendo evidenciar los aportes de cada contaminante emitido a la atmósfera por el transporte público y privado en la zona céntrica de la ciudad de acuerdo a cada categoría vehicular y el tipo de combustible.

Tabla 37

Inventario de emisiones vehiculares provenientes del parque automotor que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Loja (g/año)

Mes	Área	Tipo Fuente	Tipo Combustible	CO	NOx	SO2	THC	COV	PM10	PM25	NH3
diciembre (2021)	A	21	1	230680	13870	10220	5475	5110	365	365	1460
diciembre (2021)	A	21	2	21900	1095	1095	365	365	365	365	0
diciembre (2021)	A	31	1	230315	17155	11680	7665	6935	365	365	1460
diciembre (2021)	A	31	2	14600	7665	1825	1095	1095	1460	1460	365
diciembre (2021)	A	42	2	28470	80665	13505	8395	7300	9125	8395	730
diciembre (2021)	A	52	2	17885	45625	9855	5110	3650	5475	5110	730
diciembre (2021)	B	21	1	258785	16060	10585	7300	6570	365	365	1825
diciembre (2021)	B	21	2	22265	730	1095	365	365	365	365	0
diciembre (2021)	B	31	1	250390	18615	11315	9490	8760	365	365	1460
diciembre (2021)	B	31	2	13140	7300	1825	1095	730	1460	1460	365
diciembre (2021)	B	42	2	24455	68985	13505	6935	5840	8760	8395	730
diciembre (2021)	B	52	2	17885	39785	9490	5110	4015	5110	4745	730
diciembre (2021)	C	21	1	233965	14235	9855	6205	5840	365	365	1460
diciembre (2021)	C	21	2	18980	730	1095	365	0	365	365	0
diciembre (2021)	C	31	1	273020	20075	12410	10220	9490	365	365	1460
diciembre (2021)	C	31	2	12410	6935	1825	730	730	1460	1460	365
diciembre (2021)	C	42	2	59495	144905	13870	14235	14235	10585	9855	730
diciembre (2021)	C	52	2	19345	42340	9855	5475	4380	5475	5110	730
enero (2022)	A	21	1	290905	21170	11680	9125	8760	365	365	1825
enero (2022)	A	21	2	16790	730	730	365	0	365	365	0
enero (2022)	A	31	1	259515	22995	10950	10950	10585	365	365	1460
enero (2022)	A	31	2	8030	4745	1095	730	365	1095	1095	0
enero (2022)	A	42	2	36135	95995	8030	9125	9490	6570	5840	365
enero (2022)	A	52	2	11315	28835	7300	3285	2190	4015	3650	730
enero (2022)	B	21	1	236155	14235	10220	6205	5840	365	365	1460
enero (2022)	B	21	2	20805	730	1095	365	0	730	365	0

Mes	Área	Tipo Fuente	Tipo Combustible	CO	NOx	SO2	THC	COV	PM10	PM25	NH3
enero (2022)	B	31	1	236885	17520	11315	8395	7665	365	365	1460
enero (2022)	B	31	2	12045	7300	1825	1095	730	1825	1460	365
enero (2022)	B	42	2	21170	61320	13140	6205	5110	8760	8030	730
enero (2022)	B	52	2	16060	36865	9490	4745	3285	5110	4745	730
enero (2022)	C	21	1	240170	15695	9490	6935	6570	365	365	1460
enero (2022)	C	21	2	24273	913	1278	365	183	548	548	0
enero (2022)	C	31	1	299300	23725	12228	12228	11498	365	365	1460
enero (2022)	C	31	2	16790	9673	2373	1095	913	2008	2008	365
enero (2022)	C	42	2	41610	108588	13688	10585	10038	10403	9490	730
enero (2022)	C	52	2	17155	40698	9673	4928	3650	5293	4928	730
febrero (2022)	A	21	1	265355	16425	9855	7665	7300	365	365	1460
febrero (2022)	A	21	2	18250	730	730	365	0	365	365	0
febrero (2022)	A	31	1	319375	24090	12775	12410	11680	365	365	1825
febrero (2022)	A	31	2	12410	6935	1825	730	730	1460	1460	365
febrero (2022)	A	42	2	53290	133225	13870	15330	15695	10950	10220	730
febrero (2022)	A	52	2	14235	34675	9125	4015	2555	4745	4380	730
febrero (2022)	B	21	1	242360	15695	9490	6935	6205	365	365	1460
febrero (2022)	B	21	2	24455	730	1095	365	0	730	730	0
febrero (2022)	B	31	1	296380	23360	12045	11315	10585	365	365	1460
febrero (2022)	B	31	2	16060	9855	2190	1095	730	2190	1825	365
febrero (2022)	B	42	2	50005	129210	13870	13140	13140	10950	10220	730
febrero (2022)	B	52	2	16060	38325	9490	4745	3285	5110	4745	730
febrero (2022)	C	21	1	246375	17155	9125	7665	7300	365	365	1460
febrero (2022)	C	21	2	29565	1095	1460	365	365	730	730	0
febrero (2022)	C	31	1	325580	27375	12045	14235	13505	365	365	1460
febrero (2022)	C	31	2	21170	12410	2920	1460	1095	2555	2555	365
febrero (2022)	C	42	2	23725	72270	13505	6935	5840	10220	9125	730
febrero (2022)	C	52	2	14965	39055	9490	4380	2920	5110	4745	730

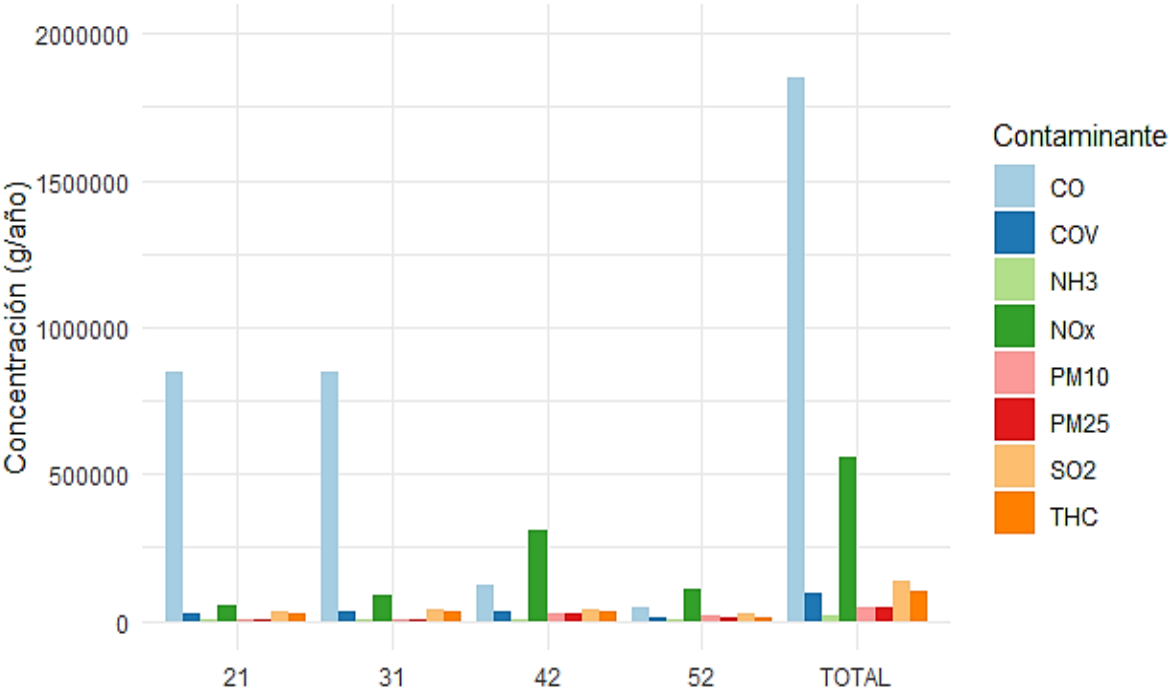
Nota: gasolina (ID 1), diésel (ID 2), automóviles de pasajeros (ID 21), camión de pasajeros (ID 31), autobús de tránsito (ID 42), camión de corta distancia una sola unidad (ID 52). Fuente: elaborado por el autor

Por medio del inventario de emisiones vehiculares se determinó que las categorías vehiculares como automóviles de pasajeros (autos y taxis) y camiones de pasajeros (jeep y camioneta) emitieron grandes cantidades de CO en las tres áreas (A, B y C) de la zona céntrica de la ciudad, por otro lado, el contaminante NOx la principal categoría que aporta es el autobús tránsito (bus urbano). Las emisiones de los camiones, volquetas, especiales y tanqueros (camión de corta distancia de una sola unidad) fueron poco representativas, finalmente el resto de contaminantes como SO₂, THC, COV, PM₁₀, PM_{2,5} y NH₃ no aportar más de 100 000 g/año.

El área A aportó un total de 1 849 455 g/año CO, siendo las categorías de mayor emisión el camión de pasajeros (31 ID) con 844 245 g/año CO seguido de los automóviles de pasajeros (21 ID) con 843 880 g/año CO, con una diferencia de 365 g/año de CO, las categorías de menor emisión fue el autobús de tránsito (42 ID) con 117 895 g/año CO y el camión de corta distancia de una sola unidad (52 ID) con 43 435 g/año. Otro contaminante representativo es el NOx cuya categoría con mayor aporte es el autobús de tránsito (42 ID) con 309 885 g/año NOx y el camión de corta distancia de una sola unidad (52 ID) con 109 135 g/año NOx (Figura 35).

Figura 35

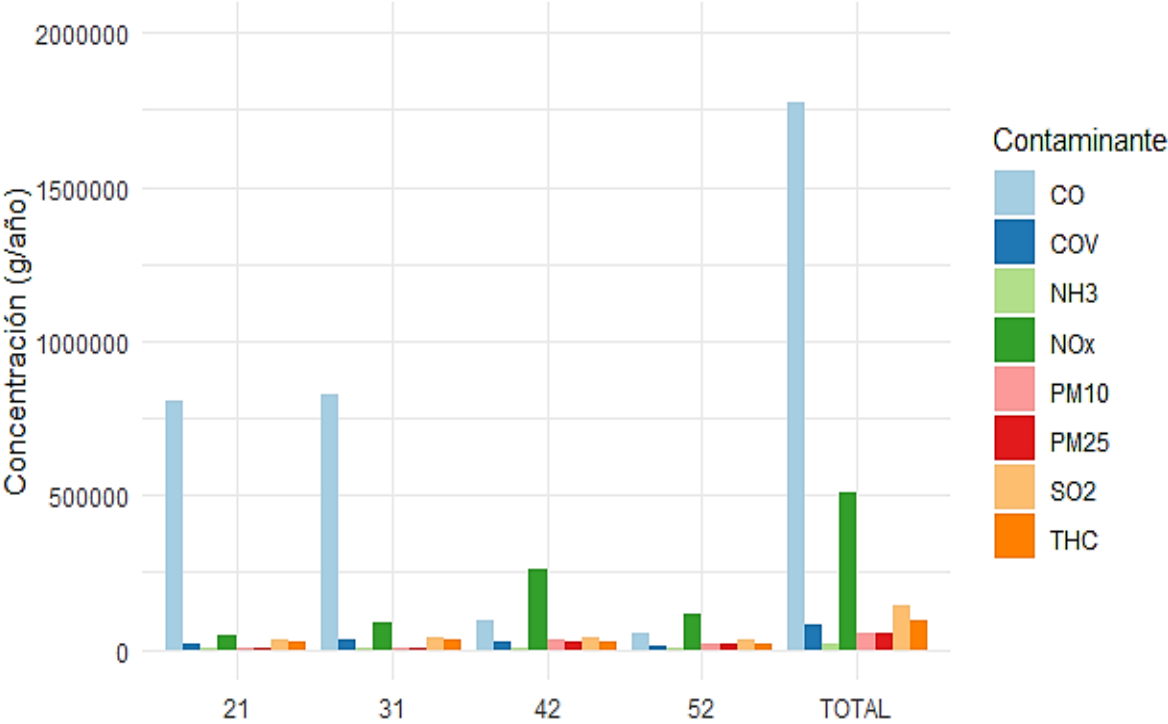
Aportación de emisiones según la categoría vehicular área A en el centro de Loja



El área B aportó un total de 1 775 360 g/año CO y 506 620 g/año NOx, la principal categoría que aportó mayor emisión fue el camión de pasajeros (31 ID) con 824 900 g/año CO seguido de los automóviles de pasajeros (21 ID) con 804 825 g/año CO y las categorías de menor es el autobús de tránsito (42 ID) con 95 630 g/año CO y el camión de corta distancia de una sola unidad (52 ID) con 50 005 g/año CO, por último el autobús de tránsito (42 ID) es la categoría con mayor aportación de NOx con 259 515 g/año, en comparación con las demás categorías (21,31 y 52 ID) (Figura 36).

Figura 36

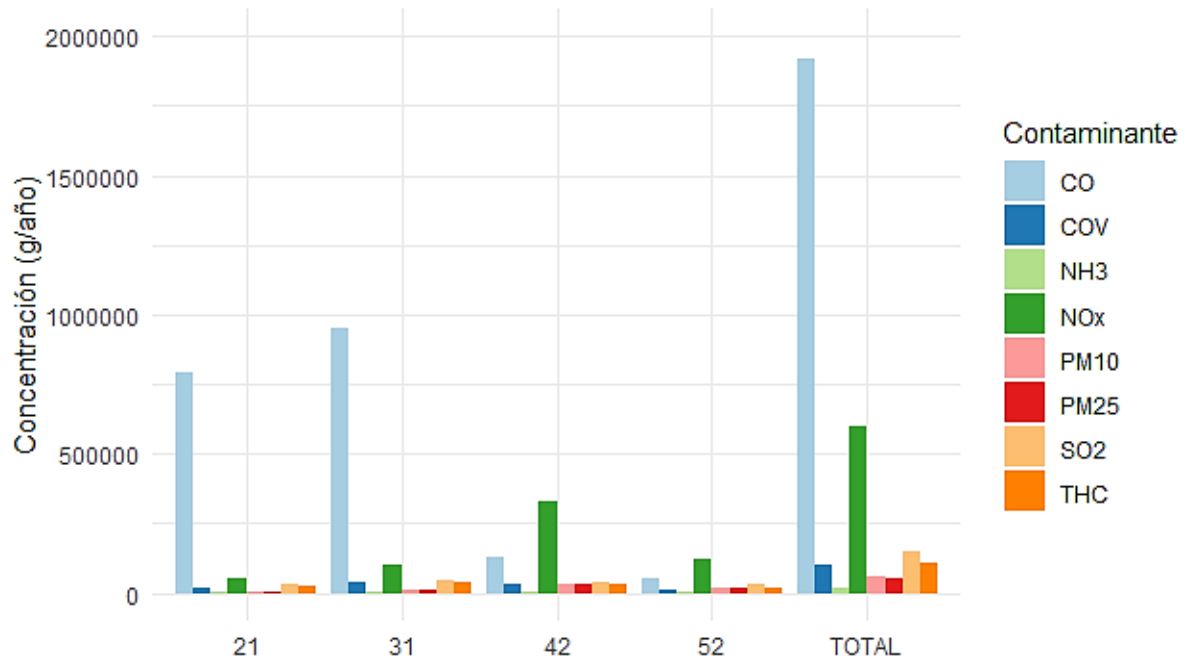
Aportación de emisiones según la categoría vehicular área B en el centro de Loja



El aporte del área C de los principales contaminantes emitidos por los automóviles fue de 1 917 893 g/año CO y 597 870 g/año NOx, las principales categorías como el camión de pasajeros (31 ID) y automóviles de pasajeros (21 ID) aportaron con 948 270 g/año CO y 793 328 g/año CO respectivamente con una diferencia de 154 943 g/año. Las categorías como autobús de tránsito (42 ID) y camión de corta distancia de una sola unidad (52 ID) aportaron con 124 830 g/año CO y 51 465 g/año CO, por último, la categoría vehicular que emitió mayor emisión NOx fue autobús de tránsito (42 ID) con 325 763 g/año NOx (Figura 37).

Figura 37

Aportación de emisiones según la categoría vehicular área C en el centro de Loja



6.3. Realizar mapas de tráfico vehicular y de las concentraciones de contaminantes emitidos en la zona céntrica de la ciudad de Loja.

6.3.1. Mapas de tráfico vehicular de las calles céntricas de la ciudad de Loja

En las Figuras 38, 39 y 40 se muestra la congestión vehicular en las calles céntricas de la ciudad de Loja en los tres periodos de tiempo (horas pico) mañana, tarde y noche para los meses de diciembre (2021), enero (2022) y febrero (2022).

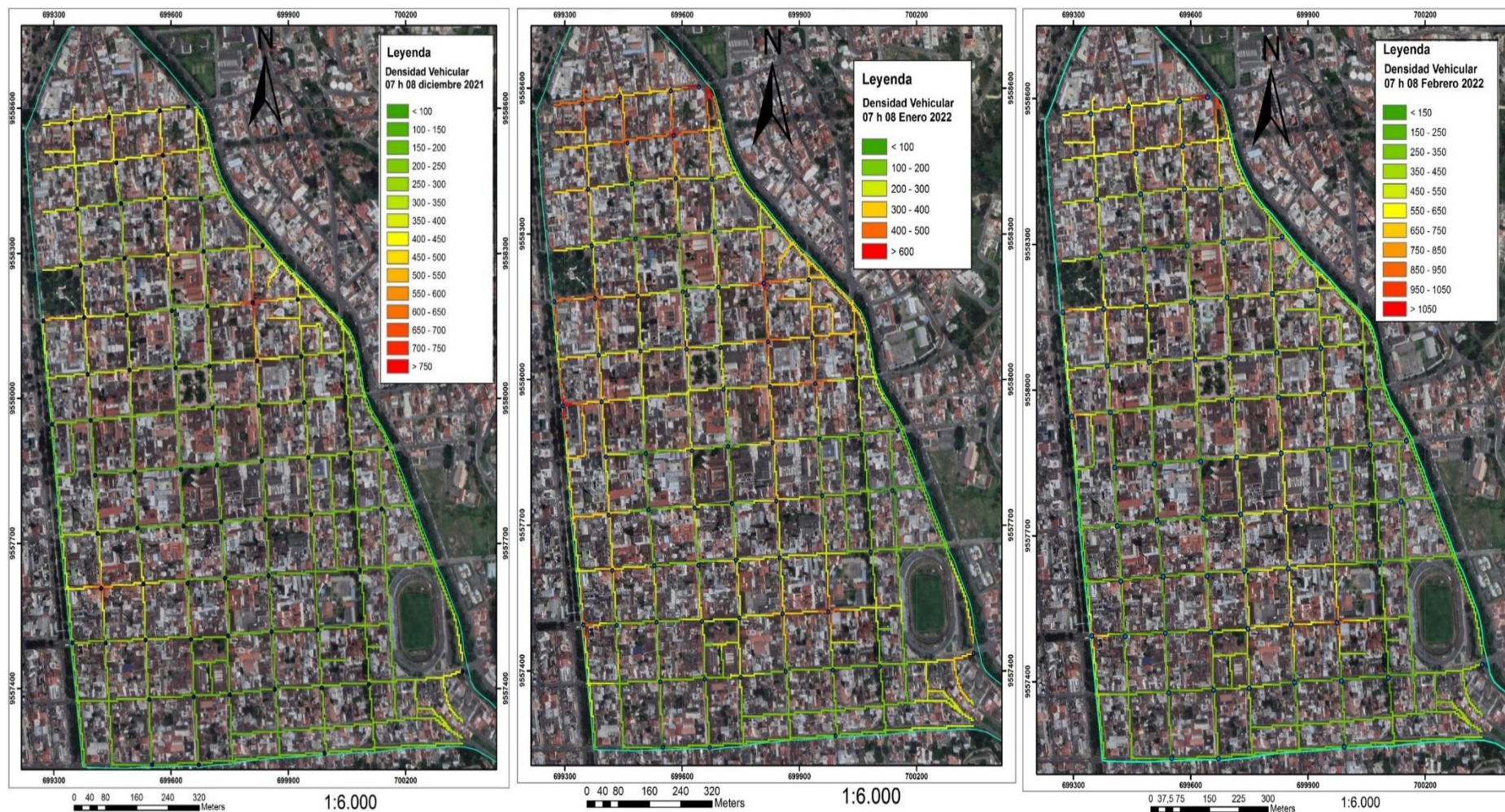
Figura 38

Tráfico vehicular en el horario 7:00 a 8:00 am de las calles céntricas de la ciudad de Loja

Mes diciembre 2021

Mes enero 2022

Mes febrero 2022



Para empezar en el mes de diciembre del años 2021 las intersecciones con mayor congestión vehicular en las calles céntricas de la ciudad de Loja en el horario de la mañana (07 h 08 am) que superaron los 500 vehículos, en primer lugar la calle José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colón (AFORO56, área C) con 756 vehículos por hora, seguido de las calles 18 de noviembre y Azuay (AFORO06, arena A), José Félix de Valdivieso y Simón Bolívar (AFOROP 37, área C), Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01, área C) por último la calle José Joaquín de Olmedo y José Antonio Eguiguren (AFORO55, área B), representando respectivamente 617, 556, 536, 533 vehículos.

Veinte y cuatro intersecciones se registró con una congestión vehicular inferior a 200 vehículos (AFORO52 área B, AFORO46 área A, AFORO30 área A, AFORO 28 área A, AFORO62 área A, AFORO45 área B, AFORO66 área A, AFORO50 área A, AFORO17 área C, AFORO21 área B, AFORO48 área A, AFORO49 área A, AFORO09 área B, AFORO53 área B, AFORO34 área C, AFORO31 área B, AFORO27 área A, AFORO39 área C, AFORO51 área A, AFORO44 área B, AFORO08 área B, AFORO26 área A, AFORO22 área B, AFORO32 área B (Tabla 15)), en su mayoría comprendidos dentro del área A.

Además, de las tres áreas del mes de diciembre en el horario de la mañana, el área C presentó una mayor congestión vehicular con 8028 vehículos representando el 41 % en comparación con el área B con 6 239 vehículos (31,8 %) y A con 5 329 vehículos (27,2 %), el aumento de la congestión vehicular dentro del área C se puede mencionar por la entrada de vehículos desde la puerta de la ciudad a la zona céntrica, zonas privadas de parqueo, calles de doble carril y la presencia de centros de comercio, centros educativos y centros médicos entre otras.

Para el mes de enero del año 2022 las intersecciones con mayor congestión vehicular que superan los 600 vehículos en el horario de la mañana (07 a 08 am), en primer lugar, se encuentra la Av. Emiliano Ortega y Juan de Salinas (AFORO03 área C) con 675 vehículos, seguido Av. Universitaria y 10 de agosto (AFORO02 área B), José Joaquín de Olmedo y Cristóbal Colón (AFORO56 área C) por último la calle José Félix de Valdivieso y Simón Bolívar (AFORO37 área C) representando 642, 619, 615 vehículos respectivamente.

En comparación con el mes de diciembre se registró seis intersecciones con una congestión vehicular menor a 200 vehículos (AFORO26 área A, AFORO44 área B, AFORO22 área B, AFORO18 área C, AFORO21 área B, AFORO70 área B (Tabla 15)), siendo cuatro intersecciones del área B por lo tanto la congestión vehicular dentro de las calles céntricas de la ciudad aumentó en el mes de enero. Por otro lado, de las tres áreas, el área B presentó una

congestión vehicular alta con 9 466 vehículos representando el 36,2 %, seguido del área C con 9 371 (35,8 %) y del área A con 7 327 (28 %), dentro del área B se encuentran centros comerciales, centros educativos, centros médicos, instituciones públicas y privadas, zonas de estacionamiento y la mayoría de calles de un solo carril delimitando la circulación de los vehículos.

Por último, en el mes febrero del año 2022 las intersecciones con un congestionamiento vehicular alto en la zona céntrica de la ciudad en el horario de la mañana (07 a 08 am) superando los 750 vehículos, en primer lugar está la Av. Emiliano Ortega y Juan de Salinas (AFORO03 área C) con 1 123 vehículos, seguido de las calles Juan José Peña y Alonso de Mercadillo (AFORO62 área A), Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C), Av. Universitaria y 10 de Agosto (AFORO02 área B), Av. Universitaria y Alonso de Mercadillo (AFORO72 área A), por último la calle José Joaquín de Olmedo y Alonso de Mercadillo (AFORO50 área A) representando 896, 833, 817, 801, 760 vehículos respectivamente.

Las intersecciones que presentan un congestionamiento menor a 200 vehículos son once (AFORO18 área C, AFORO21 área B, AFORO22 área B, AFORO23 área A, AFORO31 área B, AFORO32 área B, AFORO35 área C, AFORO49 área A, AFORO63 área A, AFORO65 área A, AFORO66 área A (Tabla 15)) correspondientes en su mayoría del área A, a pesar que aumentó cinco intersecciones en comparación con el mes de enero presentó un congestionamiento vehicular en las calles céntricas, de igual manera de las tres áreas, la área C presentó congestión vehicular alta con 11 110 vehículos representando 38,3 % seguido de las áreas B con 9 676 vehículos (33,4 %) y A con 8 186 vehículos (28,3 %).

Ahora bien, de los tres meses en el horario de la mañana (07 h 08 am) se registraron un total de 74 732 vehículos, siendo el mes de febrero 28 972 vehículos (38,8 %) con mayor circulación de vehículos, seguido del mes de enero con 26 164 vehículos (35 %) y el mes diciembre 19 596 vehículos (26,2 %), (Anexo 9).

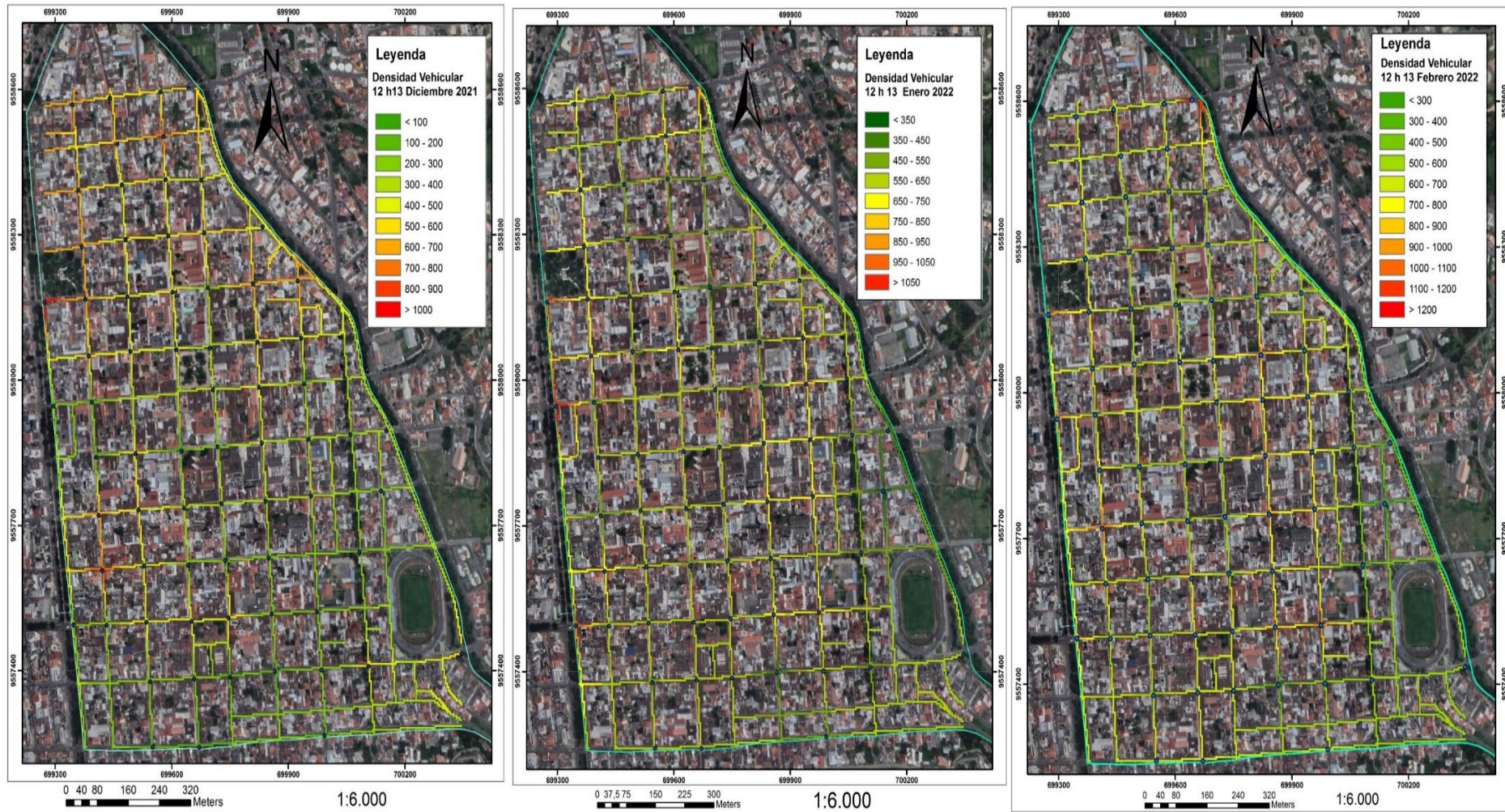
Figura 39

Tráfico vehicular en el horario 12:00 a 13:00 pm de las calles céntricas de la ciudad de Loja

Mes diciembre 2021

Mes enero 2022

Mes febrero 2022



La congestión vehicular en el mes de diciembre del año 2021 en el horario de la tarde (12:00 a 13:00 pm), las intersecciones que superan 750 vehículos en primer lugar la Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C) con 1 015 vehículos, seguido 18 de noviembre y Azuay (AFORO06 área A) con 809 vehículos, las intersecciones con una congestión vehicular inferior a los 200 vehículos son once (AFORO08 área B, AFORO09 área B, AFORO26 área A, AFORO27 área A, AFORO32 área B, AFORO46 área A, AFORO48 área A, AFORO49 área A, AFORO51 área A, AFORO64 área A, AFORO66 área A (Tabla 15)) la mayoría pertenecen al área A, de las tres áreas el área C presentó una congestión vehicular alta con 12 509 vehículos representando 42,7 %, en comparación con el área B con 9824 vehículos (33,6 %) y área A con 6 934 (23,7 %).

En el mes de enero del año 2022 en el horario de la tarde (12:00 a 13:00 pm), las intersecciones que presentaron una congestión vehicular superior a los 800 vehículos fue la Av. Universitaria y 10 de agosto (AFORO02 área B) con 1 302 vehículos, Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C) con 1031 vehículos, Av. Universitaria y Alonso de Mercadillo (AFORO72 área A) con 1 008 vehículos, Av. Emiliano Ortega y Juan de Salinas (AFORO03 área C) con 907 vehículos y Juan José Peña y 10 de Agosto (AFORO59 área B) con 809 vehículos. en comparación con la congestión vehicular con el mes de diciembre en el mes de enero no se observa congestiones vehiculares menores a 200 vehículos más bien se generó un aumento de vehículos en las calles céntricas de la ciudad. De las tres áreas, el área B presento una congestión vehicular de 16 786 vehículos representando 38 % siendo mayor a las demás áreas, el área A fue de 13 841 vehículos (31,3 %) y el área C fue de 13 550 vehículos (30,7 %).

Por último, en el mes de febrero del año 2022 en el horario de la tarde (12:00 a 13:00 pm), las intersecciones con mayor congestión vehicular superior a 900 vehículos fue la Av. Emiliano Ortega y Juan de salinas (AFORO03 área C) con 1239 vehículos, 18 de noviembre y Miguel Riofrío (AFORO07 área B) con 1022 vehículos, Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C) con 973 vehículos, Juan José Peña y Alonso de Mercadillo (AFORO62 área A) con 949 vehículos, Av. Universitaria y 10 de agosto (AFORO02 área B) con 932 vehículos y José Joaquín Olmedo y José Antonio Eguiguren (AFORO55 área B) con 926 vehículos, de igual manera que en el mes de enero no se registraron intersecciones con un congestionamiento vehicular menores a los 200 vehículos, la congestión de las calles del área

B fue de 17 865 vehículos representando 38,8 %, seguido del área A con 14 152 vehículos (30,7 %) y el área C con 14 076 vehículos (30,5 %).

El total de vehículos que transitaron en el horario de la tarde para los tres meses fue de 119 537 vehículos, en primer lugar, el mes de febrero con 46 093 vehículos representando (41,2 %) seguido del mes de enero con 44 177 vehículos (39,5 %) y el mes de diciembre con 29 267 vehículos (24,5 %), (Anexo 9).

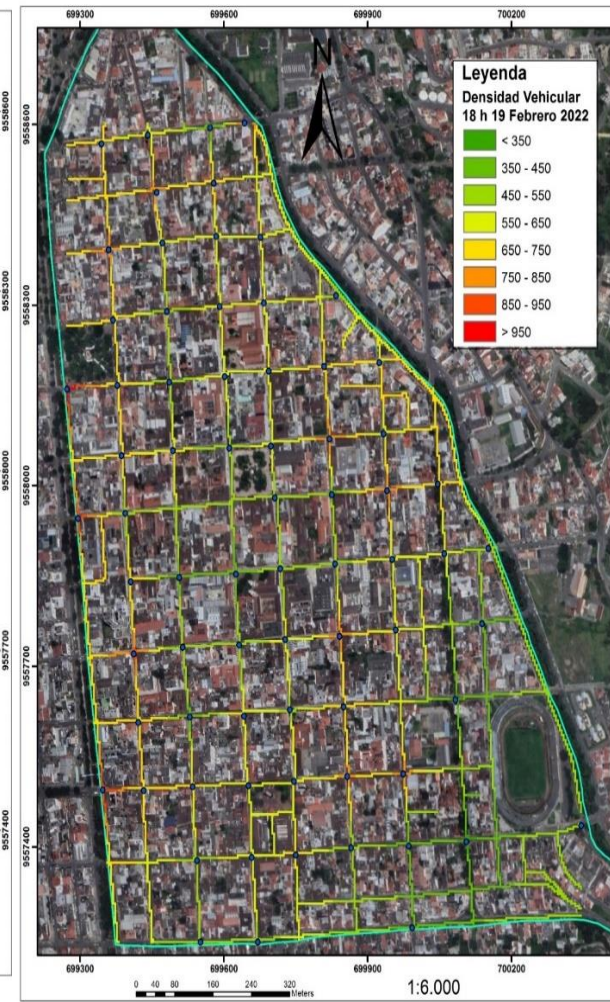
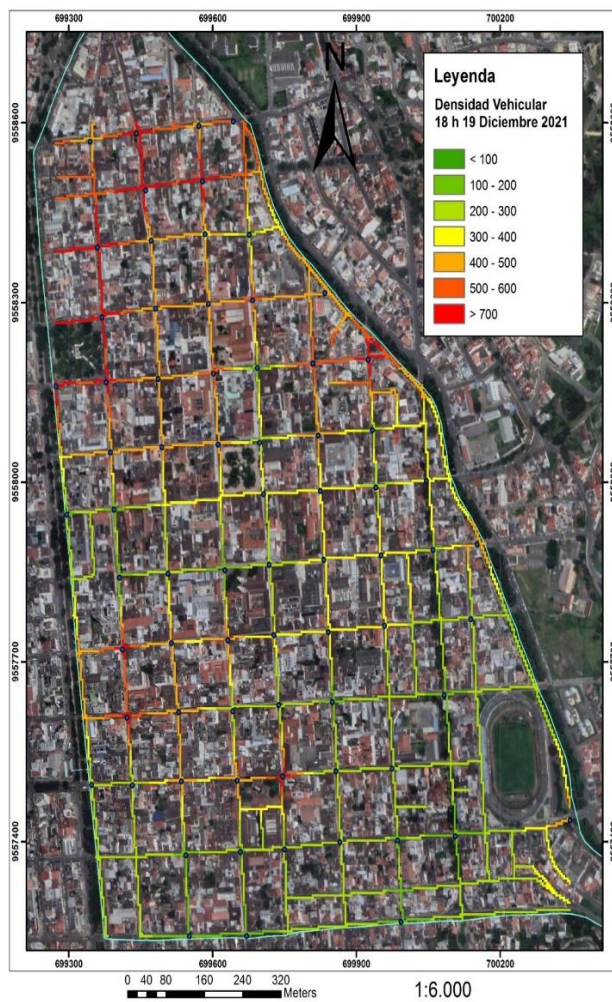
Figura 40

Tráfico vehicular en el horario 18:00 a 19:00 pm de las calles céntricas de la ciudad de Loja

Mes diciembre 2021

Mes enero 2022

Mes febrero 2022



El mes de diciembre del año 2021 en el horario de la noche (18:00 a 19:00 pm), las intersecciones que registraron más de 700 vehículos en primer lugar la intersección Antonio José de Sucre y José Félix de Valdivieso (AFORO16 área C) con 709 vehículos por último Simón Bolívar y José Félix de Valdivieso (AFORO37 área C) con 707 vehículos, las intersecciones que presentaron una congestión vehicular inferior a los 200 vehículos son quince (AFORO02 área B, AFORO08 área B, AFORO09 área B, AFORO25 área A, AFORO26 área A, AFORO27 área A, AFORO28 área A, AFORO30 área A, AFORO32 área A, AFORO41 área C, AFORO51 área A, AFORO63 área A, AFORO64 área A, AFORO65 área A, AFORO66 área A (Tabla 15)) siendo la mayoría de las intersecciones del área A, así mismo el área con mayor flujo vehicular fue el área C con 11505 vehículos representando el 43,2 % seguido del área B con 8 844 vehículos (33, 2 %) y el área C con 6 273 vehículos (23,6 %).

El mes de enero del año 2022 en el horario de la noche (18:00 a 19:00 pm), las intersecciones con una congestión vehicular mayor a 800 vehículos fue la Av. Universitaria y 10 de agosto (AFORO02 área B) con 1 316 vehículos, 18 de noviembre y Miguel Riofrío (AFORO07 área B) con 876 vehículos, Juan José Peña y 10 de agosto (AFORO59 área B) con 876 vehículos por último Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C) con 859 vehículos, con respecto a las intersecciones con congestiones vehiculares inferiores a 200 vehículos no se registran para el horario de la noche, de las tres áreas el área B presentó una congestión vehicular alta con 16 059 vehículos representando 38,1 %, seguido del área A 13 086 vehiculas (31,1 %) y el área C con 12 965 vehículos (30,8 %).

Para el mes de febrero del año 2022 en el horario de la noche (18:00 a 19:00 pm), las intersecciones con una congestión vehicular mayor a los 800 vehículos fue la Av. Universitaria y Cristóbal Colón (AFORO01 área C) con 988 vehículos, Av. Universitaria y Alonso de Mercadillo (AFORO72 área A) con 949 vehículos, Av. Universitaria y 10 de Agosto (AFORO02 área B), 18 de noviembre y Miguel Riofrío (AFORO07 área B) con 861 vehículos, José Joaquín de Olmedo y José Antonio Eguiguren (AFORO55 área B) con 845 vehículos, Juan José Peña y 10 de Agosto (AFORO59 área B) con 809 vehículos, José Joaquín de Olmedo y Miguel Riofrío (AFORO52 área B) con 809 vehículos, no se registraron congestiones vehiculares inferiores a los 200 vehículos en las calles céntricas de la ciudad, además de las tres áreas analizadas el área B transitaron 15 955 vehículos representando 37,9 %, seguido del área C 14 019 vehículos (33,3 %) y el área A con 13198 vehículos (30,6 %).

Por lo tanto, de los tres meses en el horario de la noche (18:00 a 19:00 pm) circularon en las calles céntricas 111 904 vehículos, en primer lugar, el mes de febrero (2022) con 43 172 vehículos representando 38,6 % de los tres meses, seguido del mes de enero (2022) con 42 110 vehículos (37,6 %) y el mes de diciembre con 26 622 vehículos (23,8 %). Cabe mencionar que durante el mes de diciembre la circulación vehicular disminuyó en la cuarta semana del mes por motivos de año nuevo ocasionando que la mayoría de los vehículos salgan de la ciudad por ende se registró una congestión vehicular menor en comparación con los otros meses.

Al haber realizado un contraste de los tres horarios establecidos, se puede mencionar que en el horario de la tarde (12 h 13 pm) presenta una congestión vehicular alta con 119 537 vehículos (39,0 %) que circulan por las calles céntricas de la ciudad seguido del horario de la noche (18 h 19 pm) con 111 904 vehículos (36,5 %) y finalmente el horario de mañana (07 h 08 am) con 74 732 vehículos (24,4 %), por lo tanto, circularon por calles de la ciudad un total de 306 173 vehículos, (Anexo 9).

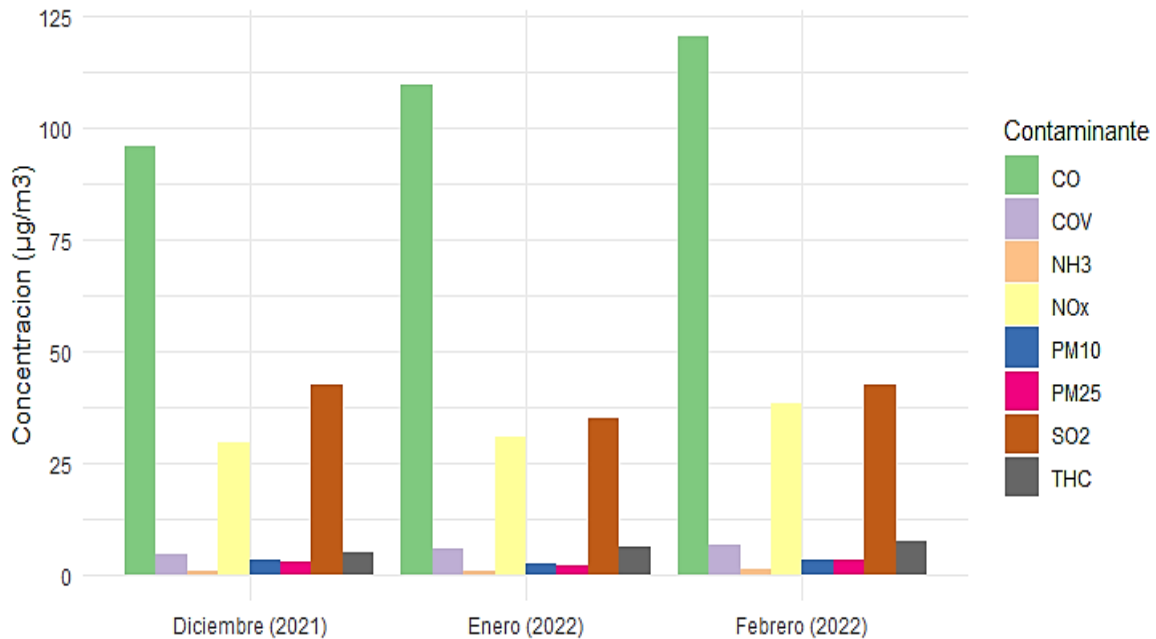
Finalmente cabe mencionar que la mayoría de las rutas de los buses en sentido Sur-Norte de la ciudad de Loja, se encuentran en dos puntos, el primero en el parque Bolívar dentro del casco céntrico de la ciudad y el segundo en el terminal terrestre (Anexo 10).

6.3.2. Mapas de concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja

En las Figuras 41, 42, 43 y 44 se muestra las concentraciones de los contaminantes calculadas en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en base a las emisiones obtenidos del software MOVES, de acuerdo a estos valores se realizó los mapas de las concentraciones de contaminantes emitidos a la atmósfera en la zona céntrica de la ciudad de Loja (Anexo 11).

Figura 41

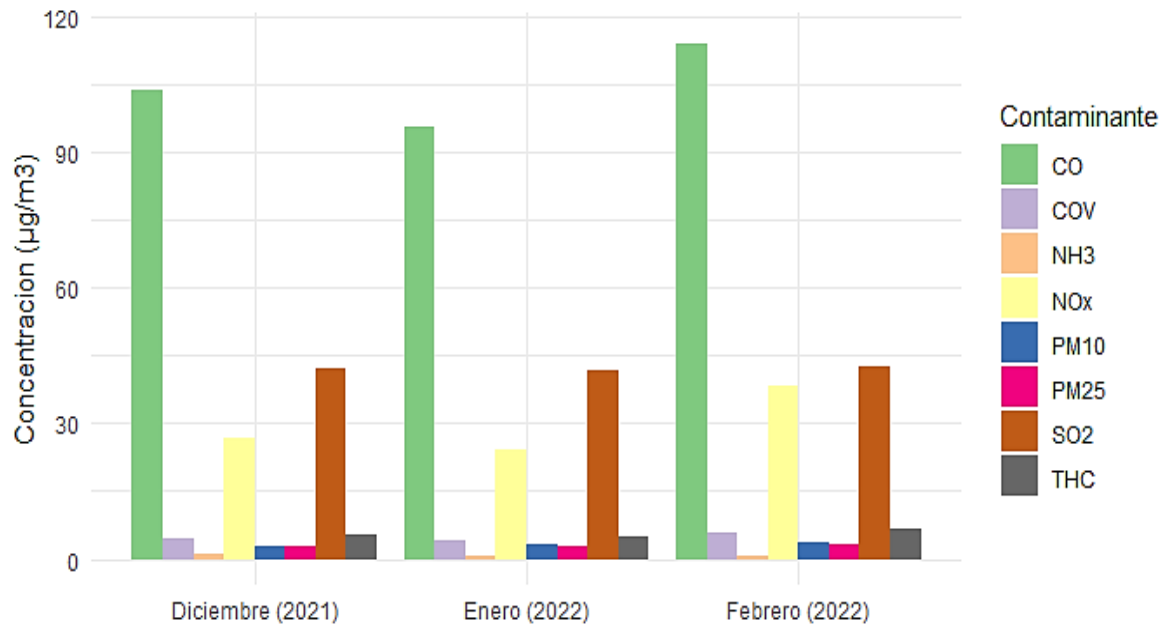
Concentración de contaminantes atmosféricos del área A en la zona céntrica de Loja



Los contaminantes como CO, NO_x, SO₂ se emitieron con mayor frecuencia en la atmósfera de la zona céntrica de la ciudad por la circulación de los vehículos, cuya concentración de cada contaminante varía dependiendo del mes, en primer lugar se encuentra el CO con una concentración alta de 120,31 µg/m³ (36,9 %) en el mes de febrero, mayor a los meses de enero con 109,70 µg/m³ CO (33,7 %) y diciembre con 95,81 µg/m³ CO (29,4 %), el segundo contaminante es el SO₂ tanto para el mes de diciembre y febrero es la misma concentración de 42,44 µg/m³ representando 35,4 % cada mes, para el mes de enero 35,4 µg/m³ (29,2 %), en tercer lugar es el NO_x durante el mes de febrero fue 38,07 µg/m³ (38,8 %), seguido del mes de enero 30,74 µg/m³ (31,3 %) y diciembre con 29,26 µg/m³ (29,8 %), por último los demás contaminantes como PM_{2,5}, PM₁₀, THC, COV, NH₃ tienen mayor aumento en el mes de febrero (Figura 41).

Figura 42

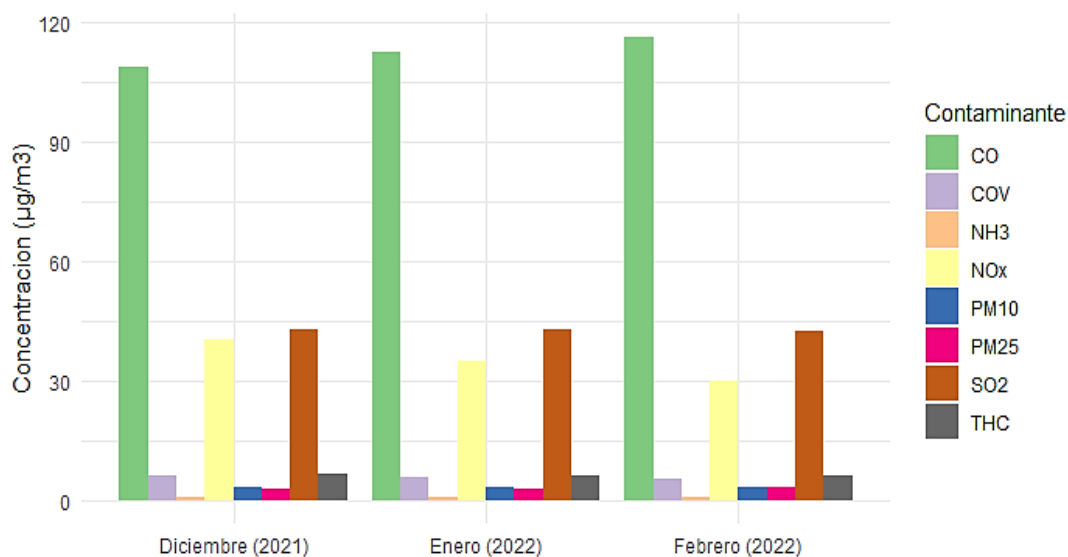
Concentración de contaminantes atmosféricos del área B en la zona céntrica de Loja



De igual manera que en la zona A en el mes de febrero los contaminantes aumentaron para la zona B, es decir que los mismos contaminantes como CO, NO_x, SO₂ predominan de las emisiones vehiculares en la zona B en comparación con el mes de diciembre y enero. Las concentraciones de los contaminantes en el mes de febrero fueron 113,68 µg/m³ CO (36,3 %), 42,44 µg/m³ SO₂ (33,7 %) y 38,26 µg/m³ NO_x (42,9 %), seguido del mes de diciembre 103,40 µg/m³ CO (33,1 %), 42,12 µg/m³ SO₂ (33,4 %) y 26,68 µg/m³ NO_x (29,9 %), finalmente enero 95,68 µg/m³ CO (30,6 %), 41,47 µg/m³ SO₂ (32,9 %) y 24,31 µg/m³ NO_x (27,2 %), los contaminantes con concentraciones bajas presentan un aumento significativo para el mes de febrero como PM₁₀ (37,0 %), PM_{2,5} (37,0 %), THC (39,6 %), COV (41,0 %) a excepción del amonio NH₃ (32,5 %), seguido del mes de diciembre excepto PM₁₀ (33,4 %) y del mes de febrero (Figura 42).

Figura 43

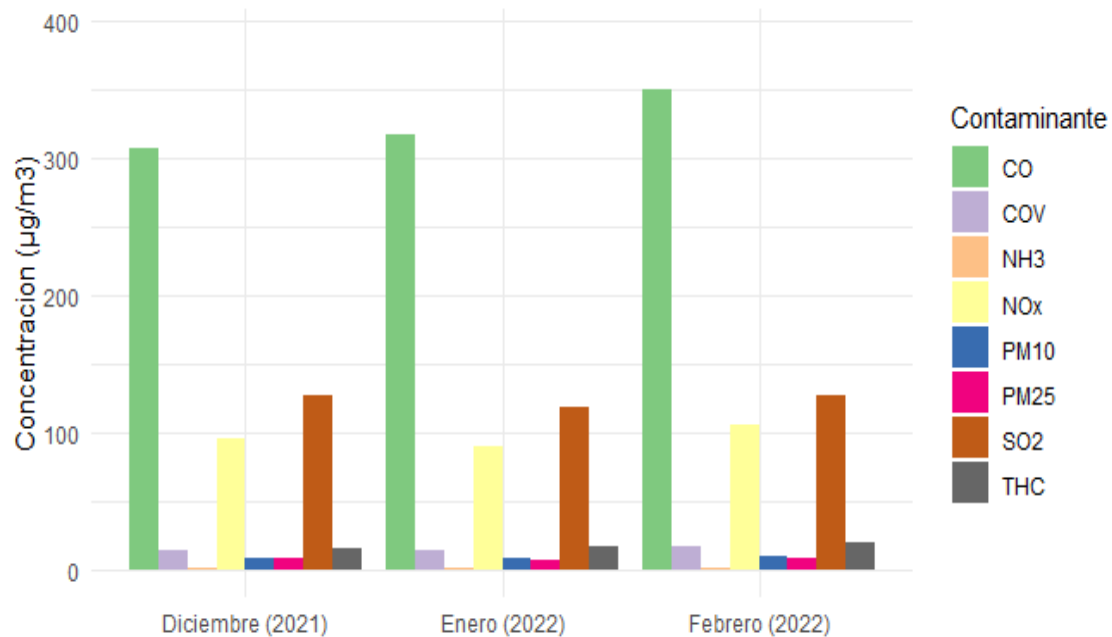
Concentración de contaminantes atmosféricos del área C en la zona céntrica de Loja



Para el área C en el mes de Febrero (2022) el contaminante CO presentó una concentración de $116,51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (34 %) superiores a los meses de enero con $112,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33 %) y diciembre $108,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (32 %), el segundo contaminante es el NOx para el mes de diciembre fue de $40,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (38 %) seguido del mes de enero $35,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33 %) y febrero $29,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (28 %), finalmente el contaminante SO₂ presentó la misma concentración de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para los tres meses representando 33 % respectivamente, al igual que el amonio presentó la misma concentración $0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33 %) para los tres meses. El material particulado como PM₁₀ y PM_{2,5} presentó un crecimiento mínimo en el mes de febrero (2022) de $3,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (34 %) y $3,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (34 %) respectivamente, los hidrocarburos totales (THC) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) sus concentraciones mayores fueron en el mes de diciembre (2021), representando $6,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (34 %) y $6,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 %) respectivamente (Figura 43).

Figura 44

Concentración total de contaminantes en la zona céntrico de Loja



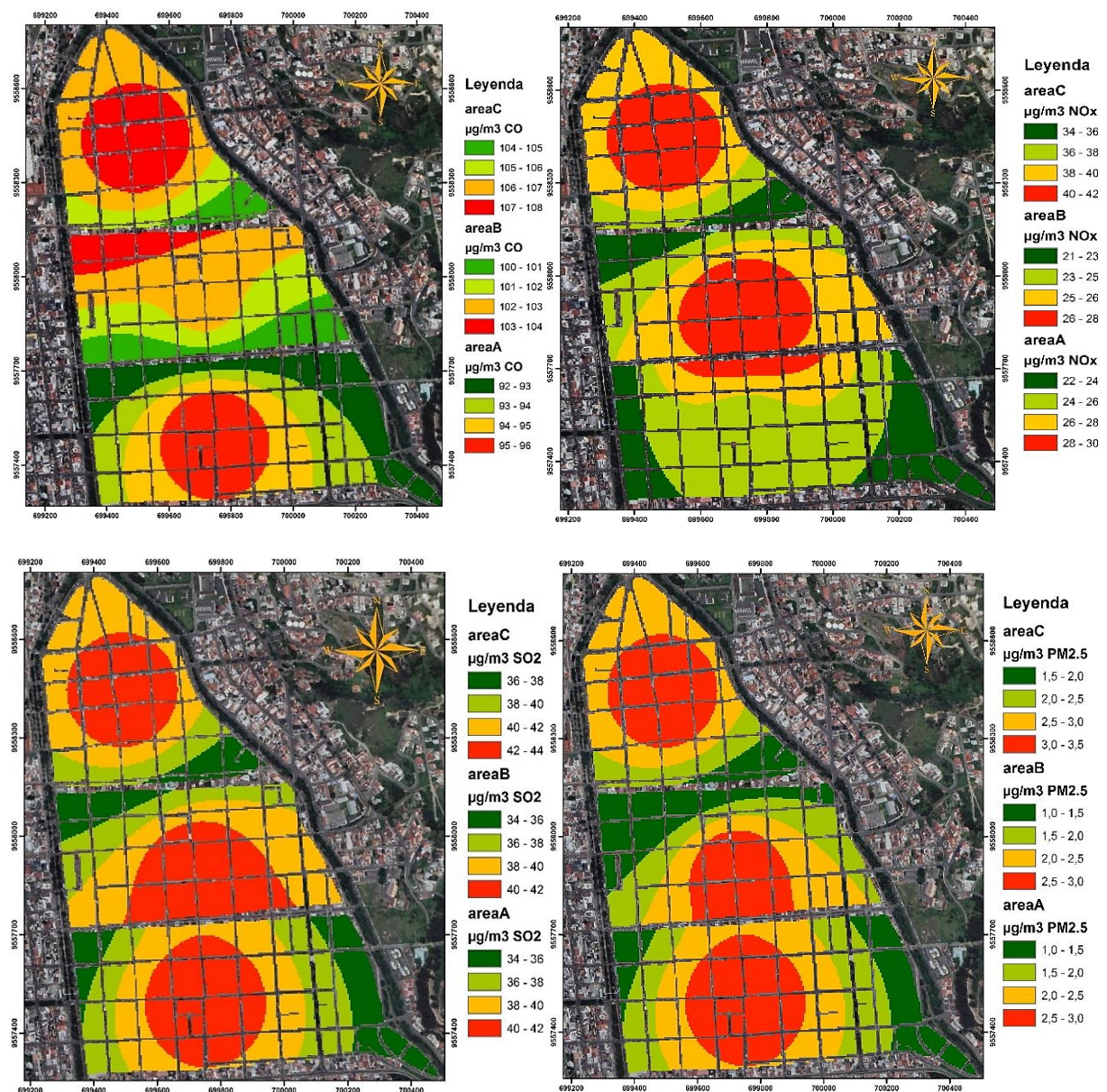
Considerando la sumatoria de cada contaminante de las tres áreas el mes que presento una concentración mayor fue Febrero (2022) con $350,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ CO (35,9 %), seguido de enero $318 \mu\text{g}/\text{m}^3$ CO (32,6 %) y diciembre $307,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ CO (31,5 %) dando una concentración final de $976,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO, en el mes de diciembre y febrero el SO_2 tienen la misma concentración de $127,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (34,1 %) sin embargo en el mes de enero fue $119,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (31,9 %) con un total de $374,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 , al igual que el amonio (NH_3) con $2,57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (33,9 %), por último el NO_x aumento considerablemente en el mes de febrero $106,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (36,3 %), seguido de diciembre $96,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (32,9 %) y enero $90,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (30,8 %) con un total de $292,63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respecto al material particulado (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) hidrocarburos totales (THC) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) su máxima concentración fue en el mes de febrero con $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$) representando 36,2 % cada uno, $19,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ THC (37 %) y $18,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ COV (37,4 %). Los NO_x , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ y NH_3 disminuyeron su concentración en el mes de enero, al contrario del CO, THC y COV aumentaron en el mes de enero (Figura 44).

Finalmente para el mes de febrero (2022) circularon en la zona céntrica 118 237 vehículos (autos, taxis, camionetas, camiones, motocicletas etc.) siendo mayor a los meses de enero y diciembre, por lo tanto, las concentraciones de contaminantes emitidos por los automotores a la atmósfera urbana tuvieron un crecimiento máximo para las tres áreas (A, B y C), sin embargo, en el mes de enero y diciembre se identificaron concentraciones que varían

por área y mes, es decir que para la área A las mayores emisiones para el mes de diciembre fueron $42,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SO_2), $3,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM_{10}), $2,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{PM}_{2,5}$) y $0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NH_3) y en el mes de enero $109,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (CO), $30,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (NO_x), $5,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (THC), $5,53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (COV), en el área B y C después del mes de febrero le sigue el mes de diciembre con aumento en las concentraciones de los contaminantes en comparación con el mes de enero a excepción del PM_{10} con $3,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del área B y CO con $112,62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del área C pertenecientes al mes de enero. Las concentraciones de $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 , $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} , $3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2,5}$ y $0,84 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NH_3 presentan la misma concentración durante el mes de diciembre y enero del área C (Figuras 45, 46 y 47).

Figura 45

Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes diciembre del año 2021



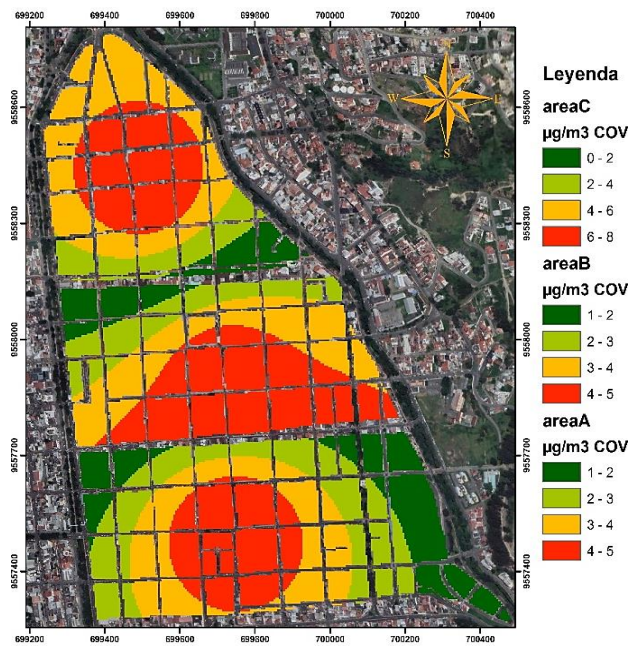
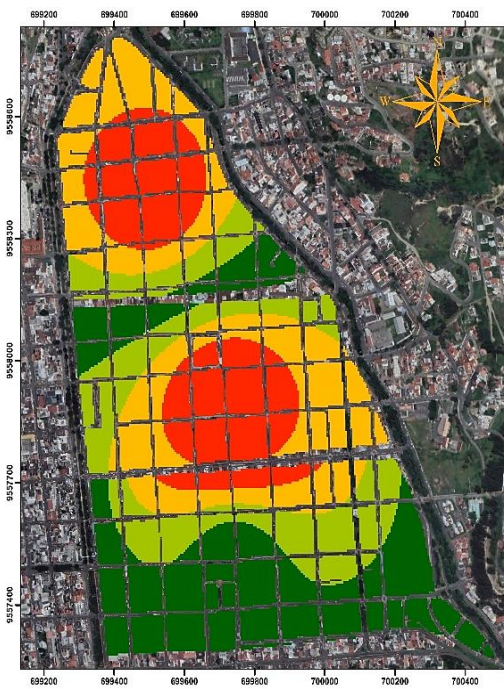
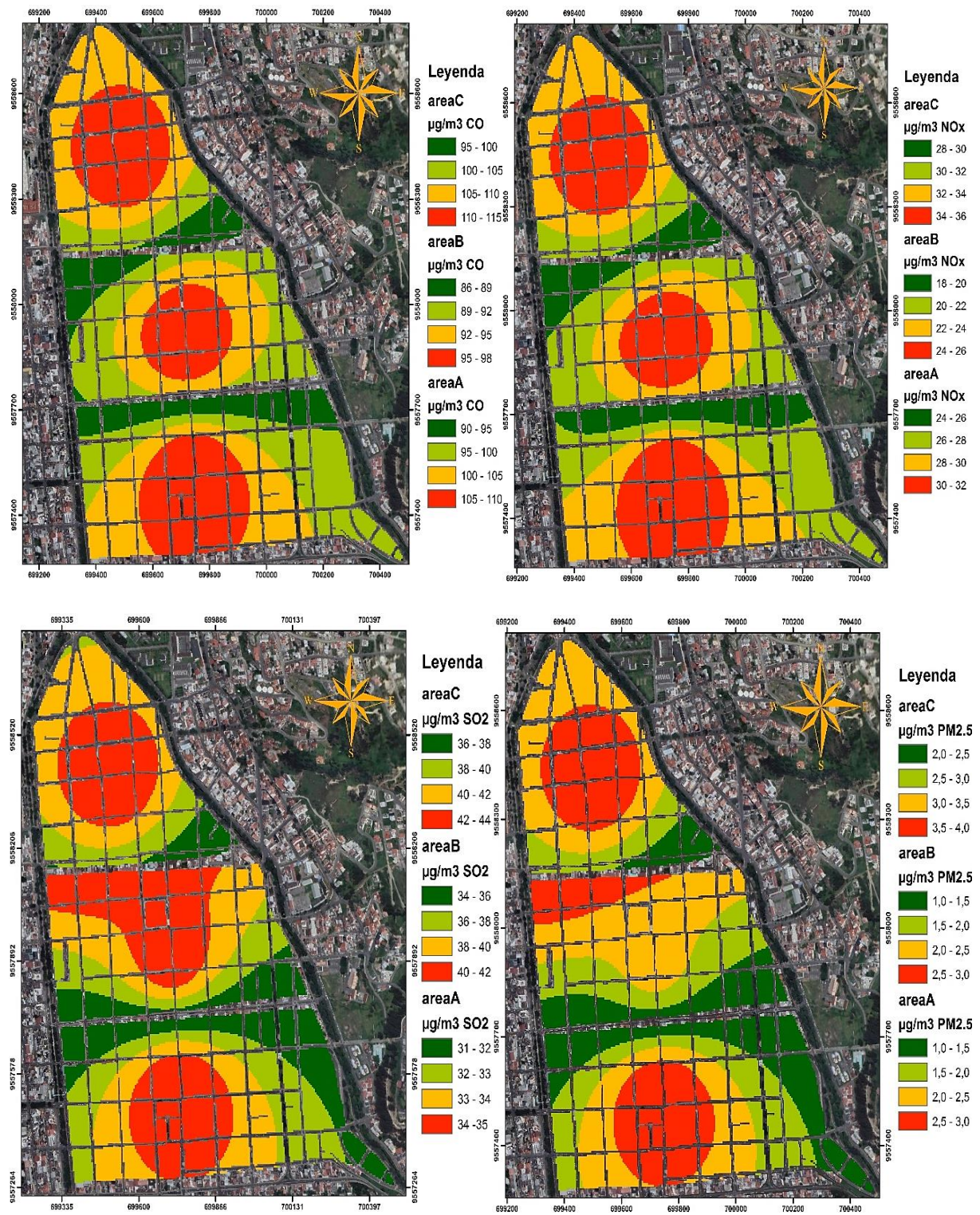


Figura 46

Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes enero del año 2022



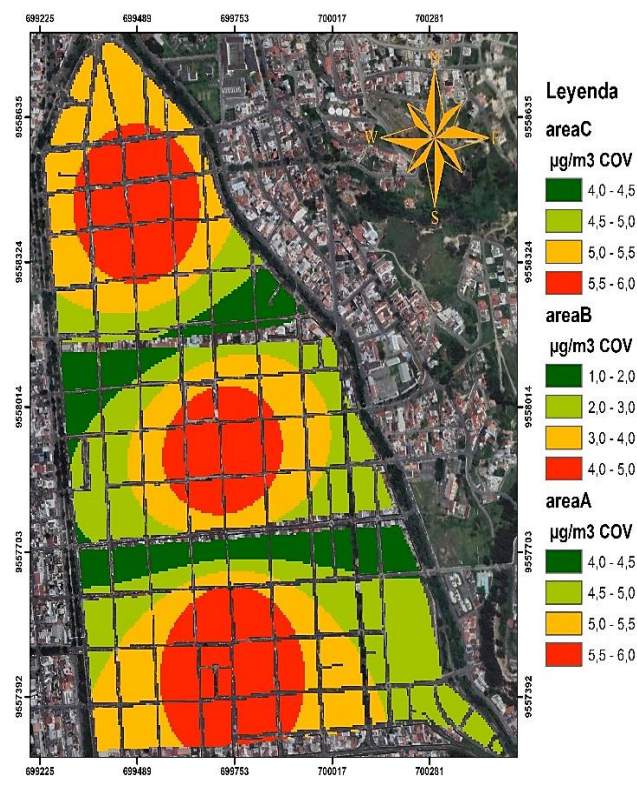
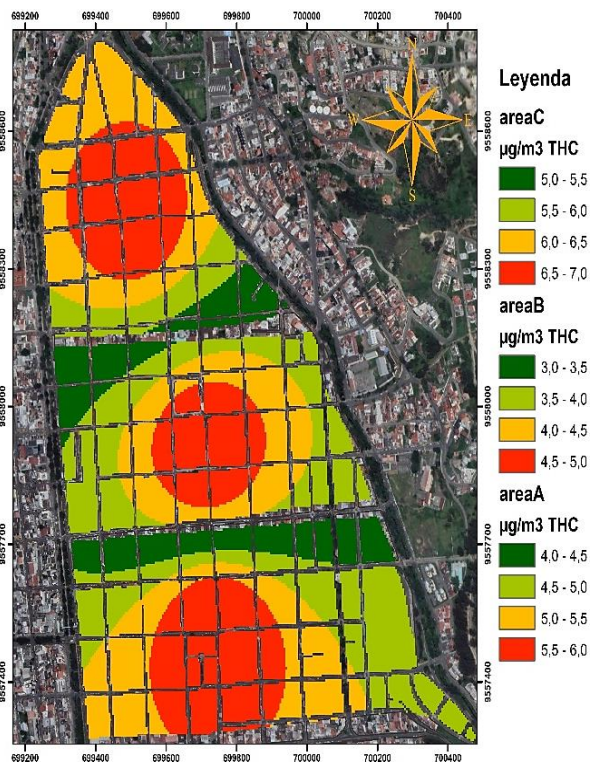
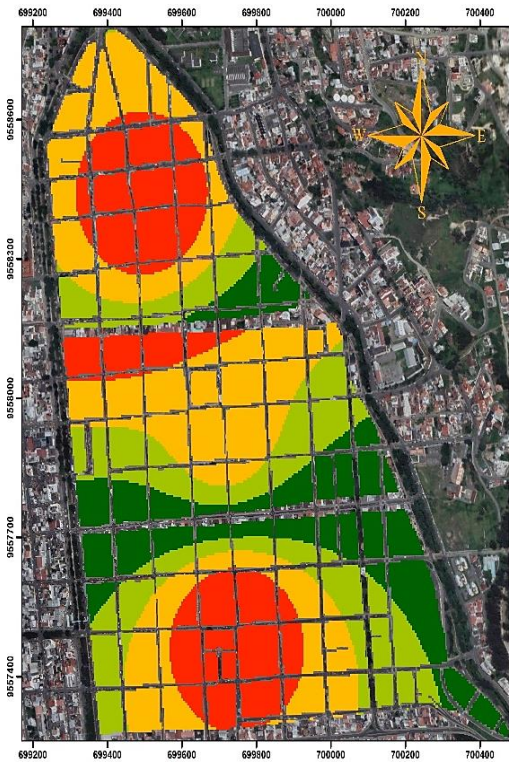
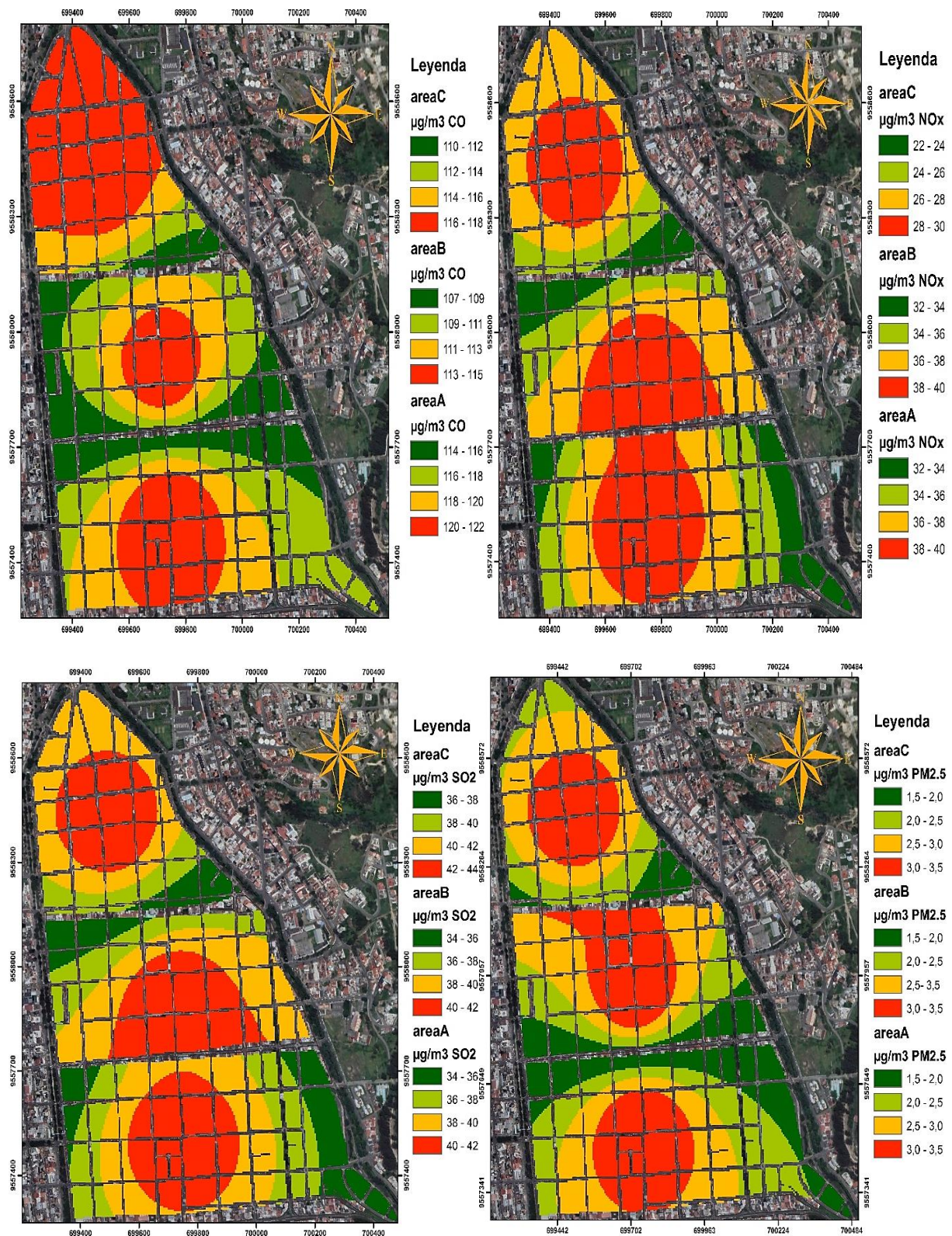
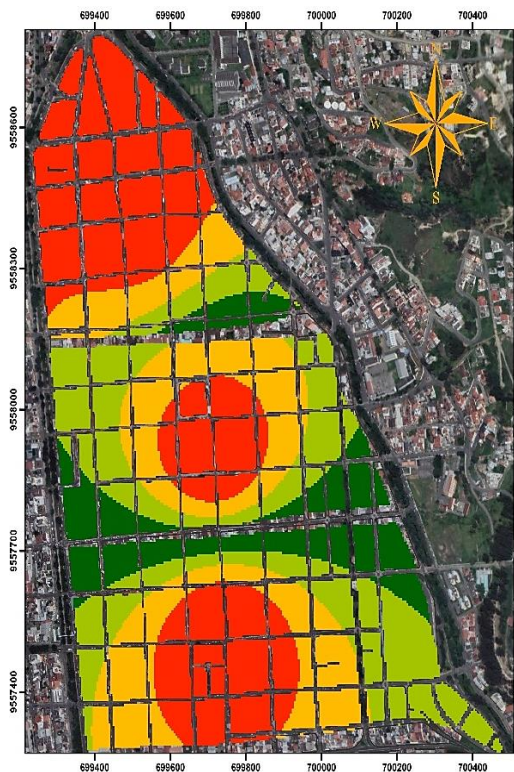


Figura 47

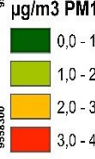
Concentraciones de contaminantes en la zona céntrica de Loja, mes febrero del año 2022



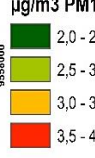


Leyenda

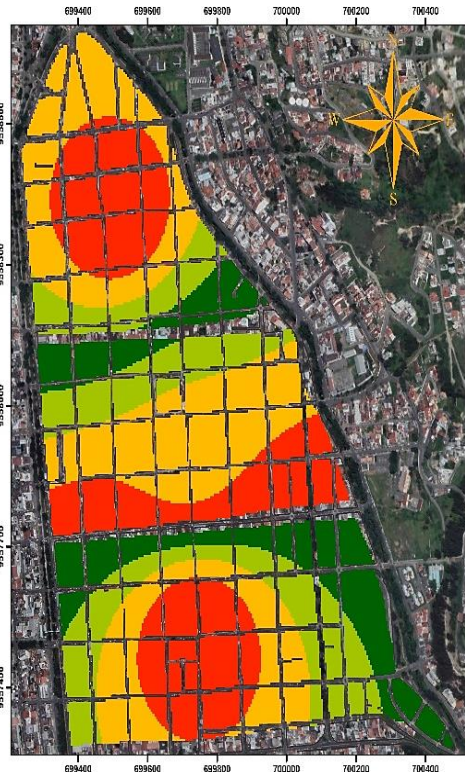
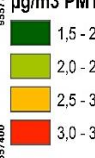
areaC



areaB

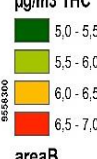


areaA



Leyenda

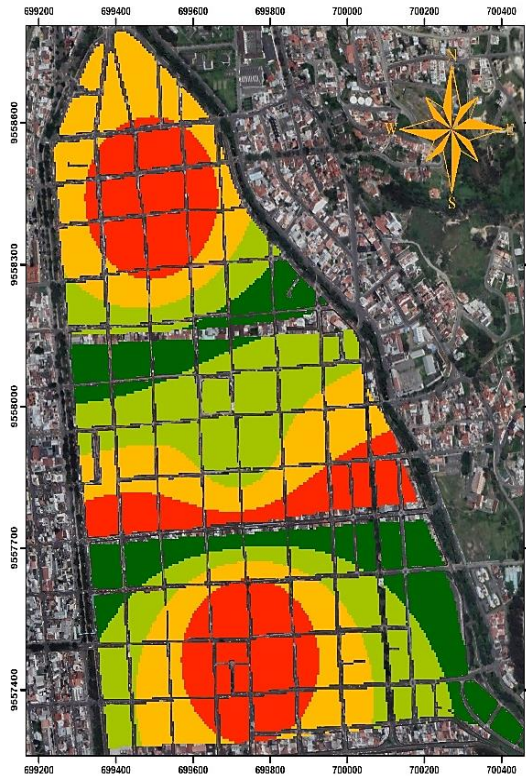
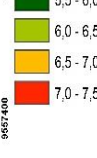
areaC



areaB

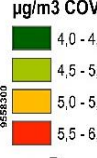


areaA

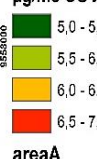


Leyenda

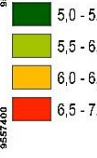
areaC



areaB



areaA



7. Discusión

En los tres meses (diciembre 2021 y enero, febrero 2022) la carga vehicular total en las calles de la zona céntrica fue de 306 173 vehículos, el mes que tuvo una mayor congestión vehicular fue el mes de febrero con 118 237 (39 %) vehículos en comparación con los meses de enero con 112 451 (37 %) vehículos y del mes de diciembre con 75 485 (25 %) vehículos. De igual manera las categorías vehiculares que transitan con mayor frecuencia en los tres meses fueron los automóviles (193 257 unidades), taxis (64 527 unidades), camionetas (30 041 unidades) y motos (8 817 unidades), por otro lado las categorías con baja frecuencia de circulación fueron busetas (3 532 unidades), buses (1 515 unidades), camiones (4 271 unidades) y otros (214 unidades) debido a su poca circulación, sin embargo, según Jaramillo (2016), se estima que 36 000 vehículos transitan permanentemente por las calles de la ciudad de Loja, generando una tasa de motorización para el cantón Loja de 173 vehículos por cada mil habitantes, además menciona que el transporte público y comercial de la ciudad está conformado por buses, taxis, transporte escolar, transporte de carga etc. siendo con mayor representación los taxis con un 49,25 %.

De manera similar Guamán (2012), menciona que la circulación promedio de vehículos por hora crece de manera continua y acelerada en la zona céntrica de Loja, para el año 1995 circularon un promedio de 302,15 vehículos por hora, en el año 2007 circularon 402,51 vehículos por hora, en el año 2011 transitaron 485,62 vehículos por hora, lo que significa que existe una mayor demanda de transporte público y privado lo que conlleva a un congestionamiento vehicular en la zona céntrica de Loja por el exceso de vehículos. Por otra parte, las áreas que registraron una mayor carga vehicular para el mes de diciembre el área C con 32 042 (42 %) vehículos comprendido desde la calle Cristóbal Colón entre Juan de Salinas, en el mes de enero el área B con 42 311 (38 %) vehículos y el mes de febrero el área B con 43 496 (37 %) vehículos comprendido desde la calle Miguel Riofrío entre José Antonio Eguiguren.

En el mismo contexto las intersecciones que presentaron una alta congestión vehicular durante las “horas pico” fueron las calles José Joaquín de Olmedo - Cristóbal Colón (AFORO56, área C) y José Félix de Valdivieso - Simón Bolívar (AFOROP 37, área C) en los meses de diciembre (2021) y enero (2022), en cambio para los meses de enero y febrero (2022) las calles con mayor congestión fueron la Av. Emiliano ortega - Juan de Salinas (AFORO03 área C), Av. Universitaria - 10 de agosto (AFORO02 área B), Av. Universitaria - Alonso de

Mercadillo (AFORO72 área A), Juan José Peña - 10 de agosto (AFORO59 área B) y 18 de noviembre - Miguel Riofrío (AFORO07 área B), por último la calle que presentó una congestión alta durante los tres meses fue la Av. Universitaria - Cristóbal Colón (AFORO01, área C).

Diferente a los resultados obtenidos por Betancourt & Muñoz (2016), dentro de la zona céntrica de Loja las intersecciones que presentan un mayor congestionamiento vehicular en las “horas pico” son las calles Simón Bolívar – Alonso de Mercadillo, Bernardo Valdivieso – Alonso de Mercadillo, Antonio José de Sucre - Alonso Mercadillo, Simón Bolívar – Lourdes, Av. Universitaria – Alonso de Mercadillo, calle Juan José Peña - Lourdes, Bernardo Valdivieso – 10 de Agosto, Bernardo Valdivieso – José Antonio Eguiguren, Bernardo Valdivieso – Cristóbal Colón, Simón Bolívar - José Antonio Eguiguren, Antonio José de Sucre - José Antonio Eguiguren, Antonio José de Sucre – Cristóbal Colón, 18 de noviembre – Imbabura y Simón Bolívar – Imbabura, las intersecciones con un congestionamiento bajo son 18 de noviembre – Lourdes, José Félix de Valdivieso y Antonio José de Sucre, Juan José Peña – 10 de Agosto, las demás intersección ubicadas en la zona céntrica de la ciudad presenta una congestión vehicular baja.

En el mes de diciembre (2021) el área C presentó una congestión alta en los tres periodos de tiempo con 8 028 vehículos (07:00 a 08:00 am), 12 509 vehículos (12:00 a 13:00 pm) y 11 505 vehículos (18:00 a 19:00 pm), para el mes de enero (2022) el área B presentó una congestión vehicular alta en los tres periodos de tiempo con 9 466 vehículos (07:00 a 08:00 am), 16 786 vehículos (12:00 a 13:00 pm) y 16 059 vehículos (18:00 a 19:00 pm) y el mes de febrero (2022) el área C y B presentaron congestión vehicular alta con 11 110 vehículos (07:00 a 08:00 am), del área B con 17 865 vehículos (12:00 a 13:00 pm) y 15 955 vehículos (18:00 a 19:00 pm). De igual manera, de los tres horarios el horario de la tarde (12 h 13 pm) presentó mayor congestión vehicular con 119 537 vehículos (39,0 %) que circularon por las calles céntricas de la ciudad seguido del horario de la noche (18 h 19 pm) con 111 904 vehículos (36,5 %) y finalmente el horario de mañana (07 h 08 am) con 74 732 vehículos (24,4 %).

Agregando a lo anterior, Av. Manuel Agustín Aguirre - Av. Universitaria (vías arteriales) y Av. Orillas del Río Zamora - Av. Emiliano Ortega (vías colectoras) son las más utilizadas por los conductores ocasionando lentitud y tráfico, además las velocidades que alcanzan los vehículos cuando las calles están congestionadas es de 15 km/h (Betancourt & Muñoz, 2016), en cambio el estudio de Guamán (2012), muestra que en las intersecciones sin

presencia de semáforo se registraron las siguientes velocidades durante las horas pico de 12:30 a 13:30 calle Quito 20 km/h, Imbabura 19,83 km/h, Azuay 16,03 km/h y de 8:30 a 19:30 Quito 12,59 km/h, Imbabura 11,25 y Azuay 6,31 km/h, diferente a los resultados obtenidos en el presente estudio de 37 km/h promedio de velocidades todas las categorías vehiculares durante las “horas pico” y fuera de las horas pico de 38 km/h.

Las principales razones de la congestión vehicular en la zona céntrica de la ciudad de Loja son por la concentración de locales comerciales, centros educativos, centros médicos, instituciones públicas y privadas entre otras. Similar a las razones expuestas por Betancourt & Muñoz (2016), concentración de la mayoría de las actividades económicas ubicadas en la primera planta de las edificaciones, centros educativos, lugares turísticos, instituciones financieras, instituciones públicas, iglesias, hospitales locales, clínicas, parques, museos y hostales, además espacios de estacionamiento en su mayoría establecidos por el municipio, igualmente lotes privados (baldíos) que ofrecen sitios de estacionamiento por la gran demanda.

La distribución vehicular por clase que realiza el SRI (Servicio de Rentas Internas del Ecuador) es muy general por lo que no se evidencia una diferenciación entre vehículos particulares y vehículos comerciales, sin embargo, si se hace una diferenciación de cada automotor (autos, taxis, etc.) permitirá conocer el parque automotor de la ciudad de Loja, por otro lado, se recopilaron 39 760 placas en total en la zona céntrica dejando 32 907 placas únicas, con una diferencia de 6 853 placas.

Las principales marcas de vehículos más contaminantes son Volkswagen, Renault-Nissan, Toyota, General Motors y Hyundai-Kia (Greenpeace, 2019). En la ciudad de Loja las marcas más populares en el transporte particular se encuentran Chevrolet con 9 076 unidades, Hyundai 5 826 unidades, Kia 3 507 unidades y Toyota 3 002 unidades, algo semejante ocurre con el transporte comercial está Hyundai 3 931 unidades, Kia 1 670 unidades y Chevrolet 871 unidades empleadas por más de una década por los conductores lojanos, de manera similar a AEADE (2021), para el año 2021 se incrementó un 10,2 % en la oferta de nuevos modelos con respecto al año 2020, es decir que para el año 2020 se comercializaron 94 marcas y 460 modelos, en cambio para el 2021 se comercializó 105 marcas y 507 modelos disponibles en el mercado ecuatoriano, a nivel del país se importaron 97 450 vehículos, la venta de vehículos livianos fue de 109 198 unidades mientras que los vehículos pesados 10 118 unidades y en la provincia de Loja se vendieron 420 vehículos de marca Hyundai, la marca número uno en Ecuador es

Chevrolet con una participación en el mercado del 20,7%, seguido del Kia 18,2% manteniendo su liderazgo en el país.

Por otra parte, la mayoría de los automóviles matriculados son de la provincia de Loja (23 294 unidades), seguido de la provincia de pichincha (8 337 unidades) y Azuay (3 217 unidades), además, la mayoría de las categorías vehiculares provienen de Ecuador, Corea del Sur, Colombia, China Popular, México y Japón diferente a AEADE (2021), donde se menciona que el origen de los vehículos del Ecuador en su mayoría proviene de China, bajando la participación de vehículos ensamblados en Ecuador y aumentando las importaciones de vehículos europeos y chinos en una amplia variedad de marca, alcanzando para el año 2021 el 31,7 % de unidades comercializados al igual que el año 2020, seguido de Ecuador (16,1%), Colombia (11,3%), Corea (7,2%), Unión europea (7%), México (6,3 %), Brasil (5,8%), Japón (4,7%), Tailandia (2,8%), otros (7,2%).

En cuanto a la edad del parque automotor de la ciudad de Loja, los vehículos particular tiene una vida útil promedio de doce años en comparación con los vehículos comerciales de once años, por otro lado, Vivanco (2015), menciona que el promedio de vida útil del parque automotor es de nueve años. Al comparar la antigüedad del parque automotor con otros países como Alemania de 7,7 años promedio, Reino Unido 8 años, Francia 9 años, Chile 10 años, Italia 11 años, EE.UU. 11,7 años, Argentina 12 años, España 12,7 años, Portugal 12,8 años, Grecia 16 años (Alonso, 2021) los autos que circulan en la ciudad Loja no son tan nuevos como en Alemania con 7,7 años promedio de antigüedad, debido a la circulación de vehículos de muchos años de antigüedad que empeora el promedio. En Ecuador la edad promedio del parque automotor es de 16 años de antigüedad, aunque en el país circulan 303 528 vehículos con más de 35 años (Vintimilla, 2019).

La antigüedad del parque automotor tiene un efecto medioambiental importante, cuanto más antiguo sea el vehículo más cantidad de emisiones emite a la atmósfera, en cambio los vehículos más nuevos incorporan tecnologías más avanzadas, es decir que reducen las emisiones como los gases de efecto invernadero CO₂ (85 %) y menos emisiones de NO_x, CO y partículas que un vehículo hace 10 años (RACE, 2018)

El promedio del cilindraje de la flota vehicular de la ciudad es de 1 600 cc dando a entender que existe un gran número de automotores con motores pequeños y que los conductores eligen el auto por poseer un cilindraje menor para el ahorro de combustible, con lo referente al tipo de tecnología empleada por los automotores el 88 % tienen inyección y 9 %

carburador, semejante a Vivanco (2015), donde indica que los vehículos de la ciudad cuenta con un cilindraje de 230 centímetros cúbicos en promedio y la tecnología empleada por el parque automotor en general el 11,7 % tiene sistema de carburador y el 88,3 % inyección.

Los combustibles comercializados y utilizados por el parque automotor en la ciudad de Loja, en el primer puesto se encuentra la gasolina Ecopaís (55 %), seguido del diésel (29 %), gasolina extra (13 %) y gasolina super (2 %), siendo el transporte liviano el principal consumidor de gasolina y para el transporte pesado es el diésel, además por medio del promedio de consumo de combustible semanal en dólares (\$) se obtuvo los galones consumidos por cada categoría vehicular, es decir que los autos consumen 492 galones, taxis 1 112 galones, camionetas 720 galones, motos 235 galones, buses 1 517 galones, camiones 1 347 y busetas 920 galones, diferente a los datos obtenidos por Vivanco (2015), menciona que el 95 % de los autos tienen un motor a gasolina y 5 % un motor a diésel en cambio las camionetas 85 % poseen un motor a gasolina y 5 % motor a diésel, el consumo promedio de galones para autos 587 gal, camionetas 819 gal, pesados 1 318 gal, motos 822, bus 5 273 y taxis 2 109 gal. Según el gerente de la estación de servicio 24 de mayo de la ciudad de Loja del año 2022 el consumo mensual del transporte urbano en galones es de 950 galones (vía troncal) y 750 galones (Calle Juan José Peña).

En Ecuador la gasolina comercializada está por debajo de la normativa INEN (NTE INEN 935 para gasolina y INEN 1489 diésel) aunque no alcanza las normas internacionales como la EURO V de 10 ppm de azufre (Orozco, 2022). Es necesario mencionar que los combustibles producidos en el país cumplen con la norma técnica EURO III aplicada desde 2017 (PETROENERGÍA, 2022). En el mismo contexto el país presenta 20 años de atraso en su normativa de emisiones vehiculares, desde el año 2002 aprobada la norma técnica INEN NTE 2207:2002 y no se han presentado cambios en los límites de emisiones manteniéndose en la EURO I (Román, 2020), además dentro del país circulan vehículos con norma EURO I, EURO II y EURO III, sin embargo, los vehículos importados y ensamblados en el país deben cumplir la normativa EURO III (Validación y Certificación INEN, 2017).

En el mes de febrero del año 2022 Petroecuador produjo combustibles con un contenido de azufre inferior a lo establecido por la normativa INEN 1489 y 935, para el diésel premium cumple con la normativa EURO IV cuyo contenido de azufre fue de 42 ppm (partes por millón), la gasolina super se basó en la norma EURO III con 56 ppm, de igual manera para la gasolina extra con 218 ppm y eco-país con 54 ppm (Petroecuador, 2022). No obstante la tecnología del

automotor para el control de contaminación va acompañada con la calidad del combustible, es decir si la tecnología incorporada en los vehículos cumple con los límites máximos permitidos de igual manera el combustible debe ser de mejor calidad, ya que si se tiene una tecnología EURO III requiere combustibles con un contenido máximo de 350 ppm de azufre en diésel y 150 ppm en gasolina, tecnología EURO IV requiere de combustibles de 30 ppm de azufre y tecnología EURO VI requiere combustibles con contenido de azufre inferiores a 10 ppm no valdría si el combustible es de mala calidad, combustibles no disponibles en el Ecuador (MDMQ, 2017).

En otras palabras, al reducir el contenido de azufre en la gasolina reduce la contaminación del aire (atmósfera) y disminuye las afectaciones en las tecnologías de control de emisiones en los automóviles (EPA, 2023).

Cabe resaltar que en el casco céntrico de la ciudad no cuenta con fábricas siendo la congestión vehicular un factor de la contaminación del aire, las principales categorías vehiculares que aportaron grandes cantidades de CO a la atmósfera en la zona céntrico de la ciudad de Loja fueron los automóviles de pasajeros (autos y taxis) y camiones de pasajeros (jeep y camioneta), en cambio la categoría vehicular que más emisiones aportó de NOx fue el autobús de tránsito (autobús urbano). En primer lugar, el área C emite un total de 1 917 893 gramos CO al año y 597 870 gramos NOx al año, seguido del área A emite un total de 1 849 455 gramos CO al año y 556 625 gramos NOx al año, el área B emite un total de 1 775 360 gramos CO al año y 506 620 gramos NOx al año, los demás contaminantes SO₂, THC, COV, PM₁₀, PM_{2,5} y NH₃ no emiten más de 100 000 gramos al año en cada área, las bajas aportaciones del transporte pesado es por su baja presencia en las calles céntricas.

En relación a lo antes mencionado el mes que presentó mayores emisiones de CO fue el mes de febrero con un total de 1 989 615 gramos al año, seguido del mes de enero con 1 805 108 gramos CO al año y diciembre con 1 747 985 gramos CO al año, así mismo para el NOx en el mes de febrero aportó con 602 615 gramos al año, el mes de diciembre con 546 770 gramos de NOx al año y mes de enero con 511 730 gramos de NOx al año. Para el resto de contaminantes como SO₂, THC, COV, PM₁₀, PM_{2,5} y NH₃ presentan una elevación en el mes de febrero, seguido del mes de enero y diciembre.

Al contrastar las emisiones obtenidas con otros estudios desarrollados en otras ciudades del país manipulando el software MOVES con las variables similares a las empleadas en el presente estudio, se evidencia que en la ciudad de santo domingo el transporte público emite en

total 56,32 toneladas al año (CO, NO_x, GOT y COVs), el CO emitido con mayor cantidad por el transporte público con 43,64 ton/año (taxis 39 098 745 g/año, buses 4 542 576 g/año), seguido por los NO_x con 4,24 ton/año (taxis 2 681 948 g/año, buses 1 563 135 g/año), los COVs con 3,87 ton/año (taxis 3 690 103 g/año, buses 188 035 g/año), los taxis contribuyen con un 62,2 % del total de todos los contaminantes debido a que la flota de taxis (2611 unidades) es mayor a los buses (342 unidades) (Castro, 2016).

Por el contrario Gómez (2016), determinó las emisiones vehiculares del parque automotor que transita en la Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo utilizando el software MOVES, estimó que los vehículos emitieron 1 864 753 g/año CO, g/año de COVs, 245 108 g/año NO_x, 5 550 g/año PM₁₀, 5 051 g/año PM_{2,5} y 6 370 g/año SO₂, de las categorías vehiculares las camionetas y jeeps contribuyen con un 57,6 % del total de emisiones, autos particulares y taxis con 28,5 %, buses urbanos con 6,3 %, motocicletas con 4,9 % por último los furgones y busetas con 2,7 %. Además, menciona que dependiendo del combustible se generan más contaminantes como el diésel emite más cantidad de NO_x y PM₁₀ y la gasolina emite más CO.

Finalmente, al comparar las concentraciones obtenidas con los límites máximos establecidos por el Acuerdo Ministerial N°097A del Ecuador, se comprobó que las concentraciones de los contaminantes criterio no sobrepasan los niveles de alerta, alarma y emergencia para cada área durante los tres meses sin embargo, las concentraciones mensuales el único contaminante que sobrepasó las normas de la calidad del aire ambiente (NCAA) fue el SO₂ en el mes de diciembre del año 2021 y el mes de febrero año 2022, el resto de los contaminantes criterio se mantuvieron por debajo de lo establecido por la norma, por lo tanto, en la zona céntrica de la ciudad de Loja presentó problemas de contaminación del aire por la flota vehicular en los meses mencionados anteriormente, de igual manera al comparar las concentraciones obtenidos con las concentraciones de la legislación de la Unión Europea y los valores de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sigue siendo el SO₂ con una concentración superior a lo establecido.

Torres (2022), el SO₂ proveniente de la combustión de combustibles fósiles (derivados de petróleo, carbón), las principales afectaciones que provoca a la salud de las personas es irritación a la piel y a las membranas mucosas de los ojos, garganta y pulmones, en concentraciones altas puede causar inflamación e irritación del sistema respiratorio, además puede causar cambios en la calidad del suelo y agua por la deposición ácida, como también

efectos adversos en los ecosistemas. Agregando a lo anterior el CO no sobrepasa los límites máximos establecidos por la normativa ecuatoriana cabe mencionar lo siguiente el monóxido de carbono (CO) el gas contaminante que más abunda en la atmósfera de las ciudades emitido con mayor frecuencia por los automotores, el problema que puede causar este gas a los seres humanos es que se mezcla con la hemoglobina que tenemos en la sangre dificultando la respiración disminuyendo la capacidad de oxigenación que tienen las células. Al inhalar una cantidad importante de CO provoca vértigo, temblores y fuertes dolores de cabeza, en organismo poco resistentes conlleva la muerte (Varcárcel, 2014).

8. Conclusiones

- En este trabajo se estimó la contaminación del aire por las emisiones de fuentes móviles que transitan en la zona céntrica de la ciudad de Loja mediante el uso del software MOVES. Dicho de otro modo, si es posible emplear una metodología indirecta para determinar las concentraciones de los contaminantes emitidos por los automotores, por lo tanto, sería una alternativa frente a la implementación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire el cual requiere de inversiones económicas para su instalación y mantenimiento de los equipos de monitoreo.
- El presente estudio se enfocó en la zona céntrica de la ciudad de Loja delimitando las categorías vehiculares de la flota vehicular, por el cual sería prudente trasladar esta investigación a otras zonas de la ciudad con el propósito de realizar un contraste de resultados, además para futuras investigaciones se desarrolle en diferentes ciudades del país debido a la diferencia de la composición de la flota vehicular y condiciones geográficas lo que significa que para cada ciudad la cantidad de emisiones vehiculares va ser diferentes.
- Podemos concluir que mediante la implementación del programa MOVES se provee de resultados pertinentes de las emisiones de fuentes móviles, debido a que el software define una serie de variables como categorías vehiculares, tipos de contaminantes, distribución por edad, meteorología, tipos de carretera entre otros que describe la flota vehicular y la zona de estudio.
- Se concluye que al implementar el modelo MOVES (Simulador de Emisiones de Vehículos Motorizados) en la ciudad de Loja se genera una nueva herramienta en la gestión de la calidad del aire. El cual servirá para ayudar a las autoridades competentes a la toma de decisiones referente a la contaminación del aire y para prevenir posibles afectaciones a la salud de las personas de acuerdo a los resultados obtenidos con el modelo.
- Para concluir se evidencia la alta representatividad de las categorías vehiculares: automóviles de pasajeros (autos, taxis) y camión de pasajeros (jeep, camionetas) en el aporte de emisiones de monóxido de carbono y el autobús de tránsito (bus urbano) en las emisiones del óxido de nitrógeno. Al compararlos con la normativa ecuatoriana de la calidad del aire no sobrepasan los límites por lo tanto en la ciudad de Loja no presenta problemas de contaminación del aire.

- Por consiguiente, se realizó la cuantificación manual de vehículos en cada intersección, clasificándolos por categoría (autos, taxi, camionetas, buses etc.) que circulan en la zona céntrica de la ciudad, el cual se establecieron setenta y dos puntos de muestreo, en el software ArcMap10.5 se representó en mapas los datos obtenidos permitiendo visualizar la afluencia del tráfico y concentración de los contaminantes en la zona de estudio.

9. Recomendaciones

- Se recomienda un mayor control por parte de los agentes de regulación de tránsito de la ciudad de Loja durante las “horas pico” y sancionen a los conductores que se estacionan en espacios no adecuados impidiendo la circulación de los vehículos y la inspección vehicular por parte de la institución encargada para que los vehículos estén en óptimas condiciones, ya que se observó dicho comportamiento en las calles y un gran número de vehículos generando smog a la atmósfera de la ciudad de Loja.
- Se recomienda realizar una caracterización tecnológica de la flota vehicular de la ciudad de Loja, con el fin de identificar qué tipo de tecnología poseen los vehículos para el control de las emisiones provenientes del tubo de escape e implementar programas de inspección y mantenimiento de los vehículos, para determinar qué contaminante se emite con mayor frecuencia y establecer límites de contaminación.
- Se sugiere que al elaborar la hoja de Excel se utilice la información de la ciudad ya que, si se emplea información de otros estudios o desactualizados se agrega incertidumbre a los resultados finales, por lo que la calidad de los resultados se puede mejorar si la información es actualizada.
- Se sugiere realizar aforos vehiculares a futuro con el fin de determinar la carga vehicular en la ciudad por lo que el estudio se realizó en el periodo de 2020 y 2021 donde se presentó emergencia sanitaria por la enfermedad infecciosa COVID-19 en consecuencias se redujo la circulación de vehículos en la ciudad.

10. Bibliografía

- AEADE. (2021). Anuario de la asociación de empresas automotrices del Ecuador. AEADE. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>
- Alonso, H. (2 de junio de 2021). Parque automotor, con 12 años de antigüedad en promedio. Cómo es en otros países. Ambito. <https://www.ambito.com/informacion-general/autos/parque-automotor-12-anos-antiguedad-promedio-como-es-otros-paises-n5197433>
- Betancourt, D., & Muñoz, V. (2016). Diseño de una ciclovía en la ciudad de Loja. (Tesis de grado, Facultad para la Ciudad, el Paisaje y la Arquitectura, Universidad Internacional del Ecuador). Repositorio Institucional UIDE. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1063>
- Caballero, J., & Valencia, D. (2018). Estudio del material particulado de tamaño menor a 10 micras (Pm10) en el aire ambiente de la zona aledaña a la Universidad Libre – Sede Candelaria. (Tesis de grado, Facultad Ingeniería, Arquitectura, Urbanismo y Afines, Universidad Libre Bogotá). Repositorio Institucional Unilibre. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/15882>
- Cantos, J., & Toledo, J. (2015). Análisis del impacto económico generado por los niveles de servicio de las vialidades en el centro histórico de la ciudad de Cuenca. (Tesis de grado, Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador). Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7909>
- Castro, C. (2016). Estimación emisiones vehiculares en Santo Domingo 2015. (tesis de grado, facultad ciencias de la ingeniería e industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, Ecuador). Repositorio digital UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20151>
- Castro, P., & Escobar, L. (2006). Estimación de las emisiones contaminantes por fuentes móviles a nivel nacional y formulación de lineamientos técnicos para el ajuste de las normas de emisión. (tesis de grado, facultad de ingeniería ambiental y sanitaria, universidad de la salle, Bogotá). Repositorio institucional de la universidad la salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/301/

- DGCA. (2017). Evaluación de la reducción de las emisiones vehiculares por el Programa Estatal de Verificación Vehicular en el Municipio de León, Gto., utilizando el modelo MOVES. DGCA. <https://app.ecologiagto.mx/servicios/archivob.php?id=131>
- Díaz, J., & Castillo, J. (2021). Estimación del indicador kilómetro vehículo recorrido (KVR) mediante ecuaciones lineales y sus aplicaciones en consumos energéticos de transporte. *Scielo*, 32(6), 239–254. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600239>
- Díaz, S. (2014). Informe de la calidad del aire de Quito, secretaría del ambiente (*No. ICA 2013-1*). MDMQ. <https://aqicn.org/images/aqi-scales/Quito-ICA-2013.pdf>
- Durandal, L., & Luján, M. (2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Scielo*, 8 (3), 322–353. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100005
- EMISIA SA. (2022). The industry standard emissions calculator (Copert). EMISIA SA. <https://www.emisia.com/utilities/copert/>
- EPA. (2012). Motor vehicle emission simulator (MOVES): User Guide Version, MOVES2010b (EPA-420-B-12-001b). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100EP28.pdf>
- EPA. (2014). Motor vehicle emission simulator (MOVES), User Guide for MOVES2014 (EPA-420-B-14-055). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100JWAL.pdf>
- EPA. (2016). Using MOVES for estimating state and local inventories of onroad greenhouse gas emissions and energy consumption (EPA-420-B-16-059). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P100OW0B.pdf>
- EPA. (2023). Gasoline sulfur (Gasoline Standards). U.S. Environmental Protection Agency (EPA). <https://www.epa.gov/gasoline-standards/gasoline-sulfur>
- Fenosa Fundación Gas Natural, & Querol, X. (2018). La calidad del aire en las ciudades : un reto mundial. Fundación Gas Natural Fenosa. <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

- Fueleconomy. (2010). Adónde va la energía: vehículos de gasolina. Fueleconomy.gov. Recuperado el 30 de mayo de 2023. <https://www.fueleconomy.gov/feg/esatv.shtml>
- García, P. (31 de octubre de 2018). Norma EURO 1 a la EURO 6. TECNOLOGÍA DEL AUTOMÓVIL. <https://www.tecnologia-automovil.com/articulos/nuevas-tecnologias/euro-1-a-euro-6/>
- Goel, U., Sathyan, S., Siddiqui, N., & Sachan, P. (2018). vehicular pollution, their effect on human health and mitigation measures. *Semantic Scholar*, 6, 73–79. <https://www.semanticscholar.org/paper/Vehicular-Pollution%2C-Their-Effect-on-Human-Health-Goel-Sathyan/72b2cf31f547efaa283aa7f210ac3101d2ccac8c#citing-papers>
- Gómez, C., Mendoza, J., López, M., Téllez, R., Martínez, W., & Alonso, E. (2009). Propuesta metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades de la República Mexicana (No. 322). Secretaria de comunicaciones y transportes. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt322.pdf>
- Gómez, H. (2016). Estimación de las emisiones vehiculares del parque automotor que transita en la Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, año 2015 (tesis de grado, facultad ciencias de la ingeniería e industrias, universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, Ecuador). Repositorio digital UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20145>
- Greenpeace. (2019). Aceleradores del cambio climático, las marcas de coche más contaminantes. Greenpeace. <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/informes/informe-aceleradores-del-cambio-climatico-resumen-ejecutivo-en-castellano/>
- Guamán, J. (2012). ETRANLOJA: estudio y análisis de soluciones al congestionamiento vehicular en el centro histórico de la ciudad de Loja (tesis de grado, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad Particular de Loja). Repositorio institucional UTPL. <http://dspace.utpl.edu.ec/jspui/handle/123456789/4021>
- Habermann, M., Medeiros, A. P. P., & Gouveia, N. (2011). Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 14(1), 120–130. <https://doi.org/10.1590/S1415-790X2011000100011>

- ICC. (28 de septiembre de 2011). Manual de operadores de transporte públicos. Issuu. https://issuu.com/iccautoescuela/docs/operadores_de_camiones
- IIGE. (2021). Balance Energético Nacional 2020. Ministerio de energía y recursos naturales no renovables (MERNNR). <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/5900-2/>
- INEC. (2021). Anuario de estadísticas de transporte 2020. INEC. https://www.Ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica de Transporte/2020/2020_ANET_PPT.pdf
- INEC. (2022). Módulo de información ambiental en hogares. INEC. <https://www.Ecuadorencifras.gob.ec/hogares/>
- INECC. (2014). Elaboración del inventario nacional de emisiones de fuentes móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo motor vehicle emission simulator (MOVES) (No. 5000). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/197011/2014_CGCSA_Inventario_de_emisiones_usando_MOVES_parte_1.pdf
- INER. (2017). Estudio de optimización energética de cadenas logísticas de transporte de carga pesada en el Ecuador. ISBN: 978-9942-8620-5-1 (impreso), 978-9942-8620-6-8 (digital). INER. http://onix.geoenergia.gob.ec/documentos/Libro_Transporte.pdf
- International, R. (1997). Manuales del programa de inventarios de emisiones de México (DCN 96-670-017-04). http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/emissions/inventario_vol6.pdf
- Llanes, E., Rocha, J., Peralta, D., & Leguísamo, J. (2018). Evaluación de emisiones de gases en un vehículo liviano a gasolina en condiciones de altura. Caso de estudio Quito, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 149–158. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.201>
- Loaiza, Y. (7 de febrero de 2023). El aire contaminado que respiramos en el Ecuador. GK. <https://gk.city/2019/09/16/aire-contaminado-Ecuador-ciudades/>
- MDMQ. (2017). Informe comisión de ambiente ordenanza Quito (No. IC-O-2017-206). MDMQ. https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Proyectos Ordenanzas/341/IC-O-2017-206.PDF

- MINAM. (2017). Estándares de calidad ambiental, ECA Perú (003-2017). MINAM. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-calidad-ambiental>
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos de normativa, reforma libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente (N° 387). MAE. <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-Anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>
- MMA. (2016). Guía de la calidad del aire y educación ambiental. ministerio del medio ambiente (MMA). <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Guia-para-Docentes-Sobre-Calidad-del-Aire.pdf>
- Nicole, D., Kebin, H., Lents, J., Huan, L., Osses, M., Tolvett, S., & Walsh, M. (2017). Handbook of air quality management. <http://www.aqbook.org/>
- OMS. (19 de diciembre de 2022). Contaminación del aire ambiente (exterior). Organización Mundial de la Salud (OMS). [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Orozco, M. (21 de abril de 2022). ¿Qué calidad tienen las gasolinas en Ecuador y cómo se mide?. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/calidad-gasolinas-super-extra-Ecuador-azufre/>
- PDOT. (2019). El Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Loja 2015 - 2025. Prefectura de Loja. <https://prefectura Loja.gob.ec/documentos/lotaip/2019/PDOT-2019.pdf>
- Pesantes, V., Ortega, C., Rubio, J., & Reyes, G. (2021). Análisis de las normativas locales e internacionales en control de emisiones contaminantes en el DMQ. Dominio de Las Ciencias, 7 (5), 971–992. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8383822>
- PetroEcuador. (18 de marzo de 2022). EP PetroEcuador despacha combustibles con menos contenido de azufre de lo que establece la normativa ecuatoriana. Ep PetroEcuador. <https://www.eppetroEcuador.ec/?p=12484>
- PETROENERGÍA. (07 de marzo de 2022). PetroEcuador produce combustibles con estándares de calidad de acuerdo a normas ecuatorianas inen. PETROENERGÍA. <https://www.petroenergia.info/post/petroEcuador-produce-combustibles-con-estándares-de-calidad-de-acuerdo-a-normas-ecuatorianas-inen>

- PNUMA, Municipio de Loja, & Naturaleza y Cultura Internacional. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO-Loja* (ISBN 978-9942-01-460-3). https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9269/-Perspectivas_del_Medio_Ambiente_Urbano_-_GEO_Loja-2008GEO_Loja_2008_1.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Puentes, M., & Valdés, C. (2022). Implementación del modelo de emisiones vehiculares MOVES en las ciudades de Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta como herramienta para la gestión de calidad del aire. (tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Bogotá). Repositorio Institucional de la Universidad la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/2000/?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F2000&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- RACE. (27 de marzo de 2018). Los peligros de un parque automovilístico antiguo. <https://www.race.es/peligros-parque-automovilistico-antiguo>
- Rahimi, F. (2020). Study of the effect of fuel consumption and geographic conditions on tehran's air pollution. *Journal of Air Pollution and Health*, 5 (1), 71–88. <https://japh.tums.ac.ir/index.php/japh/article/view/230>
- Revelo, R., & Recalde, M. (2015). Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240. (tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador). Repositorio Digital – EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11925>
- Román, R. (2020). Análisis de los parámetros controlados en la norma técnica ecuatoriana INEN 2207:2002 aplicada en la revisión técnica vehicular para automotores diésel en el distrito metropolitano de Quito. (tesis de maestría, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador). Repositorio Digital – EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21274>
- Sánchez, L., Fabela, M., Flores, O., Hernández, J., Vázquez, D., & Cruz, M. (2019). Revisión de la normativa internacional sobre límites de emisiones contaminantes de vehículos de carretera (No. 562). <https://trid.trb.org/view/1644910>
- Sánchez, S., Green, J., Orjuela, J., & Klakamp, J. (2013). metodologías para la estimación de

emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos. Clean Air Institute, Washington, DC, EE.UU. https://nanopdf.com/download/metodologias-para-la-estimacion-de-emisiones_pdf

SEMARNAT. (2009). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. Instituto Nacional de Ecología. https://books.google.co.cr/books?id=8B9IdJhkvjoC&printsec=frontcover&output=html_text&source=gbs_ge_summary_r&cad=0

Torres, N. (2019). Análisis de la reducción de emisiones por el cambio a buses eléctricos mediante software moves en Santo Domingo. (tesis de grado, Facultad De Ciencias De La Ingeniería e Industrias, Universidad Tecnológica Equinoccial Sede Santo Domingo, Ecuador). Repositorio digital UTE. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20119>

Torres, R. (2022). Emisiones de dióxido de azufre (SO₂): Normas Internacionales. Asesoría Técnica Parlamentaria (ATP). https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33431/1/Normas_Internacionales_para_las_Emisiones_de_Dioxido_de_Azufre.pdf

Trejos, E. (2021). Estimación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles en ruta aplicando la metodología COPERT y determinación de las emisiones de material particulado resuspendido con información local (Manizales – año base 2017). (tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia). Repositorio institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80448>

Trujillo, E. (2019). Evaluación de las emisiones de gases de escape de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel, biodiésel supercrítico y óxido de cerio. (tesis grado, Facultad De Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito). Repositorio digital EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20174>

US EPA. (2021). Description and history of the MOBILE highway vehicle emission factor model. Recuperado el 26 de mayo de 2023. <https://www.epa.gov/moves/description-and-history-mobile-highway-vehicle-emission-factor-model>

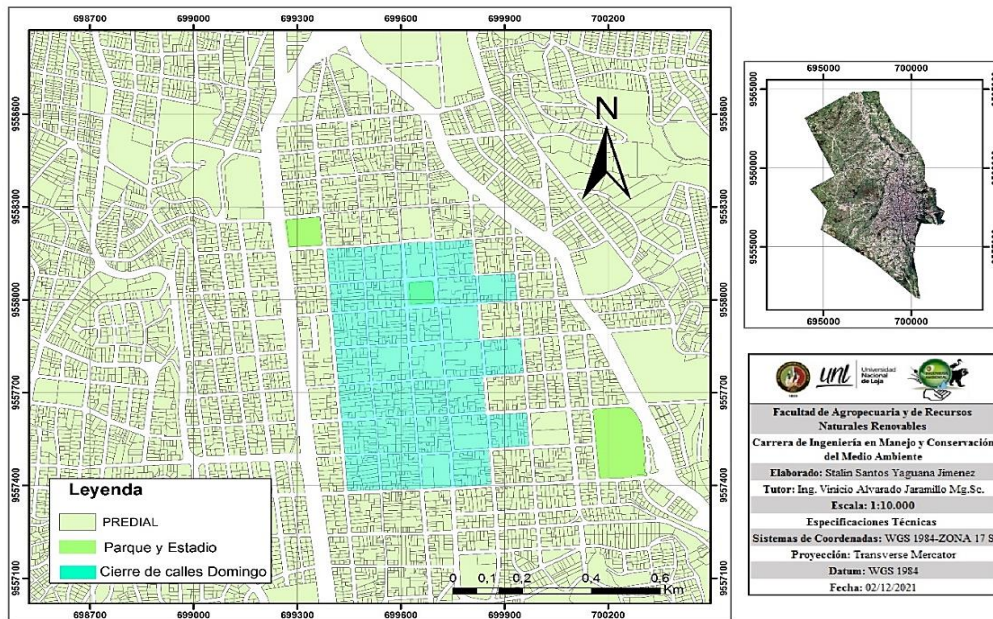
Validación y Certificación INEN. (6 de abril de 2017). Control de emisiones contaminantes de fuentes móviles terrestres. Blogspot. <http://ininvalidacionycertificacion.blogspot.com/2017/04/control-de-emisiones->

contaminantes-de.html

- Varcárcel, J. (2014). El impacto medioambiental del tráfico. DGT. https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/educacion-vial/adultos/no-formal/impacto.pdf
- Vintimilla, J. (16 de julio de 2019). Seis de cada 10 autos que circulan en Ecuador ruedan en Pichincha y Guayas. Premicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/Ecuador-parque-automotor-mas-autos-pichincha-guayas/>
- Vivanco, S. (2015). Emisión de dióxido de carbono de vehículos automotores en la ciudad de Loja.(tesis de grado, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional de Loja). Repositorio institucional-UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/10317>
- Zambrano, C., Ullauri, S., & Padilla, P. (2010). La preparación del plan nacional de calidad del aire contó con el soporte financiero de la agencia suiza para el desarrollo y la cooperación, COSUDE y del Ministerio del Ambiente MAE, con el apoyo de la Ministra del Ambiente Abogada Marcela Aguiñaga. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

11. Anexo

Anexo 1. Mapa de restricción vehicular día domingo ciudad de Loja



Fuente: elaborado por el autor

Anexo 2. Encuesta aplicada a los conductores de los vehículos en la ciudad de Loja

Universidad Nacional De Loja
Facultad Agropecuaria Y De Recursos Naturales Renovables
Carrera De Ingeniería En Manejo Y Conservación Del Medio Ambiente
“Encuesta Para El Estudio De Estimación De Emisiones Atmosféricas De Fuentes Móviles”

Fecha..... Nombre del encuestado..... N ° de encuesta...

INFORMACIÓN BÁSICA

1. Lugar de la encuesta.

- Estacionamiento
- Gasolinera
- Parada de taxis
- Parada de camionetas
- Hogar o Lugar de Trabajo

2. ¿Cuál es el motivo de circulación por el centro de la ciudad? (Señale una o varias opciones)

- Ir al lugar de Trabajo
- Ir escuela o colegio
- Ir de compras
- Realizar trámites
- Trabajo (Propietario de Taxi, Buseta, Bus, etc.)

3. ¿Con que frecuencia transita?

	1 ves por semana	3 veces a la semana	1 vez al mes	Todos los días	eventual
Dentro de la ciudad					
Fuera de la ciudad					
Fuera de la provincia					

DATOS DE ACTIVIDAD

4. Señale la categoría vehicular a la que corresponde su vehículo.

- AUTO
- TAXI
- CAMIONETA
- CAMIONETA DE CARGA
- BUSETA
- CAMIÓN LIVIANO
- CAMIÓN PESADO
- BUS
- MOTOCICLETA

Características del vehículo

5. Marca/Modelo Vehículo (Ejm: Chevrolet/Grand Vitara, Hyundai/Accent, etc.)

6. Año de fabricación

7. Cilindraje (Ejm: 1200, 1600, etc)

8. Tipo de placa

- VHO. Privado
- VHO. GADs
- VHO. Comerciales
- VHO. Gubernamentales

9. ¿Cuántas veces al día enciende su vehículo?

- 1 vez 2 veces 3 veces 4 veces 5 veces mas 5 veces

10. ¿Tiene aire acondicionado?

- SI NO

11. Frecuencia de uso de aire acondicionado

- SIEMPRE REGULAR EN OCASIONES NUNCA

12. ¿Tecnología del vehículo?

- Carburador Inyección

13. ¿Cuál es el kilometraje acumulado? (lectura del odómetro)

14. Kilómetros recorridos diariamente por el centro de la ciudad: (Ejm: Son 2 km si recorre desde la Mercadillo, gira por la Bernardo hasta la Imbabura y sube nuevamente por la Bolívar hasta la Mercadillo)

- 1 – 2 km 2 – 4 km 4 – 6 km 6 – 8 km más de 8 km

15. Velocidad promedio de circulación en el centro de la ciudad

- 1 – 10 km/h 11 – 20 km/h 21 – 30 km/h 31 – 40 km/h 40 – 50 km/h

16. ¿Cuánto dinero gasta en el consumo de combustible en el día?

- 0 – 5\$ 5 – 10\$ 10 – 20\$ 20 - 30\$ 30 – 40\$ más de 50\$

17. ¿Cuánto dinero gasta en el consumo de combustible a la semana (galones)?

- 5 – 10\$ 15 – 25\$ 25 – 35\$ 35 - 45\$ 45 – 55\$ más de 60\$

18. ¿Cantidad de combustible consumidos al día (Galones)?

- 0 – 5 5 – 10 10 – 20 20 - 30 más de 30 Desconoce

19. ¿Cantidad de combustible consumidos a la semana (Galones)?

- 1 – 5 6 – 10 11 – 20 21 – 30 30 – 40 más de 40 Desconoce

20. ¿Tipo de combustible utiliza?

- G. Extra
- G. Súper
- G. Eco-país
- Diésel
- Otros

Fuente: elaborado por el autor

Anexo 3. Tabla comparación de las principales características de los modelos de emisión

		MODELO		
		MOVES	IVE	COPERT
Alcance geográfico	Municipio	X	X	X
	Departamento o estatal	X	X	X
	Nacional	X	X	X
Tipos de fuentes	En Ruta	X	X	X
	Fuera de ruta	X		X
Tipos de emisiones	En caliente, frío y evaporativas	X	X	X
	De polvo Resuspendido y/0 desgaste de frenos y neumáticos	X		X
Contaminantes	Criterio (CO, NOx, PM10, SO2)	X	X	X
	Hidrocarburos (CO2, CH4, N2O)	X	X	X
	Efecto invernadero (COV, COVNM)	X	X	X
	Metales (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Zn)		X	X
	Otros (e)		X	X
Número de categorías vehiculares		13	7	6
Número de variables de entrada		13	9	9
Tipos de combustible	Gasolina	X	X	X
	diésel	X	X	X
	GNV	X	X	X
	GLP		X	X
	Etanol	X	X	X
	Metanol			X
	H ₂			X
	Híbrido-electricidad	X		X
Balance de energía		X		X
Especificaciones tecnológicas	Estados unidos	X	X	
	Europa		X	X
Variable elemental	Aceleración	X	X	
	velocidad	X		X
Año de actualización		2018	2008	2020

Nota: (e) MOVES: NH₃, C₆H₆, naftaleno, formaldehído, IVE: NH₃, C₆H₆, 1,3-Butadieno, acetaldehído, formaldehído, COPERT: NH₃, MO, especiación.

Fuente: (Trejos, 2021)

Anexo 4. Topografía de la ciudad de Loja



Fuente: elaborado por el autor

Anexo 5. Comparación de los principales parámetros de entrada de los modelos de emisión

PARÁMETROS	MODELO		
	MOVES	IVE	COPERT
Años base calendario y mes	X		X
Altitud de la zona de estudio	X	X	
Temperatura ambiental	X	X	X
Humedad relativa		X	X
Consumo de combustible	X		X
Características del combustible	X	X	X
Número de categorías vehiculares	13	7	5
Distribución de la flota vehicular por clase y tecnología	X	X	X
Crecimiento promedio de la flota vehicular del año base al año de análisis	X		
Kilómetros recorridos por tipo de vehículo y de vía	X	X	X
Distribución de kilómetros recorridos por tecnología vehicular y hora del día	X		X
Velocidad promedio por tipo de vehículo y de vía	X		X
Distribución de velocidad promedio por hora y tipo de vía	X	X	
Número de arranques por tipo de vehículo	X	X	
Tiempo de reposo del vehículo	X		
Distribución de la longitud promedio de los viajes			X
Distribución del programa de inspección y mantenimiento	X	X	
Uso aire acondicionado		X	X

Fuente: (Trejos, 2021)

Anexo 6. Archivos entrada en el software MOVES

Tipo de fuente población (Source type Population)

yearID	sourceTypeID	sourceTypePopulation
2021	21	3445
2021	31	2731
2021	42	114
2021	52	159

Distribución por tipo de carretera (Road type distribution)

sourceTypeID	roadTypeID	roadTypeVMTFraction
21	2	0
21	3	0
21	4	0
21	5	1
31	2	0
31	3	0
31	4	0
31	5	1
42	2	0
42	3	0
42	4	0
42	5	1
52	2	0
52	3	0
52	4	0
52	5	1

Distribución por edad (Age distribution)

sourceTypeID	yearID	ageID	ageFraction
21	2021	0	0,047604
21	2021	1	0,056833
21	2021	2	0,096988
21	2021	3	0,075939
21	2021	4	0,034003
21	2021	5	0,033031
21	2021	6	0,065415
21	2021	7	0,057157
21	2021	8	0,067196
21	2021	9	0,080797
21	2021	10	0,103951
21	2021	11	0,06169
21	2021	12	0,052461
21	2021	13	0,030602
21	2021	14	0,022021
21	2021	15	0,025745

sourceTypeID	yearID	ageID	ageFraction
21	2021	16	0,018297
21	2021	17	0,010848
21	2021	18	0,011334
21	2021	19	0,010848
21	2021	20	0,006315
21	2021	21	0,000972
21	2021	22	0,001133
21	2021	23	0,004534
21	2021	24	0,001619
21	2021	25	0,001295
21	2021	26	0,002105
21	2021	27	0,003886
21	2021	28	0,001781
21	2021	29	0,002105
21	2021	30	0,011496

Meteorología (neteorology data)

monthID	zoneID	hourID	temperature	relHumidity
12	1	1	69,31	80,29
12	1	2	69,31	80,29
12	1	3	69,31	80,29
12	1	4	69,31	80,29
12	1	5	69,31	80,29
12	1	6	69,31	80,29
12	1	7	69,31	80,29
12	1	8	69,31	80,29
12	1	9	69,31	80,29
12	1	10	69,31	80,29
12	1	11	69,31	80,29
12	1	12	69,31	80,29
12	1	13	69,31	80,29
12	1	14	69,31	80,29
12	1	15	69,31	80,29
12	1	16	69,31	80,29
12	1	17	69,31	80,29
12	1	18	69,31	80,29
12	1	19	69,31	80,29
12	1	20	69,31	80,29
12	1	21	69,31	80,29
12	1	22	69,31	80,29
12	1	23	69,31	80,29
12	1	24	69,31	80,29

Millas recorridas (VMT) por tipo de vehículo (vehicle type VMT)

Tabla HPMSVtypeDay

sourceTypeID	roadTypeID	dayID	hourID	hourVMTFraction
21	5	5	1	0,0033
21	5	5	2	0,0067
21	5	5	3	0,0100
21	5	5	4	0,0133
21	5	5	5	0,0167
21	5	5	6	0,0200
21	5	5	7	0,0233
21	5	5	8	0,0267
21	5	5	9	0,0300
21	5	5	10	0,0333
21	5	5	11	0,0367
21	5	5	12	0,0400
21	5	5	13	0,0433
21	5	5	14	0,0467
21	5	5	15	0,0500
21	5	5	16	0,0533
21	5	5	17	0,0567
21	5	5	18	0,0600
21	5	5	19	0,0633
21	5	5	20	0,0667
21	5	5	21	0,0700
21	5	5	22	0,0733
21	5	5	23	0,0767
21	5	5	24	0,0800

Distribución de velocidad promedio (Average Speed Distribution)

sourceTypeID	roadTypeID	hourDayID	avgSpeedBinID	avgSpeedFraction
21	5	15	1	0
21	5	15	2	0,013699
21	5	15	3	0,013699
21	5	15	4	0,013699
21	5	15	5	0,027397
21	5	15	6	0,150685
21	5	15	7	0,39726
21	5	15	8	0,232877
21	5	15	9	0,09589
21	5	15	10	0,041096
21	5	15	11	0,013699
21	5	15	12	0
21	5	15	13	0
21	5	15	14	0
21	5	15	15	0
21	5	15	16	0
21	5	25	1	0

sourceTypeID	roadTypeID	hourDayID	avgSpeedBinID	avgSpeedFraction
21	5	25	2	0,013699
21	5	25	3	0,013699
21	5	25	4	0,013699
21	5	25	5	0,027397
21	5	25	6	0,150685
21	5	25	7	0,39726
21	5	25	8	0,232877
21	5	25	9	0,09589
21	5	25	10	0,041096
21	5	25	11	0,013699
21	5	25	12	0
21	5	25	13	0
21	5	25	14	0
21	5	25	15	0
21	5	25	16	0

Combustibles (fuel)

Tabla fuelusagefraction

countyID	fuelYearID	modelYearGroupID	sourceBinFuelTypeID	fuelSupplyFuelTypeID	usageFraction
99001	2021	0	1	1	1
99001	2021	0	1	2	0
99001	2021	0	2	1	0
99001	2021	0	2	2	1

Tabla fuelSupply

fuelRegionID	fuelYearID	monthGroupID	fuelFormulationID	marketShare	marketShareCV
100000000	2021	12	9420	0,78	0
100000000	2021	12	9421	0,22	0
100000000	2021	12	25005	1	0

Tabla fuelformulation

fuelFormulationID	fuelSubtypeID	RVP	sulfurLevel	ETOHVolume	MTBEVolume	ETBEVolume	TAMEVolume	aromaticContent	olefinContent	benzeneContent	e200	e300	bioDieselEsterVolume	cetaneIndex	PAHContent	T50	T90
9420	14	8,7	650	5	0	0	0	30	18	1	41	83	0	0	0	121	189
9421	10	8,7	650	0	0	0	0	30	18	1	41	83	0	0	0	121	189
25005	20	0	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0

Tabla AVFT

sourceTypeID	modelYearID	fuelTypeID	engTechID	fuelEngFraction
21	1991	1	1	0,901408
21	1991	2	1	0,098592
21	1991	5	1	0
21	1991	9	30	0
21	1992	1	1	0,769231
21	1992	2	1	0,230769
21	1992	5	1	0
21	1992	9	30	0
21	1993	1	1	0,818182
21	1993	2	1	0,181818
21	1993	5	1	0
21	1993	9	30	0
21	1994	1	1	0,958333
21	1994	2	1	0,041667
21	1994	5	1	0
21	1994	9	30	0
21	1995	1	1	0,923077
21	1995	2	1	0,076923
21	1995	5	1	0
21	1995	9	30	0

Anexo 7. Carga vehicular en la zona céntrica mes diciembre, enero y febrero (2021-2022)

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad Loja en el mes de diciembre 2021

Sector	Tiempo	Vehículos Livianos			Vehículos Pesados					Vhi. Ext. Pesados		Motos	otros	
		Autos	Taxis	Camioneta	Buses			Camión		Camiones				
					Buseta	Livianos	Pesados	Liviano	Pesado	3-4ejes				
A	07 h 08	3077	1506	295	57	65		17	27			277	8	5329
A	12 h 13	4258	1580	502	84	64	1	44	24	4		364	9	6934
A	18 h 19	4040	1361	414	47	58		27	19	11		292	4	6273
B	07 h 08	3448	1718	593	84	46		88	24			237	1	6239
B	12 h 13	6011	2024	1050	134	51	1	104	51	2		396		9824
B	18 h 19	5536	1845	847	92	41		100	31			351	1	8844
C	07 h 08	4412	2141	924	84	49	1	82	43	1		289	2	8028
C	12 h 13	7559	2629	1590	101	51		146	95	2		336		12509
C	18 h 19	7893	1725	1372	57	50	2	87	58	4		257		11505
	∑	46234	16529	7587	740	475	5	695	372	24		2799	25	75485

Fuente: elaborado por el autor

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad Loja en el mes de enero 2022

Sector	Tiempo	Vehículos Livianos			Vehículos Pesados					Vhi. Ext. Pesados		Motos	otros	
		Autos	Taxis	Camioneta	Buses			Camión		Camiones				
					Buseta	Livianos	Pesados	Liviano	Pesado	3-4ejes	5ejes			
A	07 h 08	4171	1867	801	93	63	4	80	32			211	5	7327
A	12 h 13	9718	2428	1072	118	61	1	85	48	8		297	5	13841
A	18 h 19	9302	2160	1042	105	66	5	94	42	16		254		13086
B	07 h 08	5213	2526	1041	143	56	1	97	59	5	2	316	8	9466
B	12 h 13	9296	4347	1948	250	57	0	207	120	1		557	3	16786
B	18 h 19	9884	3639	1609	162	53	11	104	66	6		522	3	16059
C	07 h 08	5514	2262	1046	121	53	1	77	76	10		213	1	9371
C	12 h 13	8719	2670	1359	189	49	2	145	95	4		316	4	13550
C	18 h 19	8873	2231	1318	83	49	2	80	58	3		270		12965
	∑	70689	24128	11235	1263	506	27	969	595	53	2	2956	29	112451

Fuente: elaborado por el autor

Carga vehicular en la zona céntrica de la ciudad Loja en el mes de febrero 2022

Sector	Tiempo	Vehículos Livianos			Vehículos Pesados					Vhi. Ext. Pesados		Motos	otros	
		Autos	Taxis	Camioneta	Buses			Camión		Camiones				
					Buseta	Livianos	Pesados	Liviano	Pesado	3-4ejes	5ejes			
A	07 h 08	5094	1957	676	117	64	4	69	15	1	3	182	4	8186
A	12 h 13	9630	2474	1304	133	56	8	102	77	7		356	5	14152
A	18 h 19	9138	2251	1214	113	63	5	106	32	6		270		13198
B	07 h 08	5577	2392	996	181	52	2	111	49	12		292	12	9676
B	12 h 13	11047	3963	1760	240	42	0	191	117	1		502	2	17865
B	18 h 19	10757	2967	1448	148	43	1	136	63	11		380	1	15955
C	07 h 08	6715	2478	1151	212	54	0	65	76	9		348	2	11110
C	12 h 13	9144	2753	1363	204	55	0	158	75	3		321	0	14076
C	18 h 19	9232	2635	1307	181	52	1	136	62			411	2	14019
	Σ	76334	23870	11219	1529	481	21	1074	566	50	3	3062	28	118237

Fuente: elaborado por el autor

Carga vehicular total en la zona céntrica de la ciudad de Loja

Meses	Vehículos Livianos			Vehículos Pesados					Vhi. Extra Pesados		Motos	otros	
	Autos	Taxis	Camioneta	Buses			Camión		Camiones				
				Buseta	Livianos	Pesados	Liviano	Pesado	3-4ejes	5ejes			
Dic. 2021	46234	16529	7587	740	475	5	695	372	24		2799	25	75485
Ene. 2022	70689	24128	11235	1263	506	27	969	595	53	2	2956	29	112451
Feb. 2022	76334	23870	11219	1529	481	21	1074	566	50	3	3062	28	118237
Σ	193257	64527	30041	3532	1462	53	2738	1533	127	5	8817	82	

Fuente: elaborado por el autor

Anexo 8. Kilómetros Recorridos (KRV) por clase vehicular en la ciudad de Loja

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año en autos ligeros gasolina

Autos	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	9,42
Rendimiento promedio	km/gal	40
Promedio consumo de combustible semanal	\$	26,42
Precio de la gasolina ponderada por galón	\$	2,58
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio de la gasolina ponderada por galón en \$)	galones	10,240
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	409,61
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	21300

Fuente: elaborado por el autor

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año en taxis gasolina

Taxis	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	2,84
Rendimiento promedio	km/gal	38
Promedio consumo de combustible semanal	\$	59,1
Precio de la gasolina ponderada por galón	\$	2,55
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio de la gasolina ponderada por galón en \$)	galones	23,176
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	880,71
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	45797

Fuente: elaborado por el autor

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año motocicletas gasolina

MOTOS	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	6,85
Rendimiento promedio	km/gal	30
Promedio consumo de combustible semanal	\$	12,5
Precio de la gasolina ponderada por galón	\$	2,55
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio de la gasolina ponderada por galón en \$)	galones	4,902
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	147,06
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	7647

Fuente: elaborado por el autor

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año camioneta gasolina

CAMIONETAS	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	14,9
Rendimiento promedio	km/gal	32
Promedio consumo de combustible semanal	\$	25,9
Precio de la gasolina ponderada por galón	\$	2,635
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio de la gasolina ponderada por galón en \$)	galones	9,828
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	314,48
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	16353

Fuente: elaborado por el autor

Tabla Calculo de kilómetros Recorridos por año camioneta a diésel

CAMIONETAS	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	17,9
Rendimiento promedio	km/gal	42
Promedio consumo de combustible semanal	\$	37,8
Precio del combustible diésel por galón	\$	1,90
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio del diésel por galón en \$)	galones	19,895
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	835,58
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	43450

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año buses diésel

BUSES	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	0
Rendimiento promedio	km/gal	30
Promedio consumo de combustible semanal	\$	60
Precio del combustible diésel por galón	\$	1,90
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio del diésel por galón en \$)	galones	31,6
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	947,4
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	49263

Fuente: Elaborado por el autor

Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año Camiones diésel

CAMIONES	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	13,7
Rendimiento promedio	km/gal	25
Promedio consumo de combustible semanal	\$	53,3
Precio del combustible diésel por galón	\$	1,90
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio del diésel por galón en \$)	galones	28,053
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	701,32
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	36468

Fuente: Elaborado por el autor

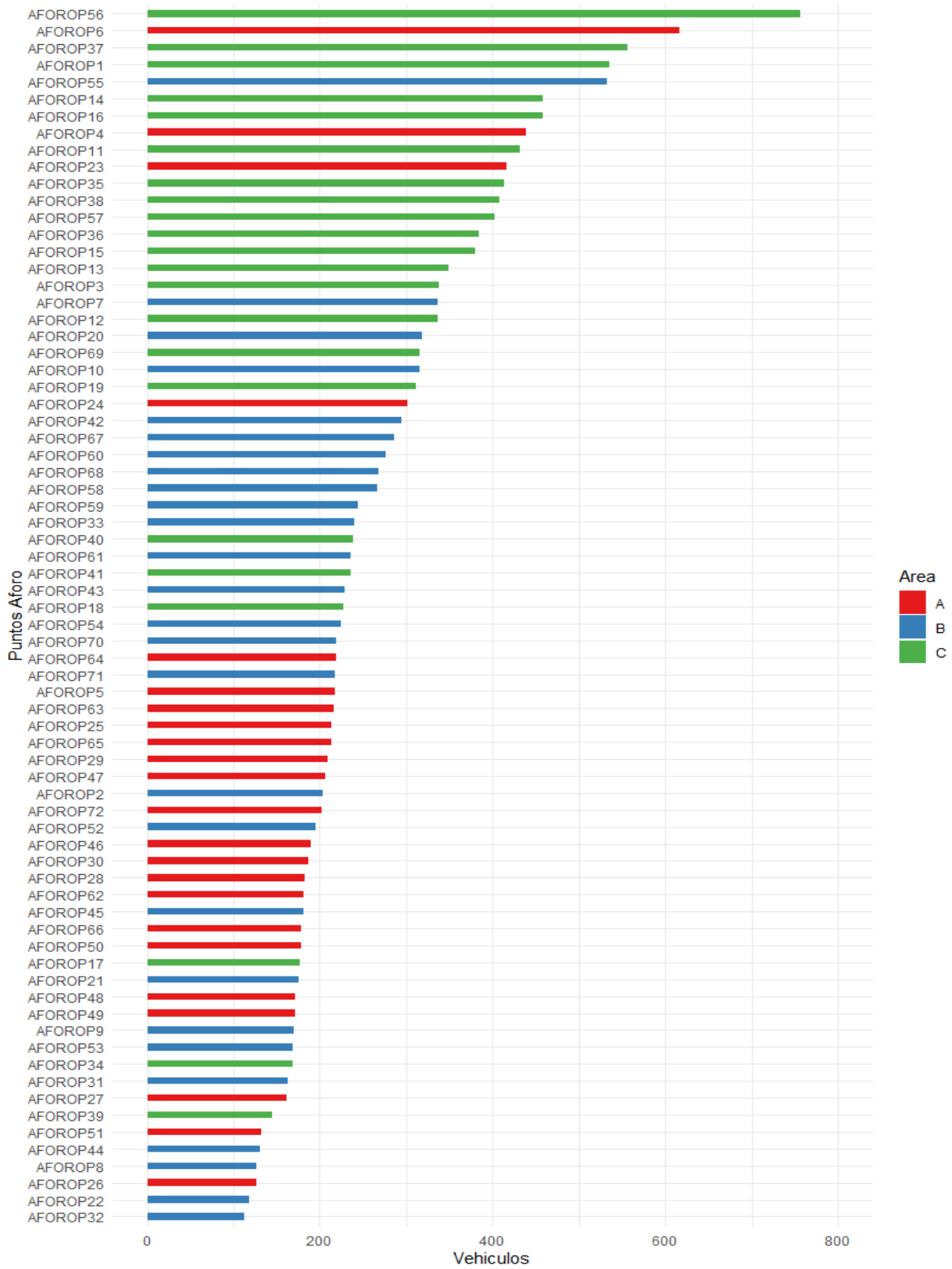
Tabla Cálculo de kilómetros Recorridos por año Busetas diésel

BUSETAS	unidad	valor
Desviación estándar del consumo de combustible semanal	desvest	13,6
Rendimiento promedio	km/gal	42
Promedio consumo de combustible semanal	\$	36,4
Precio del combustible diésel por galón	\$	1,90
Cantidad de galones semanales = (promedio de consumo de combustible semanal en \$) / (precio del diésel por galón en \$)	galones	19,158
Kilómetro recorrido semanalmente = (rendimiento km/gal) * (cantidad en galones semanal)	km semanal	804,63
Kilómetros recorridos anualmente = (kilómetros recorridos semanalmente) * (52 semanas que equivale un año)	km por año	41841

Fuente: Elaborado por el autor

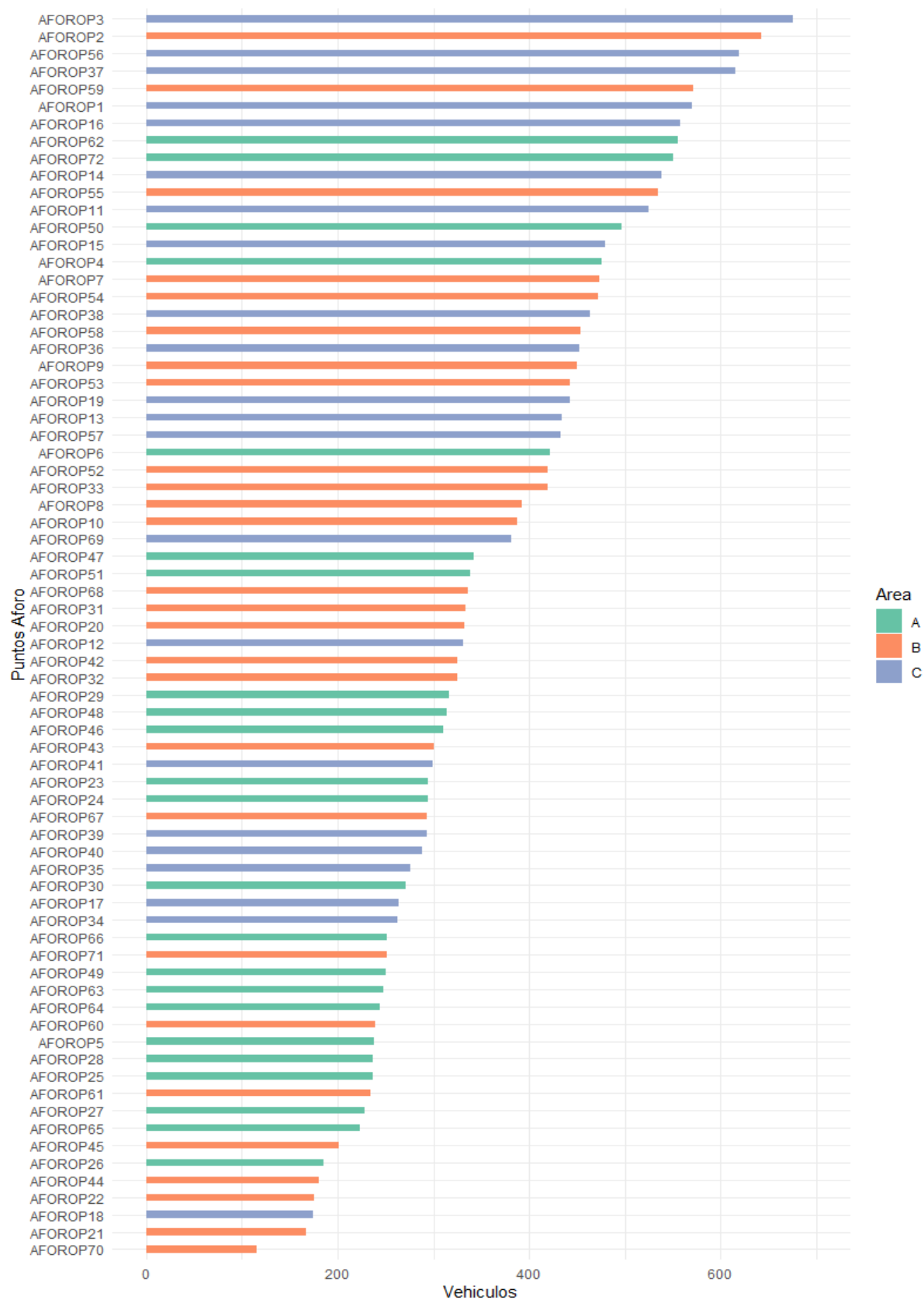
Anexo 9. Carga vehicular en la zona céntrica mes diciembre, enero y febrero (2021-2022)

Densidad vehicular en el mes de diciembre 2021 en el horario 07:00 a 08:00 am



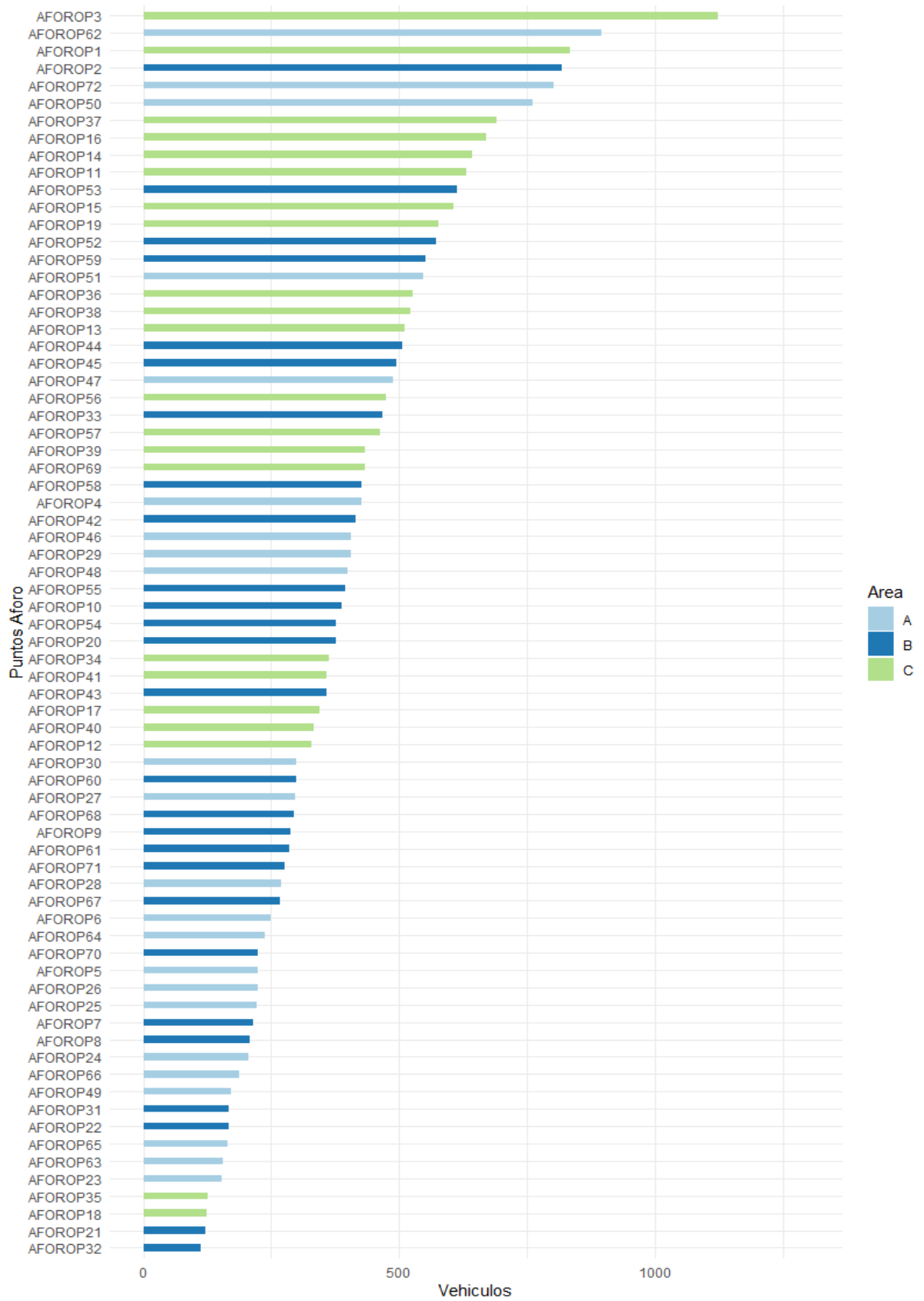
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de enero 2022 en el horario 07:00 a 08:00 am



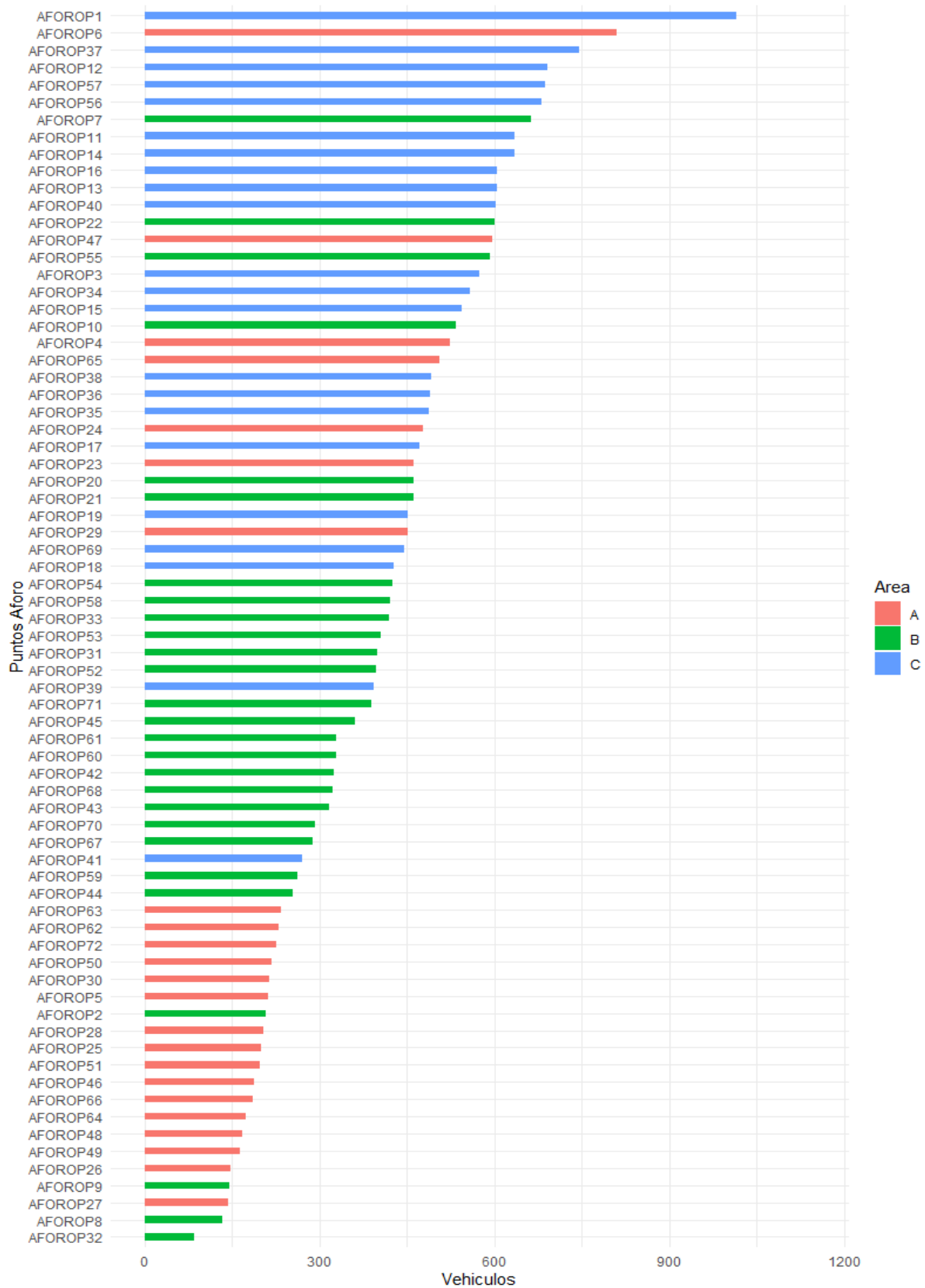
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de febrero 2022 en el horario 07:00 a 08:00 am



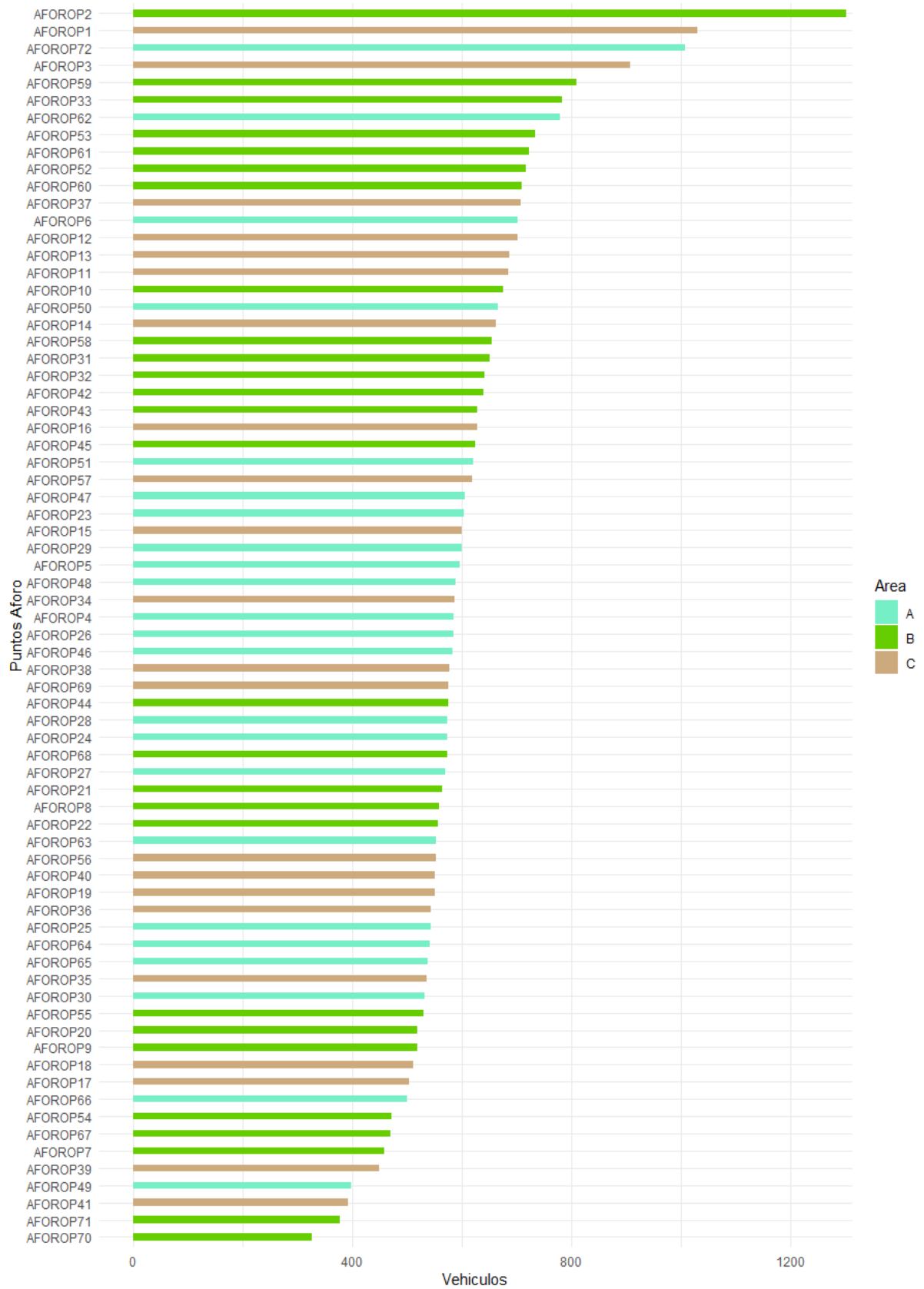
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de diciembre 2021 en el horario 12:00 a 13:00 pm



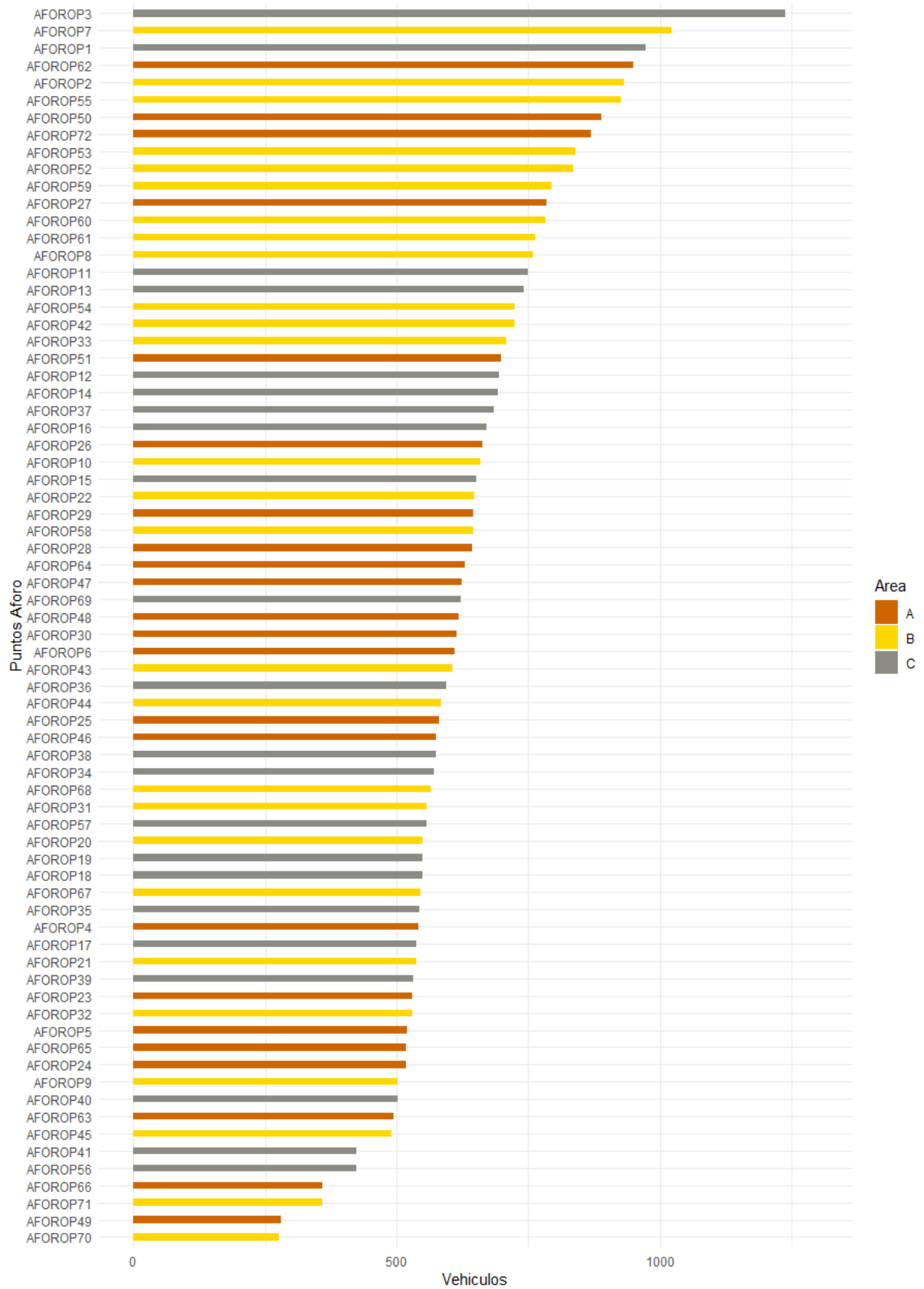
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de enero 2022 en el horario 12:00 a 13:00 pm



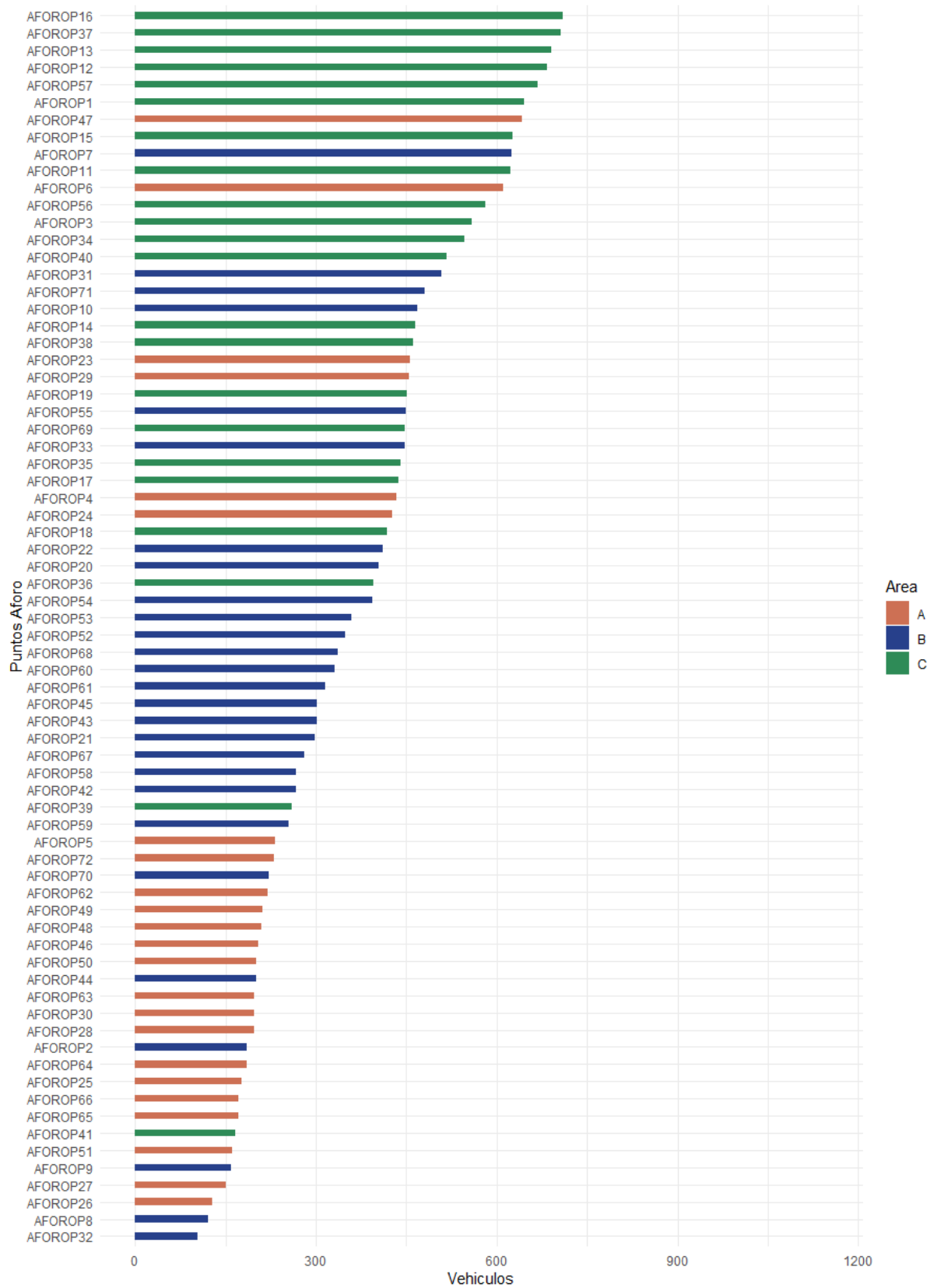
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de febrero 2022 en el horario 12:00 a 13:00 pm



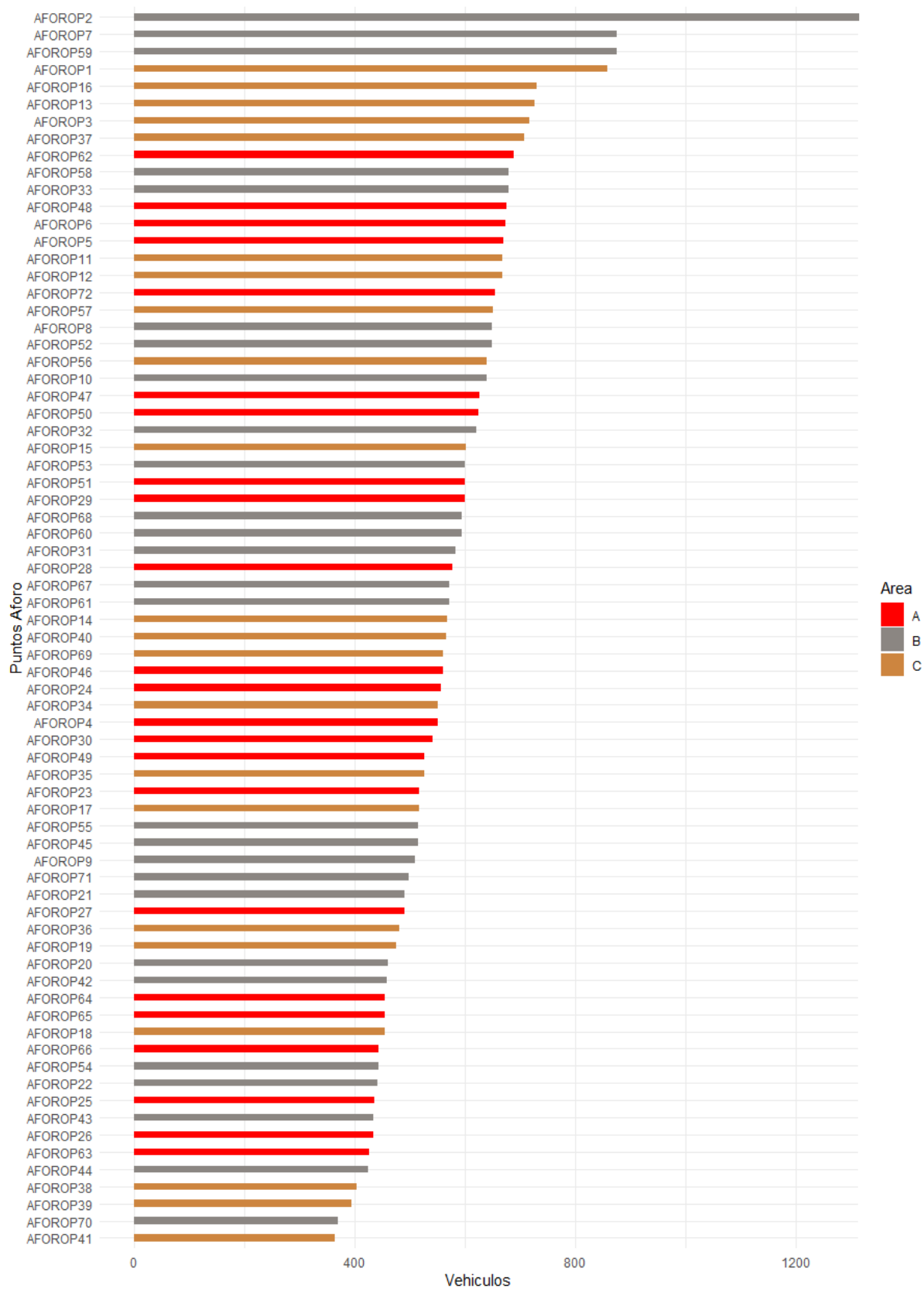
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de diciembre 2021 en el horario 18:00 a 19:00



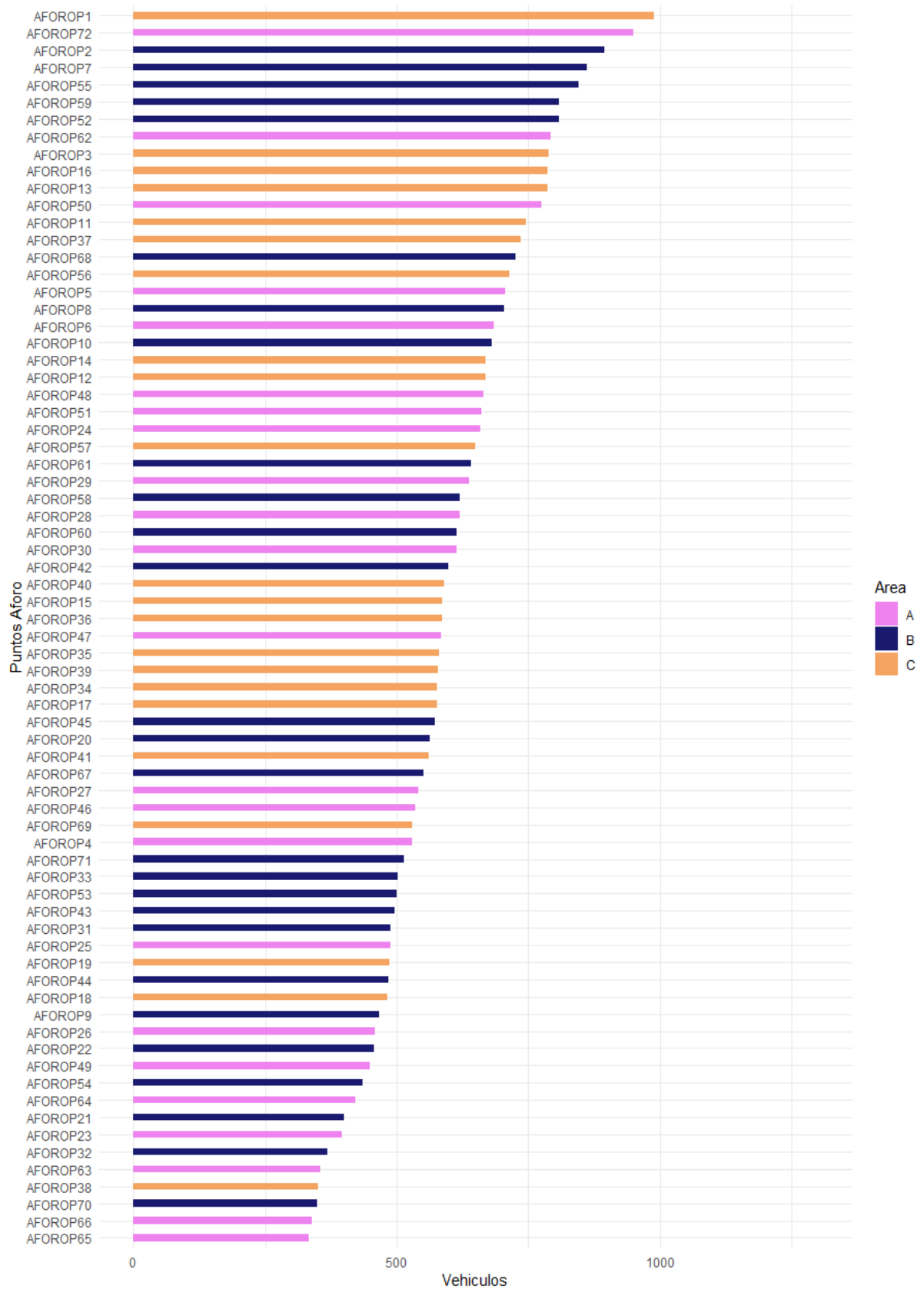
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de enero 2022 en el horario 18:00 a 19:00



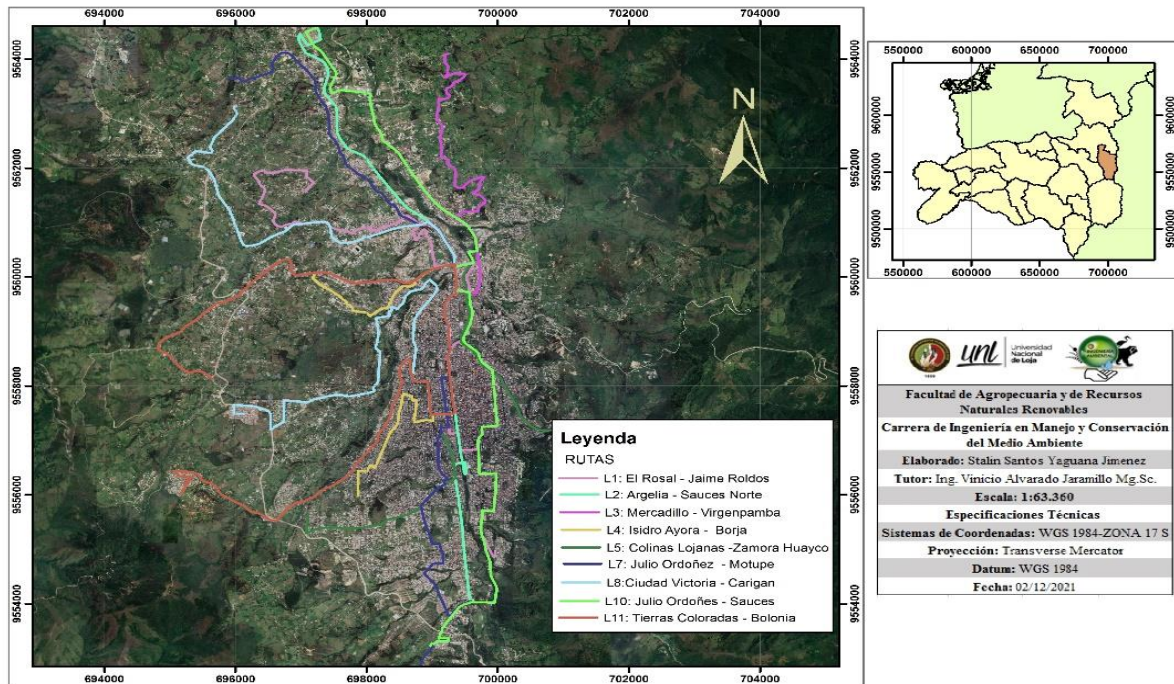
Fuente: elaborado por el autor

Densidad vehicular en el mes de febrero 2022 en el horario 18:00 a 19:00



Fuente: elaborado por el autor

Anexo 10. Rutas de buses sentido sur-norte de la ciudad de Loja



Fuente: elaborado por el autor

Anexo 11. Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) por día de contaminantes por área del mes de diciembre (2021), enero (2022) y febrero (2022), emitidos por el parque automotor en la zona céntrica ciudad Loja

Mes	Area	CO	NOx	SO2	PM10	PM25	THC	COV	NH3
dic-21	A	95,81	29,26	42,44	3,02	2,83	4,95	4,31	0,84
dic-21	B	103,40	26,68	42,12	2,89	2,76	5,34	4,63	0,90
dic-21	C	108,73	40,38	43,08	3,28	3,09	6,56	6,11	0,84
dic-21	Σ abc	307,93	96,32	127,64	9,19	8,68	16,85	15,05	2,57
ene-22	A	109,70	30,74	35,04	2,25	2,06	5,92	5,53	0,77
ene-22	B	95,68	24,31	41,47	3,02	2,70	4,76	3,99	0,84
ene-22	C	112,62	35,11	42,92	3,34	3,12	6,37	5,79	0,84
ene-22	Σ abc	318,00	90,15	119,44	8,62	7,88	17,04	15,30	2,44
feb-22	A	120,31	38,07	42,44	3,22	3,02	7,14	6,69	0,90
feb-22	B	113,68	38,26	42,44	3,47	3,22	6,62	5,98	0,84
feb-22	C	116,51	29,84	42,76	3,41	3,15	6,17	5,47	0,84
feb-22	Σ abc	350,50	106,16	127,64	10,10	9,39	19,93	18,13	2,57

Fuente: elaborado por el autor

Anexo 12. Certificado de traducción del Resumen .

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN DEL RESUMEN

Loja, 23 de diciembre del 2023

Yo, Livia Rosario Vega Luzuriaga, con número de cédula **1103259428** y con título de Licenciada en Ciencias de la Educación, especialidad de idioma inglés, registrado en el SENESCYT con número **1008-15-1403516**.

CERTIFICO:

Que he traducido minuciosamente el Resumen del Trabajo de investigación titulado: **“ESTIMACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR FUENTES MÓVILES EN LA ZONA CÉNTRICA DE LA CIUDAD DE LOJA, UTILIZANDO EL SOFTWARE MOVES”**, de autoría del estudiante: **Stalin Santos Yaguana Jiménez**, portador de la cédula de identidad: **1104444177**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente para fines pertinentes.

Atentamente



Lic. Livia Rosario Vega Luzuriaga

C.I. 1103259428

Celular: 0988513538

Correo: liviavega10@gmail.com