



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO Y UNO DE COMBUSTIÓN INTERNA, EN LA
AVENIDA DE LOS MIGRANTES DE LA CIUDAD DE CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES: EDWIN GONZALO MOSQUERA OCHOA

ANDREA ESTEFANÍA ROSAS OCAÑA

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS COBOS TORRES, PHD.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA
Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO
ELÉCTRICO Y UNO DE COMBUSTIÓN INTERNA, EN LA AVENIDA
DE LOS MIGRANTES DE LA CIUDAD DE CUENCA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES: EDWIN GONZALO MOSQUERA OCHOA

ANDREA ESTEFANÍA ROSAS OCAÑA

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS COBOS TORRES, PHD.

CUENCA - ECUADOR

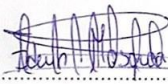
2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN

Edwin Gonzalo Mosquera Ochoa, portador de la cédula de ciudadanía N° 0704243799 y Andrea Estefanía Rosas Ocaña, portadora de la cédula de ciudadanía N° 0107121022. Declaramos ser los autores de la obra: "CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO Y UNO DE COMBUSTIÓN INTERNA, EN LA AVENIDA DE LOS MIGRANTES DE LA CIUDAD DE CUENCA", sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 14 de julio de 2023

F: 

Edwin Gonzalo Mosquera Ochoa

0704243799

F: 

Andrea Estefanía Rosas Ocaña

0107121022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edwin Gonzalo Mosquera Ochoa y Andrea Estefanía Rosas Ocaña, bajo mi supervisión.



Ing. Juan Carlos Cobos Torres, Ph.D.

DIRECTOR

DEDICATORIA

A mi abuelito Gonzalo Ochoa, que está en el cielo, quien en vida siempre cuidó de mí, gracias por creer siempre en mí y apoyarme, hoy te cumplo la promesa un poco tarde, pero lo logramos.

-Edwin

A mi abuelita Carlota, quien ha sido siempre, el pilar fundamental en mi vida, la única persona que nunca ha dejado de creer en mí a pesar de los tropiezos y de la cual he aprendido a ser mejor persona cada día. Gracias por ayudarme en toda mi vida.

A mi abuelito Hugo, que desde el cielo espero pueda estar muy orgulloso de este logro, y quien en vida fue un apoyo fundamental para poder seguir en este camino.

-Andrea

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios y a mis padres, que dejaron todo para darme mis estudios, gracias por todo su apoyo incondicional durante todos mis años de estudio, eternamente agradecido por cada sacrificio que hicieron para que logre cumplir el objetivo, y que la distancia no es impedimento para estar siempre el uno para el otro.

A mi hermana Carolina, por brindarme su apoyo incondicional durante todo mi proceso académico desde la escuela hasta el final, gracias por estar durante todos mis procesos y tus consejos, espero poder lograr un poco de lo que has logrado.

A Daniela, que fue una parte fundamental y un gran apoyo durante todo este proceso.

-Edwin

Agradezco a Dios, a mis padres y hermanos, ya que, sin su apoyo, cariño y paciencia, nunca hubiera sido posible culminar con este proceso. Gracias a los consejos que me han brindado he podido mejorar como ser humano.

A mi compañero de vida Brandon, que junto con su amor, paciencia y fortaleza ha logrado que pueda levantarme y seguir adelante en mi vida.

-Andrea

Agradecemos infinitamente a los docentes de la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca, Ing. Juan Carlos Cobos, Ing. Manuel Álvarez y Blgo. Vinicio Santillán, por brindarnos el apoyo y las pautas necesarias en el desarrollo de nuestro trabajo de Titulación.

-Edwin, Andrea

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo, determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos emitidos por dos tipos de vehículos, BEV y VCI, en la Avenida de los Migrantes, con el fin de sentar bases de investigación para futuros proyectos que aborden soluciones para mejorar la calidad del aire y reducir la contaminación ambiental. La exposición a los contaminantes emitidos por los vehículos y otros medios de transporte aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias, además de causar daños ambientales. Este estudio se realizó mediante dos estaciones móviles instaladas en los vehículos de prueba, y tres estaciones fijas, que sentaron una línea base, con el propósito de obtener información sobre los distintos contaminantes emitidos por cada tipo de vehículo. La metodología aplicada en este estudio fue ON BOARD, la cual nos permitió registrar los datos de concentración de los contaminantes en las dos fuentes móviles. Los resultados obtenidos de la línea base, expone que la estación fija 2, presenta mayores niveles de concentración de los contaminantes analizados. Los resultados del VCI, registra niveles de concentración que se encuentra dentro de los parámetros establecidos en la normativa INEN 2204. El desenlace de la comparación entre las dos fuentes móviles, mostraron como resultado que el nivel de concentración de $PM_{2.5}$ del BEV es superior con una media de $5,16 \text{ ug/m}^3$, con respecto al VCI que presenta una media 2.81 ug/m^3 , sin embargo, el nivel de concentración de SO_2 del BEV es inferior con una media 0.01 ug/m^3 , al VCI que tiene una media 0.06 ug/m^3 .

Palabras clave: On Board, estaciones móviles, estaciones fijas, contaminantes, vehículo eléctrico, vehículo a combustión.

ABSTRACT

This research aims to determine the concentrations of air pollutants emitted by two types of vehicles, BEV (Battery Electric Vehicle) and ICV (Internal Combustion Vehicle), on de los Migrantes Avenue, laying the research foundations for future projects that address solutions to improve air quality and reduce environmental pollution. Exposure to pollutants emitted by vehicles and other means of transportation increases the risk of respiratory diseases and causes environmental damage. This study was conducted using two mobile stations installed in the test vehicles and three fixed stations that served as a baseline to obtain information on the various pollutant emissions from each vehicle type. The methodology applied in this study was ON BOARD, which enabled the recording of pollutant concentration data in the two mobile sources. The baseline results show that station 2 has higher pollution concentration levels. The ICV results show concentration levels within the parameters established in INEN 2204 regulations. The result of the comparison between the two mobile sources showed that the PM_{2.5} concentration level of the BEV is higher, with an average of 5.16 ug/m³, compared to the ICV, which has an average of 2.81 ug/m³; however, the SO₂ concentration level of the BEV is lower with an average of 0.01 ug/m³, compared to the ICV, which has an average of 0.06 ug/m³.

Keywords: On Board, mobile stations, fixed stations, pollutants, vehicles

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.I
CERTIFICACIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.III
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIV
LISTA DE ANEXOS	XV
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 OBJETIVOS	- 3 -
1.1.1 <i>Objetivo General</i>	- 3 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos</i>	- 3 -
CAPÍTULO II	- 4 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 4 -
2.1 AIRE	- 4 -
2.2 ATMÓSFERA	- 4 -
2.3 CONTAMINACIÓN	- 4 -
2.3.1 <i>Contaminación atmosférica</i>	- 4 -
2.3.2 <i>Fuentes de contaminación</i>	- 5 -
2.4 TIPOS DE CONTAMINANTES	- 6 -
2.4.1 <i>Material particulado</i>	- 6 -
2.4.2 <i>Gases de efecto invernadero</i>	- 7 -
2.5 EFECTOS EN LA SALUD DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	- 10 -
2.6 MONITOREO AMBIENTAL	- 10 -
2.7 VEHÍCULOS	- 10 -
2.7.1 <i>Vehículo a combustión interna</i>	- 10 -
2.7.2 <i>Vehículos eléctricos</i>	- 12 -
2.8 EMISIONES VEHICULARES	- 12 -
2.9 FACTORES DE EMISIÓN	- 13 -
2.9.1 <i>Métodos directos</i>	- 13 -
2.9.2 <i>Métodos indirectos para el cálculo</i>	- 13 -
2.10 SENSORES	- 13 -
2.10.1 <i>Sensores electroquímicos</i>	- 13 -
2.11 TRÁFICO VEHICULAR	- 14 -
2.12 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)	- 14 -
2.13 NORMATIVA LEGAL	- 15 -
2.13.1 <i>Normativa Europea</i>	- 15 -
2.13.2 <i>Normativa Americana</i>	- 16 -
2.13.3 <i>Normativa Ecuatoriana</i>	- 17 -
CAPÍTULO III	- 18 -

3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 18 -
3.1 ZONA DE UBICACIÓN	- 18 -
3.1.1 Ruta de la zona de monitoreo (Avenida de los Migrantes)	- 18 -
3.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	- 19 -
3.2.1 Diseño cuasi experimental	- 19 -
3.3 SELECCIÓN DE VEHÍCULOS	- 21 -
3.3.1 Especificaciones de los vehículos	- 22 -
3.4 CICLOS DE PRUEBA	- 22 -
3.4.1 Ciclo FTP-75	- 22 -
3.5 METODOLOGÍA PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	- 23 -
3.5.1 Pruebas Dinámicas transitorias	- 24 -
3.6 ESTACIONES DE MONITOREO MÓVILES	- 25 -
3.6.1 Sensores	- 25 -
3.6.2 Componentes electrónicos	- 26 -
3.7 CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES	- 26 -
3.7.1 Estación de monitoreo móvil para Vehículo Eléctrico	- 26 -
3.7.2 Estación de monitoreo móvil para Vehículo a combustión	- 27 -
3.8 LÍNEA BASE	- 29 -
3.8.1 Ubicación de las estaciones fijas en la ruta del monitoreo	- 29 -
3.9 CUANTIFICACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES	- 30 -
3.9.1 Vehículo eléctrico	- 30 -
3.9.2 Vehículo a combustión	- 31 -
3.10 PROCESAMIENTO Y COMPARACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS	- 31 -
CAPÍTULO IV	- 33 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 33 -
4.1 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS ESTACIONES FIJAS UBICADAS EN LA ZONA	- 33 -
4.1.1 Concentración de CO en las estaciones fijas	- 33 -
4.1.2 Concentración de CO ₂ en las estaciones fijas	- 36 -
4.1.3 Concentración de NO ₂ en las estaciones fijas	- 38 -
4.1.4 Concentración de H ₂ S en las estaciones fijas	- 41 -
4.1.5 Concentración de PM _{2.5} en las estaciones fijas	- 44 -
4.2 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ESTACIÓN MÓVIL DEL VEHÍCULO A COMBUSTIÓN-	46
4.2.1 Concentración de CO en la estación móvil del vehículo a combustión	- 46 -
4.2.2 Concentración de CO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión	- 48 -
4.2.3 Concentración de NO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión	- 49 -
4.2.4 Concentración de SO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión	- 50 -
4.2.5 Concentración de PM _{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión	- 52 -
4.2.6 Concentración de CO en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana	- 53 -
4.2.7 Concentración de CO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana	- 55 -
4.2.8 Concentración de NO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana	- 56 -
4.2.9 Concentración de PM _{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana	- 57 -
4.2.10 Concentración de SO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana	- 59 -
4.3 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LA ESTACIÓN MÓVIL DEL VEHÍCULO A ELÉCTRICO.	- 60 -
4.3.1 Concentración de PM _{2.5} en el vehículo eléctrico	- 60 -
4.3.2 Concentración del SO ₂ en el vehículo eléctrico	- 62 -

4.4	COMPARACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES EN LAS DOS FUENTES MÓVILES	- 64 -
4.4.1	<i>Concentración de PM_{2.5} en las dos fuentes móviles</i>	- 64 -
4.4.2	<i>Concentración de SO₂ en las dos fuentes móviles</i>	- 65 -
CAPÍTULO V		- 68 -
5.	CONCLUSIONES	- 68 -
CAPÍTULO VI		- 69 -
6.	RECOMENDACIONES	- 69 -
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 70 -
	ANEXOS	- 77 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de contaminación del aire.	- 5 -
Figura 2. Comparación de tamaño de las partículas de PM.	- 7 -
Figura 3. Emisión de contaminantes en un vehículo a combustión.	- 11 -
Figura 4. Contaminantes presentes en el vehículo eléctrico Chock G2.	- 12 -
Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.	- 18 -
Figura 6. Ruta de la zona de monitoreo (Avenida de los Migrantes)	- 19 -
Figura 7. Diagrama de flujo del diseño cuasi experimental para el procedimiento de cuantificación de contaminantes en las dos fuentes móviles.	- 20 -
Figura 8. Marcas de vehículos 2022	- 21 -
Figura 9. Vehículos utilizados para realizar el monitoreo en la ruta establecida: a) Vehículo Dayan Chock G2; b) Vehículo Chevrolet Cruze.	- 22 -
Figura 10. Estaciones móviles utilizados para realizar el monitoreo en la ruta establecida: a) Estación móvil del vehículo a combustión; b) Estación móvil del vehículo eléctrico; c) Vista interna de la estación móvil con sus sensores.	- 25 -
Figura 11. Estación móvil para monitoreo en el BEV	- 27 -
Figura 12. Estación móvil para el monitoreo en el vehículo a combustión.	- 27 -
Figura 13. Ubicación de las estaciones fijas en la ruta del monitoreo	- 29 -
Figura 14. Estación fija en el punto 2 de la ruta de monitoreo.	- 29 -
Figura 15. Datos obtenidos durante el monitoreo en la aplicación “Thingspeak” en el vehículo eléctrico.	- 30 -
Figura 16. Datos obtenidos durante el monitoreo en la aplicación “Thinkspeak” en el vehículo a combustión.	- 31 -
Figura 17. Topología del sistema de monitoreo implementado.	- 32 -
Figura 18. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones fijas 1,2 y 3.	- 35 -
Figura 19. Comportamiento de los niveles de concentración de CO durante los días de monitoreo.	- 35 -
Figura 20. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ₂ (ppm) en las estaciones fijas 1,2 y 3.	- 37 -
Figura 21. Comportamiento de los niveles de concentración de CO ₂ durante los días de monitoreo.	- 38 -
Figura 22. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones fijas 1,2 y 3.	- 40 -
Figura 23. Comportamiento de los niveles de concentración de NO ₂ durante los días de monitoreo.	- 41 -
Figura 24. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de H ₂ S ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones fijas 1,2 y 3.	- 43 -
Figura 25. Comportamiento de los niveles de concentración de H ₂ S durante los días de monitoreo.	- 43 -
Figura 26. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones fijas 1,2 y 3.	- 45 -
Figura 27. Comportamiento de los niveles de concentración de PM _{2.5} durante los días de monitoreo.	- 46 -
Figura 28. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 47 -
Figura 29. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ₂ (ppm) en la estación móvil del vehículo a combustión	- 49 -
Figura 30. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión	- 50 -
Figura 31. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 52 -

Figura 32. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 53 -
Figura 33. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu g/m^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 54 -
Figura 34. Comportamiento de los niveles de concentración de CO durante los días de monitoreo.	- 54 -
Figura 35. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO_2 ($\mu g/m^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 55 -
Figura 36. Comportamiento de los niveles de concentración de CO_2 durante los días de monitoreo.	- 56 -
Figura 37. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO_2 ($\mu g/m^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 56 -
Figura 38. Comportamiento de los niveles de concentración de NO_2 durante los días de monitoreo.	- 57 -
Figura 39. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión.	- 58 -
Figura 40. Comportamiento de los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ durante los días de monitoreo.	- 58 -
Figura 41. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO_2 ($\mu g/m^3$) en el carro a combustión.	- 59 -
Figura 42. Comportamiento de los niveles de concentración de SO_2 durante los días de monitoreo.	- 60 -
Figura 43. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en la estación móvil del vehículo eléctrico en cada horario.	- 61 -
Figura 44. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en el carro eléctrico por cada día de la semana.	- 62 -
Figura 45. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en la estación móvil del vehículo eléctrico en cada horario.	- 63 -
Figura 46. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en el carro eléctrico por cada día de la semana.	- 64 -
Figura 47. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ en las estaciones móviles.	- 64 -
Figura 48. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO_2 en las estaciones móviles.	- 65 -
Figura 49. Impresión de las estaciones móviles en una impresora 3D.	- 77 -
Figura 50. Calibración de los sensores.	- 77 -
Figura 51. Instalación y colocación de los sensores en las estaciones móviles.	- 78 -
Figura 52. Medición de las estaciones para construcción de la base de soporte.	- 78 -
Figura 53. Soporte metálico para las estaciones móviles.	- 79 -
Figura 54. Colocación de soporte para estación móvil.	- 79 -
Figura 55. Prueba de soporte y estabilidad de las estaciones móviles.	- 80 -
Figura 56. Estaciones móviles instaladas en los dos vehículos.	- 80 -
Figura 57. Kilometraje de inicio del vehículo eléctrico en los monitoreos.	- 81 -
Figura 58. Kilometraje final del vehículo eléctrico en el monitoreo.	- 81 -
Figura 59. Inicio de ruta de monitores con los dos vehículos.	- 82 -
Figura 60. Parte media de la ruta de monitoreo con los dos vehículos, en la estación fija 2.	- 82 -
Figura 61. Parte final de la ruta de monitoreo, a la altura de la estación fija 3.	- 83 -
Figura 62. Procesamiento de datos de las estaciones fijas.	- 83 -
Figura 63. Procesamiento de datos del vehículo a combustión.	- 84 -
Figura 64. Procesamiento de datos del vehículo eléctrico.	- 84 -
Figura 65. Análisis de datos de las estaciones fijas en RStudio.	- 85 -
Figura 66. Análisis de datos de la estación móvil del vehículo eléctrico.	- 85 -
Figura 67. Procesamiento de datos del vehículo a combustión y eléctrico en RStudio.	- 86 -

Figura 68. Gráfica de prueba TukeyHSD con el intervalo de confianza de la diferencia de $PM_{2.5}$ entre el vehículo eléctrico y de combustión. _____ - 86 -

Figura 69. Gráfica de prueba TukeyHSD con el intervalo de confianza de la diferencia de SO_2 entre el vehículo eléctrico y de combustión. _____ - 87 -

Figura 70. Comparación de los datos obtenidos de $PM_{2.5}$ con las estaciones fijas de la EMOV entre los años 2013 y 2022. _____ - 87 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales contaminantes del aire urbano. _____	- 5 -
Tabla 2. Límites permisibles de contaminantes atmosféricos del ICA $\mu\text{g}/\text{m}^3$. _____	- 15 -
Tabla 3. Normas de regulación Europea. _____	- 16 -
Tabla 4. Normas de regulación de emisiones en Estados Unidos. _____	- 16 -
Tabla 5. Límites máximos en la Normativa Ecuatoriana. _____	- 17 -
Tabla 6. Marcas de vehículos más vendidas en el Ecuador en el 2022. _____	- 21 -
Tabla 7. Especificaciones técnicas de los automóviles (VCI Y VE). _____	- 22 -
Tabla 8. Criterios aplicados para garantizar la validez de las mediciones. _____	- 23 -
Tabla 9. Aspectos principales de la metodología On Board _____	- 24 -
Tabla 10. Sensores de las estaciones móviles. _____	- 25 -
Tabla 11. Componentes electrónicos de las estaciones móviles. _____	- 26 -
Tabla 12. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 1. _____	- 33 -
Tabla 13. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 2. _____	- 33 -
Tabla 14. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 3. _____	- 34 -
Tabla 15. Valores máximos, media y mínimo del CO ₂ en la estación fija 1. _____	- 36 -
Tabla 16. Valores máximos, media y mínimo del CO ₂ en la estación fija 2. _____	- 36 -
Tabla 17. Valores máximos, media y mínimo del CO ₂ en la estación fija 3. _____	- 37 -
Tabla 18. Valores máximos, media y mínimo del NO ₂ en la estación fija 1. _____	- 38 -
Tabla 19. Valores máximos, media y mínimo del NO ₂ en la estación fija 2. _____	- 39 -
Tabla 20. Valores máximos, media y mínimo del NO ₂ en la estación fija 3. _____	- 39 -
Tabla 21. Valores máximos, media y mínimo del H ₂ S en la estación fija 1. _____	- 41 -
Tabla 22. Valores máximos, media y mínimo del H ₂ S en la estación fija 2. _____	- 42 -
Tabla 23. Valores máximos, media y mínimo del H ₂ S en la estación fija 3. _____	- 42 -
Tabla 24. Valores máximos, media y mínimo del PM _{2.5} en la estación fija 1. _____	- 44 -
Tabla 25. Valores máximos, media y mínimo del PM _{2.5} en la estación fija 2. _____	- 44 -
Tabla 26. Valores máximos, media y mínimo del PM _{2.5} en la estación fija 3. _____	- 45 -
Tabla 27. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación móvil del vehículo a combustión. _____	- 46 -
Tabla 28. Valores máximos, media y mínimo del CO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión. _____	- 48 -
Tabla 29. Valores máximos, media y mínimo del NO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión. _____	- 49 -
Tabla 30. Valores máximos, media y mínimo del SO ₂ en la estación móvil del vehículo a combustión. _____	- 51 -
Tabla 31. Valores máximos, media y mínimo del PM _{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión. _____	- 52 -
Tabla 32. Concentración de PM 2.5 en el vehículo eléctrico. _____	- 60 -
Tabla 33. Concentración de SO ₂ en el vehículo eléctrico. _____	- 62 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Diseño y colocación de las estaciones móviles en los vehículos.</i>	_____	- 77 -
Anexo 2: <i>Recorrido de los monitoreos con las estaciones móviles</i>	_____	- 81 -
Anexo 3: <i>Fotografías del procesamiento y análisis de datos en Excel y RStudio.</i>	_____	- 83 -
Anexo 4: <i>Pruebas de confiabilidad de los datos</i>	_____	- 86 -

CAPÍTULO I

3. INTRODUCCIÓN

La contaminación de tipo ambiental es una de las enigmas más graves y críticos (Ramos, 2014), es por ello que las personas han ido adquiriendo conciencia y buscando alternativas para encontrar soluciones, la contaminación ambiental está deteriorando la fauna y la flora (Quishpe, 2021).

La polución del aire está estrechamente conectada con el desarrollo económico mundial. Es cualquier factor (físico, biológico o químico) presente en el aire, los primordiales mecanismos son la industria, automóviles y la calefacción. Los contaminantes clave incluyen gases entre ellos se encuentran el CO₂ y azufre, CO, NO₂ y las partículas 2.5 que pueden tener impactos significativos en la salud (Palate, 2017). Las emisiones de fuentes antropogénicas son causadas por actividades humanas y pueden ser muy simples o complejas (IDEAM, 2006).

Los países de la Comunidad Andina para reducir la contaminación ambiental han distribuido diferentes tipos de combustibles que se encuentran regulados a nivel mundial (CAN) (Antamba et al., 2016). En Ecuador, la contaminación del aire provocada por motivos incluye la mala planificación geográfica de los asentamientos humanos, la mala calidad del combustible utilizado por los automóviles, la tecnología obsoleta utilizada en la industria, etc. (SGCAN, 2012).

En el país, Quito, Guayaquil y Cuenca son las únicas ciudades con gestión ambiental (Hernández et al., 2012). Según el último inventario realizado en 2014 y 2016, actualmente hay 20 estaciones. El tránsito vehicular se considera la mayor fuente de contaminación, y entre los principales gases que emiten se encuentran el (CO), (NO_x), material fino 2.5 (EMOV, 2020).

Los aumentos excesivos de gases contaminantes han creado un problema global, por lo tanto, existe la necesidad de implementar políticas y regulaciones más estrictas, promover la concientización y fomentar la investigación sobre inversiones en tecnologías más limpias y sostenibles para abordar este problema (Jerves & Armijos, 2016). La contaminación del aire se ha visto muy afectada por la industria automotriz, ya que se siguen utilizando combustibles fósiles en diferentes tipos de vehículos (Onursal & Gautam, 2015). Según los datos del (INEC) al 2020 se han matriculado en el Ecuador 2' 361 175 vehículos, y los gases que emiten son perjudiciales. Los daños por transporte afectan directamente al calentamiento global (Fonseca & Borroto, 2021).

El propósito de este proyecto es determinar las concentraciones producidas por los contaminantes atmosféricos emitidos por dos vehículos (VE y VCI), lo que establecerá una base de exploración con miras a proyectos venideros, enfocados en la reducción de la contaminación ambiental. Debido al grave impacto de las fuentes móviles es importante conocer y comprender el problema. La exhibición a los contaminantes emitidos por los vehículos y otros medios de transporte aumentan enfermedades y daña los ecosistemas naturales y la biodiversidad.

El presente trabajo busca determinar la acumulación de sustancias contaminantes en el aire de un vehículo eléctrico y a combustión interna a través de estaciones móviles de calidad de aire, con el objetivo obtener información sobre los distintos contaminantes emitidos por cada vehículo. Es importante considerar, que muchos vehículos eléctricos que llegan al país son de origen chino, los mismos que no cumplen con todos los estándares mundiales, por lo cual estos no son vendidos en países de primer mundo como los europeos.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

Determinar la concentración de gases contaminantes de un vehículo eléctrico y un vehículo a combustión interna, mediante dos estaciones de calidad de aire móviles instaladas en los vehículos en la Avenida de los Migrantes y tres fijas en la ruta estableciendo cuales son los contaminantes que emite cada fuente móvil.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Revisar literatura científica sobre impacto de la calidad del aire por VE y VCI (fuentes móviles) y su respectiva medición mediante gestores de búsqueda especializados (Scopus, Web of Science, Direct, Google académico, etc.) obteniendo información actualizada y de calidad.
- Cuantificar los datos de: monóxido de carbono (CO), material particulado (MP_{2,5}), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), en la Avenida de los Migrantes en un vehículo de combustión interna.
- Cuantificar los datos de: material particulado (MP_{2,5}) y dióxido de azufre (SO₂), en la Avenida de los Migrantes en un vehículo eléctrico.
- Comparar las concentraciones de: material particulado (MP_{2,5}) y dióxido de azufre (SO₂), mediante herramientas estadísticas para generar una tendencia de comportamiento de las emisiones para la identificación de la fuente móvil de mayor contaminación.

CAPÍTULO II

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Aire

El medio ambiente está fuertemente influenciado por el aire, que es indispensable para la vida. Compuesto por elementos como vapor de agua, nitrógeno y oxígeno junto con trazas de otros gases, partículas y contaminantes, puede verse afectado tanto por fenómenos y actividades humanas (Zárate et al., 2007).

Estas actividades pueden afectar negativamente por lo tanto, es importante comprender la composición del aire y sus cambios para tomar las medidas adecuadas para protegerlo y preservarlo (Rivera, 2012).

4.2 Atmósfera

La atmósfera es un elemento esencial de los sistemas físicos interconectados de la Tierra y sustenta la vida. Compuesta por varios gases, incluidos nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono, comprende varias capas de diferentes densidades y composiciones. La troposfera es donde residimos y donde ocurren principalmente los patrones climáticos, mientras que la exosfera se extiende lejos en el espacio exterior (Selva, 2007).

La atmósfera es una comprensión integral de su mecánica es crucial para pronosticar y afrontar los efectos del cambio climático en nuestro entorno y la vida humana (León, 2012).

4.3 Contaminación

Es la acumulación de materiales extraños perjudiciales en la atmósfera puede provenir de varias fuentes, como el transporte, la agricultura, energía y la industria. Las formas más frecuentes de contaminación son la contaminación del aire, así mismo el agua y finalmente el suelo, que pueden tener efectos perjudiciales (Escobar, 2019).

Uno de los principales responsables del deterioro del medio ambiente, es el uso de combustibles denominados de tipo fósiles que sirven para la producción de energía en los sectores comerciales e industriales. El cambio climático global es ocasionado por la liberación excesiva de gases de invernadero de efecto polar a la atmósfera (Ballesteros, 2007).

4.3.1 Contaminación atmosférica

La intrusión de partículas y sustancias nocivas altera el equilibrio de los gases atmosféricos y crea contaminación del aire, lo que representa un peligro. Esta contaminación puede provenir de fuentes naturales, como el polvo y los gases volcánicos, o de fuentes artificiales, gases de efecto invernadero, los desechos industriales y vehículos (Segovia, 1952).

La contaminación del aire es una preocupación ambiental urgente que plantea una doble amenaza para el medio ambiente. Prevalece en la gran parte de todas las sociedades, por lo que

es un problema global que exige una acción inmediata y colaborativa, prevenir y requiere un esfuerzo coordinado y colectivo a nivel internacional (Cárdenas, 2022). En la **Tabla 1** podemos visualizar los la fuente principal y efectos en la salud de cada contaminante.

Tabla 1: Principales contaminantes del aire urbano.

Contaminante	Fuente principal	Efectos en la salud
Ozono (O ₃)	Reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno y emisiones de automóviles.	Inflamación de las vías aéreas y disminución en la función respiratoria.
Dióxido de azufre (SO ₂)	Automóviles, plantas termoeléctricas, combustibles fósiles.	Irritación en las vías respiratorias superiores.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Combustión de combustibles fósiles como los derivados del petróleo.	Problemas en las vías respiratorias, mareos y dolores de cabeza.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Calderas, estufas de gas.	Cambios funcionales y lesiones alveolares.
Monóxido de carbono (CO)	Emisiones de automóviles, hornos y calentadores domésticos.	Intoxicación aguda y crónica.
Partículas finas menor a 2.5 µm (PM _{2.5})	Emisiones vehiculares, combustión industrial y de tipo doméstico, reacciones de los gases en la atmósfera e incendios forestales.	Asma

Fuente: Adaptado de (Delgado & Camargo, 2013)

4.3.2 Fuentes de contaminación

Una fuente de contaminación se define como cualquier actividad humana, proceso u operación de emisión de gases contaminantes. Se dividen en fuentes móviles, estacionarias y de área (Simioni, 2003), tal cómo se observa en la **Figura 1**.

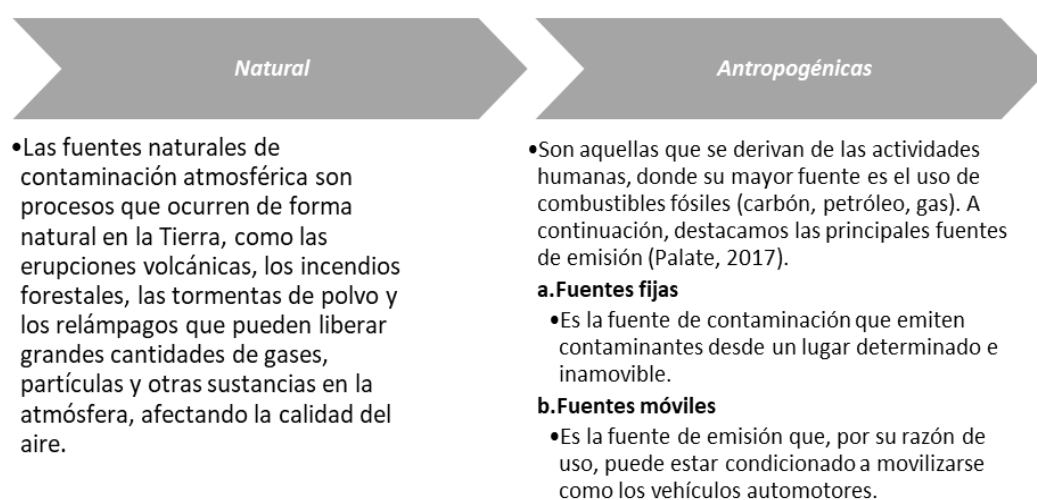


Figura 1. Fuentes de contaminación del aire.

Fuente: Adaptado de (Palate, 2017)

4.4 Tipos de contaminantes

Los tres tipos primordiales de contaminantes son las partículas, los gases denominados con el fenómeno del efecto invernadero y los contaminantes considerados como criterio.

4.4.1 Material particulado

Estas partículas consisten en diferentes productos químicos y se liberan directamente de sus fuentes. Aunque muchas partículas se generan en la atmósfera, pueden ser el resultado de reacciones químicas complejas, como las que involucran óxidos de nitrógeno (EPA, 2022). En términos generales, hay dos categorías de contaminación por partículas.

4.4.1.1. Material Particulado 10 µg/m³ (PM₁₀):

Permanece suspendida en la atmósfera con un tamaño de partícula promedio de 10 micrómetros o menos. Se compone principalmente de compuestos inorgánicos como silicatos y sustancias orgánicas, como el hollín. Las actividades humanas y naturales, incluida la quema de combustibles fósiles son responsables de generar estas partículas. (Rubio, 2019)

El impacto adverso de las partículas PM₁₀ en la salud humana está bien documentado, siendo las complicaciones respiratorias una preocupación común. Además, se sabe que la contaminación por PM₁₀ pone en peligro la calidad del aire y daña el medio ambiente. Por lo tanto, es imperativo monitorear y regular las emisiones de PM₁₀ para salvaguardar la salud pública y el ecosistema (Vivar, 2014).

4.4.1.2. Material Particulado 2,5 µm (PM_{2,5}):

Numerosas actividades humanas, las emisiones de vehículos y la producción de energía, dan como resultado la generación de partículas. Las actividades industriales también contribuyen a ello. Mientras que los procesos naturales son fuentes adicionales de estas partículas (Guevara & Logroño, 2020).

PM_{2.5} se clasifica como un contaminante peligroso debido a su capacidad para penetrar en el sistema respiratorio humano y causar efectos perjudiciales para la salud. También tiene implicaciones perjudiciales para el medio ambiente, lo que afecta la visibilidad y altera los cultivos y los ecosistemas naturales. Debido a estas consecuencias, es fundamental rastrear y regular las emisiones de PM_{2.5} (OEHHA, 2023).

La escala de tamaño de las partículas de material particulado (PM) se puede apreciar en la **Figura 2**.

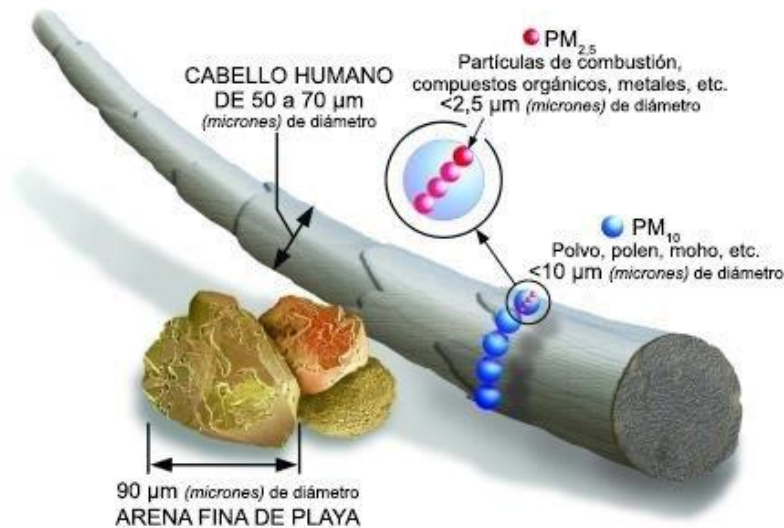


Figura 2. Comparación de tamaño de las partículas de PM.

Fuente: (EPA, 2022)

4.4.2 Gases de efecto invernadero

Facilitan la penetración de la luz solar en la superficie de la Tierra mientras interceptan la energía de la superficie sobre la Tierra, lo que preserva el efecto de tipo invernadero. Los gases de efecto invernadero más importantes incluyen, NO₂, CO₂, O₃ y CH₄ (Benavides & León, 2007).

La liberación de mayores cantidades a la atmósfera contribuye a un aumento en su concentración, lo que conduce al calentamiento global. Esto, a su vez, tiene productos adversos en la sanidad y la economía (Trespacios et al., 2018).

4.4.2.1. Gases de efecto de tipo invernadero directos.

Son gases que se difunden directo a la atmósfera, como impacto de actividades humanas y desencadena en el proceso de efecto invernadero.

a) Dióxido de carbono (CO₂)

Es inodoro, incoloro y ligeramente ácido. Sin embargo, las actividades humanas contribuyen significativamente a su producción. El representa el 76% del total mundial (Arroyo, 2020).

Por lo tanto, es fundamental adoptar políticas y tecnologías que fomenten la creación de energías limpias para reducir las emisiones de CO₂ (Benavides & León, 2007).

b) Metano (CH₄)

Está clasificado como el hidrocarburo saturado de cadena más corta, con poderosas propiedades de atrapamiento de calor que superan las del CO₂. Tanto los recursos naturales como los factores humanos, contribuyen a su producción. Además, se sabe que la ganadería intensiva y

la producción de arroz en la agricultura producen cantidades significativas de metano (Posligua, 2020).

El aumento constante de las emisiones de metano provoca varias formas de reducir las emisiones de metano mediante la adopción de mejores prácticas de gestión de residuos, técnicas agrícolas sostenibles y sistemas de producción animal (Manrique, 2016).

c) Óxido nitroso (N₂O)

Se le llama "gas de la risa" debido a sus efectos eufóricos y sedantes sobre el sistema nervioso central. El óxido nitroso se utiliza en medicina como anestésico inhalatorio y en el sector de la producción de alimentos como agente espumante en productos como la nata montada (Pérez Prieto Paloma, 2008). Las actividades agrícolas, particularmente las emisiones del suelo, son los principales contribuyentes del óxido nitroso.

d) Compuestos halogenados

Pueden ser simples o volátiles como flúor, cloro, bromo o yodo. Estos compuestos son ampliamente utilizados en la industria como disolventes, refrigerantes, propelentes, retardantes de fuego (Méndez, 2010). Sin embargo, muchos compuestos halogenados son muy resistentes a las condiciones del exterior y pueden ser transportados por el aire y el agua a lugares distantes de su origen, lo que resulta en la contaminación ambiental y la acumulación en la cadena alimentaria (Bailey, 2015). Algunos compuestos halogenados también se han relacionado con la alteración del sistema endocrino y las enfermedades carcinogénicas.

e) Ozono troposférico

Producido por la interacción de gases naturales y artificiales como (NO₂) y los compuestos (COV) con la luz solar en la estratosfera superior. Se considera un contaminante del aire que puede provocar problemas respiratorios, asma y función pulmonar reducida. Además, puede interferir con la fotosíntesis y el crecimiento, dañando cultivos y plantas (Dünner Planella, 2016).

Los niveles de ozono troposférico pueden ser reducidos a través de la disminución de las emisiones y la implementación de medidas de control. Es necesario seguir investigando y tomando medidas para controlar los niveles de ozono troposférico y garantizar un aire más saludable para la población y el medio ambiente (Burgos & Copo, 2017).

f) Vapor de agua

Funciona como un gas de efecto invernadero crucial, esencial para preservar la temperatura. Producto del agua líquida y la transpiración orgánica, también está presente en la atmósfera (Benavides & León, 2007).

El nivel de vapor está sujeto a cambios, apoyándose de la humedad relativa como también de la temperatura. Este vapor es crucial para la formación de nubes y precipitaciones, y juega un papel fundamental en la atmósfera terrestre. Dada su importancia para el clima y el medio ambiente, el vapor de agua merece una atención significativa (Planelles González, 1996).

4.4.2.2. Gases de efecto invernadero indirectos

a) Monóxido de carbono (CO)

Un gas letal subproducto de la de la quema incompleta de combustibles. Carece de color y olor y se puede encontrar en el aire, a menudo procedente de máquinas industriales, vehículos, calefacción inadecuada e incendios (Téllez et al., 2006). Los escapes de los automóviles son la principal fuente de monóxido de carbono. Al inhalarlo, el monóxido de carbono dificulta el transporte de oxígeno (Rivas, 2022).

El CO, un importante contaminante del aire, crítico en la formación de smog y lluvia ácida. Para salvaguardar el bienestar se han establecido normas e iniciativas para restringir las emisiones de CO₂ provenientes del transporte y las fuentes industriales (ATSDR, 2016).

b) Compuestos (COVDM)

A base de hidrocarburos producto del incendio de combustibles, la evaporación de solventes, la agricultura y las industrias químicas. Estas sustancias incoloras e inodoras se evaporan rápidamente a temperatura ambiente y pueden causar irritación en los ojos, y vías de tipo respiratorias. Además, pueden contribuir al desarrollo de smog y lluvia ácida (PRTR, 2022).

La vegetación es la principal fuente de emisiones contaminantes al medio ambiente. este elemento particular en la naturaleza. Sin embargo, también lo generan actividades antropogénicas como el transporte de energía, junto con otras fuentes como aerosoles, solventes y pinturas (AFIRMGROUP, 2021).

c) Óxidos de nitrógeno

Conjunto de gases reactivos, producto de procesos industriales y la de combustibles para vehículos. También pueden formarse naturalmente a través de la actividad microbiana del suelo y las tormentas (EPA, 2022).

El NO₂, un gas inorgánico incoloro y letal, se encuentra con frecuencia en áreas urbanas y es emitido por vehículos, centrales eléctricas y procesos industriales (SIAFA, 2015). La exposición prolongada a altas concentraciones de NO₂ puede provocar problemas respiratorios, como asma y bronquitis, así como aumentar las posibilidades de desarrollar enfermedades cardiovasculares. No solo contribuye a la formación de smog, sino que también es responsable de la lluvia ácida (Criollo, 2018).

d) Óxidos de azufre y partículas

Surgen de la mezcla de azufre y oxígeno, incluidos el dióxido de azufre (SO₂) y el trióxido de azufre (SO₃) y a través de la combustión de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, y procesos industriales como la producción de ácido sulfúrico. Cuando se emiten a la atmósfera, pueden reaccionar con otros compuestos para formar ácido sulfúrico, contribuyendo a la lluvia ácida. Además, los óxidos de azufre pueden irritar los ojos y las vías respiratorias (PRTR España, 2013).

El dióxido de azufre (SO₂) no es inflamable y puede ser liberado por procesos geológicos y por actividades volcánicas. Este compuesto químico es conocido por ser uno de los principales contaminantes atmosféricos, ya que puede afectar negativamente la calidad del aire (Instituto para la Salud Geoambiental, 2022).

4.5 Efectos en la salud de los contaminantes atmosféricos

La inhalación de gases nocivos y partículas finas puede provocar una serie de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Estas diminutas partículas pueden infiltrarse en los pulmones, causando así daños en los tejidos y aumentando la probabilidad de padecimientos como el cáncer de pulmón (Velasco, 2021).

Las personas con condiciones preexistentes como asma y diabetes, así como los adultos mayores y niños son más vulnerables a estos efectos nocivos. Esto se debe a que sus sistemas respiratorios son más sensibles y menos capaces de manejar el estrés físico. Por lo tanto, es crucial implementar medidas destinadas a frenar la contaminación del aire para salvaguardar la salud (Delgado & Camargo, 2013).

La contaminación del aire exige medidas de mitigación. Además de los riesgos para la salud, también plantea impactos sociales, económicos y ambientales negativos. Puede dañar los ecosistemas, la flora y la fauna locales. Por lo tanto, es fundamental monitorear la calidad del aire en Cuenca, donde el tráfico vehicular es la principal fuente de emisiones, seguido de las centrales térmicas, industrias y otras fuentes (López & Pacheco, 2015).

4.6 Monitoreo ambiental

El análisis de la calidad del aire, el agua y el suelo es necesario para gestionar el medio ambiente, prevenir problemas potenciales e identificar áreas de mejora y medir la presencia de contaminantes en el aire. Al recopilar y estudiar estos datos, se pueden identificar patrones de contaminación y los legisladores pueden estar mejor informados sobre posibles medidas para mitigar la polución atmosférica (Y. Hernández et al., 2019).

Para asegurar que tanto productos y actividades cumplan con las normas ambientales, es fundamental contar con un plan de monitoreo ambiental. Sirve como un medio valioso para mejorar la administración ambiental, salvaguardar la salud y el ambiente. También promueve la conciencia pública y facilita la implementación de políticas ambientales (Carrasco, Cronwer; Cueva, 2023)

4.7 Vehículos

4.7.1 Vehículo a combustión interna

Las áreas urbanas y suburbanas ven una cantidad significativa de contaminación del aire causada por los vehículos. Los peligros para la salud son terribles, incluido el aumento de las posibilidades de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Además, también son un origen de contaminación de tipo acústica en las áreas urbanas (Herrera et al., 2012).

Para abordar el problema se han establecido estándares de emisión para vehículos nuevos y se han desarrollado sistemas de tratamiento de gases de escape. Además, se están impulsando mediante políticas los vehículos de bajas emisiones, como los coches eléctricos, y se están construyendo infraestructuras de carga (Darquea & Gustavo, 2017). Si bien los vehículos constituyen una fuente importante de contaminación atmosférica y acústica, estas medidas tienen como objetivo frenar su impacto negativo.

En la **Figura 3** se detalla las principales emisiones de contaminantes en vehículos a combustión.

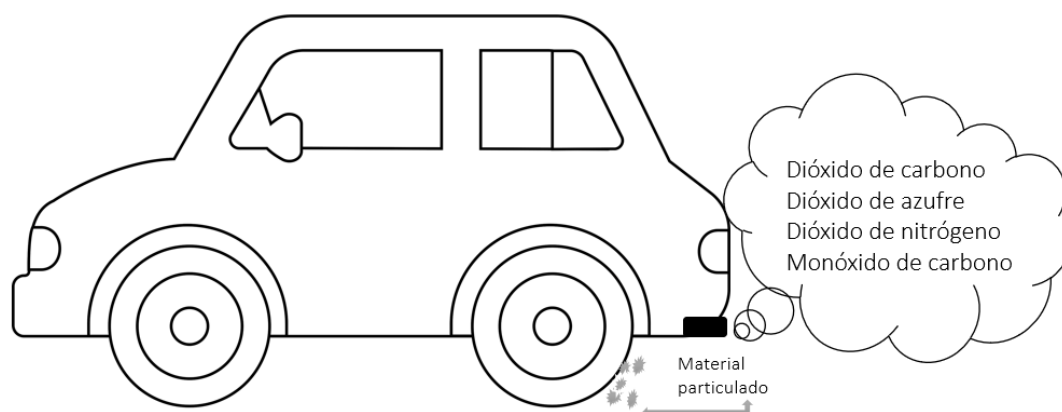


Figura 3. Emisión de contaminantes en un vehículo a combustión.

Fuente: Autores

4.7.1.1. Combustión

Se produce cuando un combustible se quema en presencia de oxígeno, generando energía térmica y emitiendo gases y partículas al ambiente (GCE, 2015). Sin embargo, la combustión no siempre es completa, lo que puede resultar en emisiones contaminantes. La combustión incompleta se produce cuando no hay suficiente oxígeno para quemar todo el combustible, o quema a temperaturas demasiado bajas (García, 2001).

Cuando se queman combustibles fósiles que contienen azufre y nitrógeno, la combustión también produce contaminantes (SO_2) y los (NO_x), respectivamente (Cortés & Ridley, 2013). Tecnologías y procesos como la inyección de aire y la selección de combustibles más limpios se utilizan, entre otras medidas, para reducir las emisiones contaminantes. Además, se han desarrollado reglamentos y normas para limitar las emisiones de vehículos e instalaciones industriales que realizan procesos de combustión (Alvarado, 2009).

4.7.1.2. Combustible

El combustible es una sustancia que se utiliza para producir energía mediante una reacción química exotérmica. Los combustibles se dividen en dos categorías principales: combustibles fósiles y biocombustibles (IDAE, 2005). Los combustibles fósiles son aquellos que se originan a partir de materia orgánica son finitos y no renovables, y su extracción y uso tienen un impacto negativo en el

medio ambiente. Por otro lado, los biocombustibles se derivan de materiales orgánicos renovables, como los cultivos energéticos y los residuos agrícolas (Chavez Quimiz, 2019).

Aunque su producción también tiene un impacto ambiental, los biocombustibles se consideran una alternativa más sostenible a los combustibles fósiles. En el país existe tres tipos de combustible: Eco-país, Extra y Súper, siendo el Eco-país la más utilizada, seguida por el Súper y Extra (Arias Montaña & Ludeña Ayala, 2018).

4.7.2 Vehículos eléctricos

Empezaron a existir en el siglo XX y a diferencia de los vehículos de gasolina o diésel, no emiten gases de escape. Además, los vehículos eléctricos también pueden mejorar la eficiencia energética, lo que los hace más rentables a largo plazo para los propietarios (Roás, 2011).

Sin embargo, la adopción de vehículos eléctricos todavía enfrenta desafíos importantes, como la limitada duración de la batería y la falta de infraestructura de carga en algunos lugares. El costo suele ser más alto, pero puede ser compensado a largo plazo por ahorros en combustible y costos de mantenimiento más bajos. A medida que se desarrollan tecnologías y se implementan políticas para fomentar la adopción de vehículos eléctricos (Martínez Gutiérrez, 2013).

Así como en la **Figura 4** se indica los contaminantes presentes en un BEV.

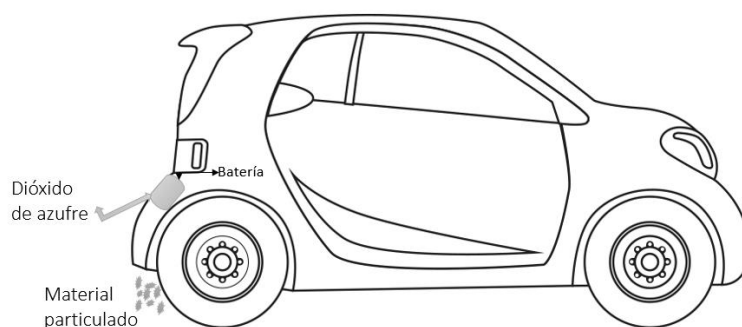


Figura 4. Contaminantes presentes en el vehículo eléctrico Chock G2.

Fuente: Autores

4.8 Emisiones vehiculares

Los perjuicios ecológicos derivados de los vehículos de transporte se conocen comúnmente como emisiones vehiculares. Estas emisiones contribuyen significativamente a la contaminación a escala mundial. CO₂, CO, NO₂ y PM se encuentran entre los contaminantes dispersados por los vehículos (Díaz, 2002).

Se han implementado varias medidas y políticas para combatir las emisiones de los vehículos, incluida la electromovilidad que también se ha introducido como medio alternativo de transporte.

4.9 Factores de emisión

Representan la cantidad de sustancias contaminantes que se emiten por unidad de actividad (unidades de producción, kilómetros recorridos y consumo de energía), como la distancia recorrida o el combustible consumido. Estos factores son importantes para evaluar la calidad del aire y el impacto ambiental (CCB et al., 2013).

Por ejemplo, los vehículos eléctricos tienden a emitir mayores cantidades de partículas finas que los vehículos de gasolina. Los factores de emisión son utilizados por las autoridades reguladoras y los planificadores urbanos para establecer políticas y regulaciones para reducir las emisiones contaminantes. Además, los factores de emisión son fundamentales para el desarrollo de modelos y simulaciones que permiten prever los impactos ambientales de los proyectos de transporte y de otros sectores económicos (Castillo, 2018).

4.9.1 Métodos directos

Se utiliza para la medición de las emisiones de los vehículos en sus condiciones naturales de operación, donde se consideran sus emisiones de escape. Existen algunos métodos comúnmente utilizados para estas pruebas, que incluyen pruebas con dinamómetro, sensores remotos y mediciones a bordo (Urgiles, 2016).

4.9.2 Métodos indirectos para el cálculo

Varios modelos reconocidos a nivel mundial utilizan métodos indirectos adaptados a sus condiciones únicas. Se encuentran entre los modelos más notables: COPERT, IVE, MOBILE 6, MOVES (INECC-SEMARNAT, 2013).

4.10 Sensores

Son dispositivos que permiten la adquisición de información a distancia. Estos sensores pueden ser utilizados para obtener datos sobre la temperatura, humedad, vegetación, suelo, agua y otros parámetros relevantes en diferentes campos de estudio, como la agricultura, la meteorología, la cartografía, la gestión de recursos naturales y la vigilancia ambiental (Dallmann, 2018).

La información obtenida a través de los sensores remotos puede ser procesada y analizada para generar mapas, modelos y otras herramientas que permiten entender mejor los procesos naturales y antropogénicos en el planeta. Los sensores remotos incluyen diversas tecnologías requeridas para cada aplicación específica (Núñez, 2018).

4.10.1 Sensores electroquímicos

Son dispositivos que detectan y cuantifican la presencia de compuestos químicos, se han transfigurado en una herramienta primordial en diversas aplicaciones, como la detección de contaminantes ambientales, la monitorización de procesos químicos, el control de calidad de alimentos y medicamentos, entre otros (Sanchez Yunga & Zuñiga Guzhñay, 2018).

Los sensores electroquímicos pueden ser altamente selectivos y sensibles a una amplia gama de analitos, lo que los hace particularmente útiles en entornos en los que se requiere una detección precisa y en tiempo real. Además, estos sensores son relativamente simples, económicos y portátiles, lo que los convierte en una opción atractiva para su uso en el campo (Alegret et al., 2004).

4.11 Tráfico Vehicular

El tráfico de vehículos es un fenómeno complejo se refiere al flujo de vehículos que circulan por la vía pública, incluyendo automóviles, motocicletas, camiones y transporte público. El tráfico vehicular está influenciado por factores como la densidad de población, el crecimiento económico, etc. (Cerón, 2007).

Un aumento en el tráfico vehicular puede tener efectos negativos, por lo tanto, es importante desarrollar estrategias efectivas de gestión del tráfico de vehículos urbanos, como mejorar la infraestructura vial, promover el transporte público, implementar medidas de seguridad vial y la circulación de vehículos en áreas urbanas. Comprender los factores que afectan el tráfico vehicular es fundamental para desarrollar políticas y medidas para el transporte urbano sostenible (Recalde, 2022).

En Cuenca es la fuente principal de contaminación debido a al aumento del parque automotor que cada día es superior con relación al índice de población, una mala planificación y la escasa atención a los sistemas de movilidad, esto podemos ver reflejado en las diferentes horas pico que se prolongan por distintas zonas de la ciudad (Ministerio del Ambiente, 2022).

4.12 Índice de calidad del aire (ICA)

Es utilizado para evaluar los niveles que existe de contaminación sobre el aire en un área geográfica específica. El índice se expresa en una escala numérica entre 0 y 500, donde los valores más altos indican una peor calidad del aire y por lo tanto mayores riesgos para el medio ambiente (Condo, 2021).

La medición del ICA se realiza a través de estaciones denominadas de monitoreo de la calidad ubicadas en diferentes puntos de una ciudad o región. La información obtenida a través del ICA es utilizada por autoridades gubernamentales y organizaciones ambientales para tomar decisiones en relación con la regulación e implementación de políticas. El ICA es útil para que las personas tomen medidas para proteger su salud y reducir su exposición a la contaminación atmosférica (Ballesteros, 2007). Los límites permisibles se pueden observar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Límites permisibles de contaminantes atmosféricos del ICA $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rango	Categoría	CO	O ₃	NO ₂	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀
0-50	Nivel deseable u óptimo.	0-5000	0-50	0-100	0-62.5	0-25	0-50
51-100	Nivel aceptable o bueno.	5001-10000	51-100	101-200	63.5-125	26-50	51-100
101-200	Nivel de precaución.	10001-15000	101-200	201-1000	126-200	51-150	101-250
201-300	Nivel de alerta.	15001-30000	201-400	1001-2000	201-1000	151-250	251-400
301-400	Nivel de alarma.	30001-40000	401-600	2001-3000	1001-1800	251-350	401-500
401-500	Nivel de emergencia.	>40000	>600	>3000	>1800	>350	>500

Fuente: (M. Hernández et al., 2010).

4.13 Normativa Legal

Se tienen en cuenta los valores legales de emisión de sustancias de tipo contaminantes determinados por la autoridad, que cumplan con los objetivos de las normas estipuladas en el Reglamento de Calidad del Aire. Los gases contaminantes generados por los motores son la principal fuente de emisiones. No obstante, detener el crecimiento del sector automotriz no es factible principalmente debido a consideraciones económicas y a las ventajas asociadas a la movilidad. (Loza Lalangui Carlos Paul et al., 2022).

4.13.1 Normativa Europea

Este reglamento establece los límites permisibles de emisiones en los vehículos de diversos países de la Unión Europea. Estas regulaciones se han establecido y controlado cada vez más, y son responsables de regular las emisiones de hidrocarburos, PM Y CO.

La siguiente **Tabla 3** expone los límites permisibles de masa de contaminante por unidad de distancia (g/km) aplicables en la normativa Europea.

Tabla 3. Normas de regulación Europea.

Norma	CO(g/Km)	HC(g/Km)	HC+NOx (g/Km)	NOx (g/Km)	PM (g/Km)	PN(#//Km)
Euro I (Julio 1992)	2.72	-	0.97	-	-	-
Euro II (enero 1996)	2.20	-	0.50	-	-	-
Euro III (enero 2000)	2.30	0.20	-	0.15	-	-
Euro IV (enero 2005)	1.00	0.10	-	0.08	-	-
Euro V (septiembre 2009)	1.00	0.10	-	0.06	0.005(DI)	-
Euro VI (septiembre 2014)	1.00	0.10	-	0.06	0.005(DI)	6x10 ¹¹ (DI)

Fuente: (Comisión Europea, 2022).

4.13.2 Normativa Americana

Los estándares de emisiones en los Estados Unidos están controlados por la (EPA). En esta entidad, las emisiones contaminantes están definidas por versiones cada vez más exigentes denominadas “tiers”, tal como se presenta en la **Tabla 4**. Además, la aplicación de esta normativa ha tenido un gran impacto en los estándares de emisiones requeridos que los fabricantes de automóviles deben cumplir para poder comercializar sus vehículos en el mercado. (Sánchez et al., 2019).

Tabla 4. Normas de regulación de emisiones en Estados Unidos.

NORMA	50000 millas/5años			100000 millas/10 años		
	CO(g/mi)	HC	NOx(g/mi)	CO(g/mi)	HC	NOx(g/mi)
California LEV III (Fase III)						
Emisiones bajas (LEV)	-	-	-	4.200		0.160
Emisiones ultra bajas (ULEV125)	-	-	-	2.100		0.125
Emisiones (ULEV70)	-	-	-	1.700		0.070
Emisiones ultra bajas (ULEV30)	-	-	-	1.700		0.050
Emisiones ultra bajas (SULEV30)	-	-	-	1.000		0.030
Emisiones ultra bajas (SULEV20)	-	-	-	1.000		0.020

Fuente: (EPA, 2014).

TLEV: emisiones vehiculares muy bajas transitorias.

ULEV: emisiones vehiculares ultra bajas.

LEV: emisiones vehiculares bajas.

PZEV: emisiones vehiculares parcial cero (cero emisiones por evaporación).

SULEV: emisiones vehiculares súper ultra bajas.

ZEV: emisiones vehiculares cero (eléctricos e hidrógeno).

4.13.3 Normativa Ecuatoriana

En cuanto a los estándares de calidad implementados en el Ecuador como se observa en la **Tabla 5**, se propone en el reglamento técnico ecuatoriano INEN 2204:2008, que especifica los límites permisibles de emisión de contaminantes terrestres que son aplicables a los vehículos terrestres con más de tres ruedas fuente móvil (Loza Lalangui Carlos Paul et al., 2022).

Tabla 5. Límites máximos en la Normativa Ecuatoriana.

CATEGORÍA	Peso Bruto del Vehículo (Kg)	CO (g/Km)	HC (g/Km)	NOx (g/Km)	Ciclo de prueba
Ciclo Americano					
Livianos (año>2000)	-	2.10	0.25	0.62	FTP-75
Medianos (año>2000)	3860	6.20	0.50	0.75	FTP-75
Ciclo europeo					
Livianos (año>2000)	3500	2.72	0.97		ECE15+EUDC

Fuente: (NTE INEN 2204, 2016).

CAPÍTULO III

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Zona de ubicación

El estudio se desarrolló en la provincia de Azuay, en el cantón Cuenca, al sur del país con una altura de 2500 m.s.n.m, su temperatura oscila entre los 11 y 23°C. En la **Figura 5** se encuentra la zona de ubicación donde se realizó el estudio.

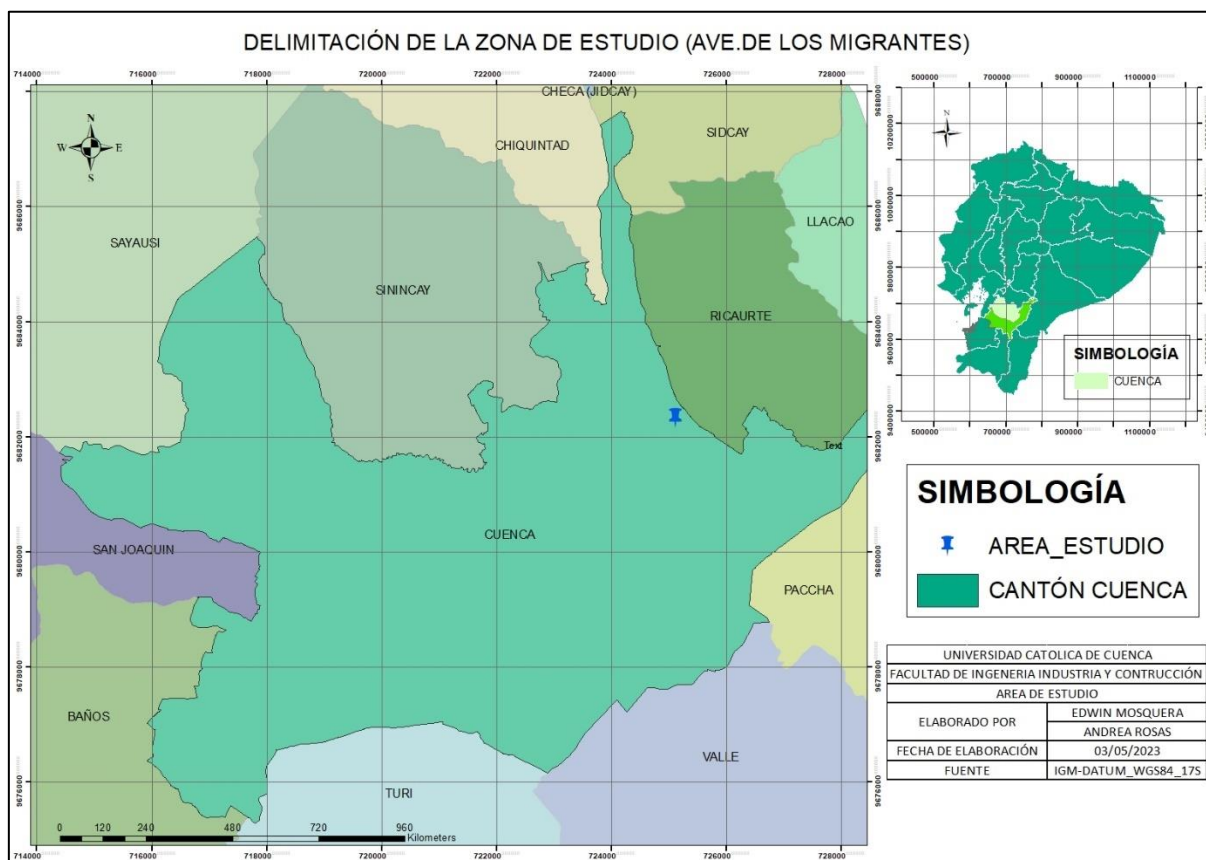


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio.

5.1.1 Ruta de la zona de monitoreo (Avenida de los Migrantes)

Para seleccionar la ruta se consideró diferentes criterios, como el flujo vehicular, las características de la zona, la población y la presencia del sector industrial. Como se puede observar en la **Figura 6** se ha seleccionada una ruta de 1.6 km que inicia en la Avenida de los Migrantes, en la intersección con la Avenida 25 de marzo, finalizando en la intersección con la Panamericana Norte. El número total de kilómetros recorrido en el monitoreo de investigación fue de 209 kilómetros.



Figura 6. Ruta de la zona de monitoreo (Avenida de los Migrantes)

Fuente: Google Earth, 2023.

5.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación se basa en un método cuantitativo, debido a que se recopilaron datos sobre las distintas emisiones de gases contaminantes de los vehículos de gasolina y eléctrico, mediante herramientas de medición y análisis. De este modo, este enfoque permitió proponer modelos que describen el comportamiento de las emisiones contaminantes.

El proyecto se basa en un diseño cuasi experimental, ya que se utilizaron los resultados de las emisiones de gases de las dos fuentes móviles. Este tipo de diseño se refiere a investigaciones experimentales en las que las muestras de estudio no se asignan de manera aleatoria. Los diseños cuasi experimentales más comunes siguen la misma lógica y consisten en comparar diferentes grupos de tratamiento y control, similar a lo que ocurre en los ensayos aleatorios de acuerdo a Eraut, 1982).

5.2.1 Diseño cuasi experimental

El diseño contempló la implementación de la NTE INEN 2 204: 2002, EPA, y la Normativa Europea, con el propósito de medir las emisiones contaminantes relacionados con vehículos de tipo livianos. Esto se logra mediante el uso de sensores de análisis de emisiones diseñados específicamente para el vehículo. A continuación, en la **Figura 7** se representa mediante un diagrama de flujo el diseño cuasi experimental para el procedimiento de cuantificación de contaminantes en las dos fuentes móviles.

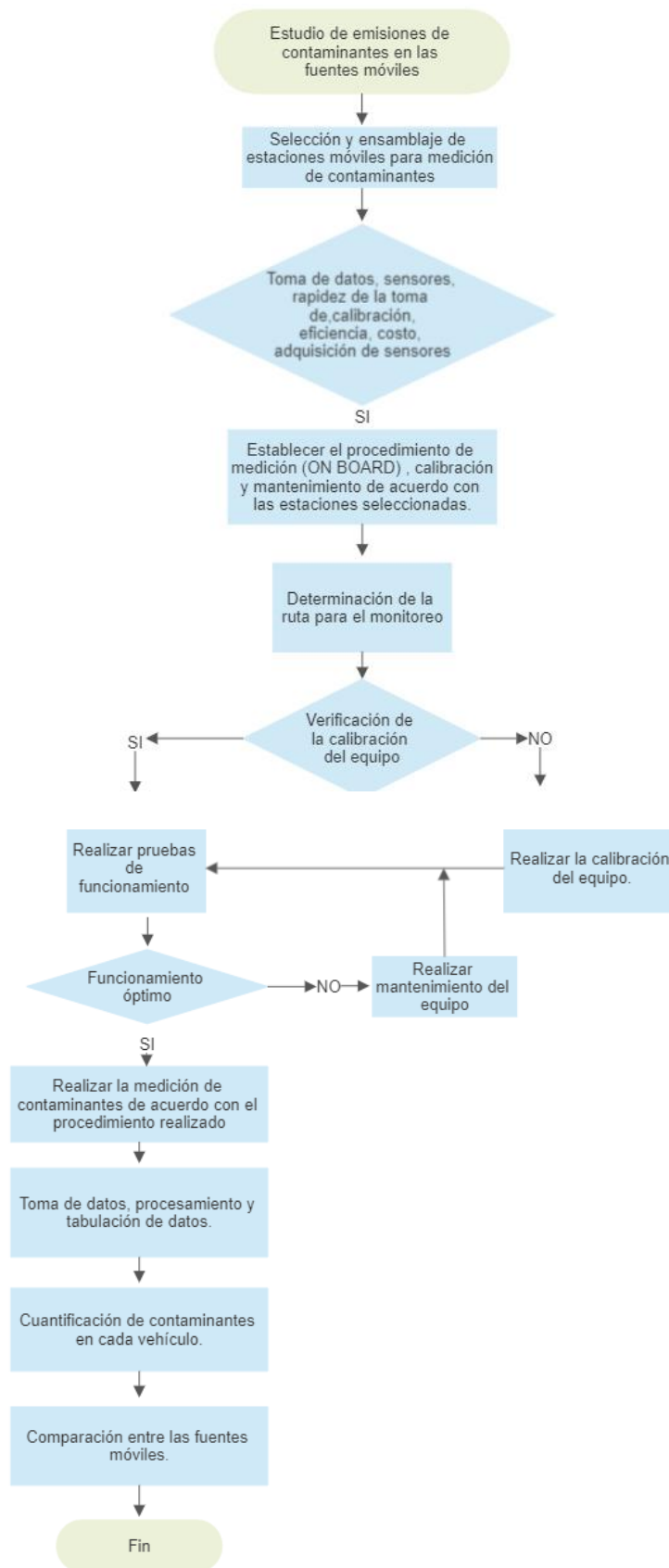


Figura 7. Diagrama de flujo del diseño cuasi experimental para el procedimiento de cuantificación de contaminantes en las dos fuentes móviles.

5.3 Selección de vehículos

La industria del parque automotor en el Ecuador presenta un crecimiento en este 2023, luego del decrecimiento que presentó esta industria por la pandemia del COVID 19. Se tiene como dato un total de 149.809 vehículos vendidos en lo que va en el transcurso del año (Franco-Ruiz & Jiménez-Castro, 2021).

La industria del parque automotriz presentó un crecimiento del 35% en comparación al año 2022, donde se vendieron un total de 110.970 vehículos. Donde se evidenció que el mes de agosto fue el más alto en ventas del año, con un total de 16.852 vehículos vendidos. A continuación, **Tabla 6** se presenta las 5 marcas que más autos vendieron durante el 2022, según datos de la CINAE.

Tabla 6. Marcas de vehículos más vendidas en el Ecuador en el 2022.

Marcas	Unidades vendidas
Chevrolet	22778
Kia	16648
Toyota	9226
Renault	6845
Chery	6737

Fuente: (Robayo Fernando, 2022).

En la **Figura 8**, se muestra un diagrama circular con los porcentajes de las marcas de vehículos más vendidas en Ecuador en el año 2022.



Figura 8. Marcas de vehículos 2022

Fuente: (Robayo Fernando, 2022).

5.3.1 Especificaciones de los vehículos

Con el fin de cumplir los objetivos, se utilizaron dos automóviles de diferentes tipos de marca, un Chevrolet Cruze y Chock G2 que se evidencia en la **Figura 9**.



Figura 9. Vehículos utilizados para realizar el monitoreo en la ruta establecida: a) Vehículo Dayan Chock G2; b) Vehículo Chevrolet Cruze.

Se especifica a continuación en la **Tabla 7**, las especificaciones técnicas de los automóviles que se utilizaron en el proyecto.

Tabla 7. Especificaciones técnicas de los automóviles (VCI Y VE).

Datos	Especificaciones Vehículo 1	Especificaciones Vehículo 2
Marca	Chevrolet	Dayang
Modelo	Cruze	DY-GD04A
Cilindraje (L)	1.6	0
Potencia (KW)	83	4.5
Transmisión	Automático	Automático
Kilometraje	98538	5419
Tipo de peso	Liviano(<=3,5T)	Liviano (<3,5T)
Año de fabricación	2018	2019

5.4 Ciclos de prueba

5.4.1 Ciclo FTP-75

Se empleó el ciclo de prueba dinámico FTP-75 de la (EPA) recomendado para evaluar vehículos livianos y medianos. Esta elección se hizo debido a la alineación del ciclo de prueba con las condiciones reales de conducción en ciudad, finalmente la **Tabla 8**, muestra los criterios que se tomaron en cuenta en el estudio.

Tabla 8. Criterios aplicados para garantizar la validez de las mediciones.

Parámetro	Condiciones de validez de prueba	Premisa de las condiciones
Velocidad (vehículo de prueba)	Menos de 17.70 km/h en carreteras pavimentadas.	Para disminuir el impacto de las corrientes de viento de tipo ambiental, es crucial disminuir cualquier interrupción. Los vientos cruzados tienen un efecto sobre la orientación de la ubicación de la muestra en relación con los neumáticos de un vehículo, que luego altera la forma de la pluma y su punto central de gravedad.
Aceleración	Menos de 2.09 km/h.	El cizallamiento en el lado durante la deceleración alrededor de las zonas de entrada de muestras permite que las estimaciones en tiempos de alta velocidad sean poco exactas.
Desaceleración	Menos de 2.09 km/h.	El cizallamiento en el lado durante la deceleración alrededor de las zonas de entrada de muestras permite que las estimaciones en tiempos de alta velocidad sean poco exactas.

Fuente: (EPA, 2014).

5.5 Metodología para recolección de datos

Existen diferentes metodologías para llevar a cabo las distintas pruebas de emisión de gases y recopilar información, las cuales permiten calcular los diferentes factores de emisión. Estas metodologías incluyen tanto pruebas estáticas como pruebas dinámicas, las cuales se desarrollan mediante la aplicación de métodos diseñados después de numerosos experimentos llevados a cabo en distintas partes del mundo.

Para lograr cumplir la investigación, en el caso del vehículo a combustión, se adoptó la metodología utilizada por (Darwin, 2015). En dicho estudio, manifiesta que se utilizó cinco vehículos de combustión para analizar el alcance de la contaminación atmosférica a través de pruebas de análisis de gases en tiempo real realizadas a bordo, donde se recogió los datos mediante el uso de sensores instaladas en las estaciones móviles, registrando las concentraciones de contaminantes a intervalos regulares de tiempo (cada 1 hora). En el presente trabajo, la estación móvil se desplazó en la parte trasera de los vehículos a la altura del escape, a una altura de 44 cm sobre el suelo en ruta establecida (Avenida de los Migrantes). Se recopilaron datos de las concentraciones cada 0.25 segundos.

Para llevar a cabo la investigación con éxito, en el caso del vehículo eléctrico, se adoptó la metodología utilizada por (Zheng et al., 2020). Enfatiza que los resultados revelan que un vehículo de tipo eléctrico de batería promedio emite un 35% menos de gases con un automóvil de gasolina promedio. Los BEV reducen las emisiones de compuestos (COV) en un 98% y las emisiones de

óxidos de nitrógeno (NOX) en un 34%. Sin embargo, las emisiones primarias de partículas finas (PM_{2,5}) y dióxido de azufre (SO₂) son comparables o ligeramente superiores.

5.5.1 Pruebas Dinámicas transitorias

Durante las pruebas transitorias, las muestras de los gases se recogieron de una manera continua a lo largo de todo el ciclo de prueba (FTP-75). Las muestras se recolectaron con un volumen constante y se midieron en unidades de masa. La experimentación requirió el uso de sensores particulares que son capaces de tomar muestras en circunstancias de conducción en carretera.

Para analizar las emisiones de contaminantes de los vehículos mientras están en movimiento y en condiciones reales de operación, la investigación implementa el método de prueba dinámico transitorio ON BOARD.

3.5.1.1 Prueba de medición experimental On Board

La metodología On Board desarrollada por la (EPA) es un enfoque para medir las emisiones de vehículos livianos mientras se manejan en condiciones reales. Esta técnica proporciona información precisa y actualizada sobre las emisiones generada por los vehículos, lo que contribuye a la mejora de la regulación y control de la contaminación atmosférica, como se muestra en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Aspectos principales de la metodología On Board

Aspecto	Descripción
Objetivo	Medir y evaluar las emisiones de tipo contaminantes atmosféricos generados por vehículos livianos.
Dispositivo de medición	Equipo instalado en el vehículo que registra datos de emisiones en tiempo real.
Gases y partículas	(SO ₂), (NO ₂), (CO), (CO ₂), (PM _{2.5}).
Condiciones de conducción	Se realizan mediciones en situaciones cotidianas de conducción, considerando tráfico y velocidad.
Ventajas	Proporciona datos más precisos y representativos de las emisiones en condiciones reales.
Uso de resultados	Evaluar el desempeño ambiental de los vehículos, detectar incumplimientos de regulaciones y mejorar los sistemas de control de emisiones.
Influencia en políticas	Los resultados se utilizan para establecer políticas y estándares más efectivos de emisiones vehiculares.

Fuente: (EPA, 2014).

5.6 Estaciones de monitoreo móviles

Las estaciones fueron diseñadas y ensambladas en la Unidad Académica, la estación móvil para el vehículo de combustión cuenta con cuatro sensores para la medición de concentración: (SO₂), (NO₂), (CO), (CO₂), Material particulado (PM 2,5). Para el BEV, se utilizó la estación móvil con dos sensores para la medición de contaminantes: (SO₂) y (PM 2,5). Se utilizó ocho baterías que dio un funcionamiento de una hora para los equipos. Debido a su tamaño y peso ligero, los equipos se pudieron instalar con facilidad para la movilización durante los monitoreos, el tiempo que utiliza los sensores para la recolección de datos es de intervalos de 25 segundos.

Como se indica en la **Figura 10** las estaciones móviles utilizadas en el monitoreo para la toma de muestra de concentraciones de tipo contaminantes que se encuentran en el área de estudio en la ruta establecida.

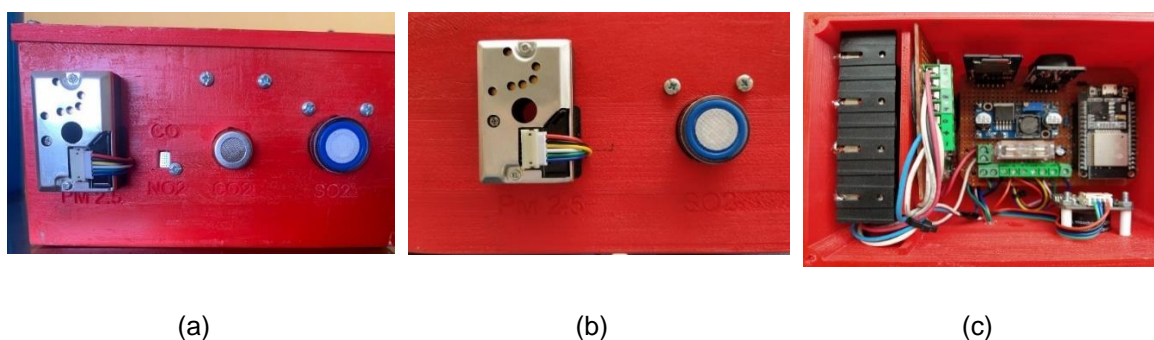


Figura 10. Estaciones móviles utilizados para realizar el monitoreo en la ruta establecida: a) Estación móvil del vehículo a combustión; b) Estación móvil del vehículo eléctrico; c) Vista interna de la estación móvil con sus sensores.

5.6.1 Sensores

Los sensores utilizados en los monitoreos para la obtención de concentración de contaminantes en las dos fuentes móviles se encuentran descritos en la siguiente **Tabla 10**.

Tabla 10. Sensores de las estaciones móviles.

Cantidad	Sensor	Contaminante
1	Módulo sensor (MICS – 6814).	Monóxido de carbono (CO) Dióxido de nitrógeno (NO ₂)
2	Módulo sensor de material particulado (GP2Y1010AU0F).	Material particulado menor a 2.5 micras (PM 2,5)
2	Modulo sensor de dióxido de azufre (SEN0470).	Dióxido de azufre (SO ₂)
1	Módulo sensor de dióxido de carbono (MG-811)	Dióxido de carbono (CO ₂)

Fuente: Autores

5.6.2 Componentes electrónicos

Los componentes electrónicos necesarios para la construcción de las estaciones móviles se presentan en la siguiente **Tabla 11**.

Tabla 11. Componentes electrónicos de las estaciones móviles.

Cantidad	Descripción
2	Módulo Microcontrolador Esp32 (30 pines).
3	Módulo reductor de voltaje Boost DC-DC Step Down LM2596S.
7	Terminal conector tipo bloque para PCB3 pines.
7	Peineta hembra 40 pines.
4	Conector Jack plug socket
2	Módulo lector de tarjetas micro SD.
2	Memoria micro SD 8GB/Clase 10 Sandisk Ultra.
2	Mini interruptor 2 pines ON/OFF 250V/3A 10x15mm.
2	Diodo 1N4007.
2	Fusible y porta fusible 3A.
2	Modulo RTC DS3231.
8	Baterías de litio 18650 6800mAh.
2	Porta baterías (4 baterías).
2	Cargador de baterías BMS 4S.
2	Cargadores 16v 2A
4	Baquelina 10x8 cm.

Fuente: Autores

5.7 Calibración de los sensores

5.7.1 Estación de monitoreo móvil para Vehículo Eléctrico

Los sensores vienen previamente pre- calibrados de fábrica, por lo tanto, se necesitó de calibrar en la Unidad de Posgrado comparándole con la estación más cercana de la EMOV, ubicada en la parroquia Machángara, el modelo es Teledyne, de esta forma se procedió a realizar una comparación de los datos de las estaciones durante un lapso de siete días para comprobar la validez de los datos.

En la **Figura 11** se observa la estación de monitoreo para el BEV con sus sensores, la cual cuenta con dos sensores para la medición de material particulado y dióxido de azufre.

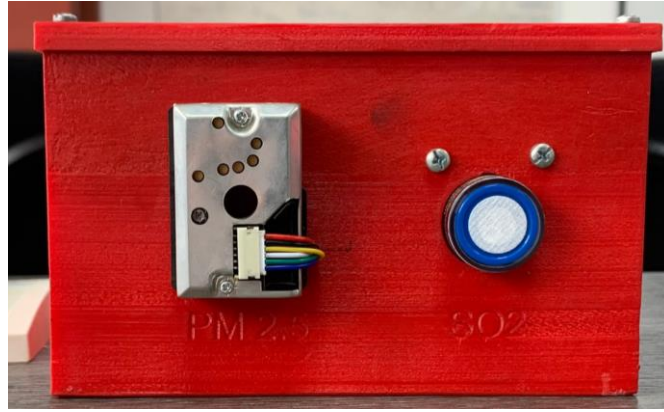


Figura 11. Estación móvil para monitoreo en el BEV

5.7.1.1. Descripción de los sensores de la estación móvil para el BEV

El módulo sensor GP2Y1014AU0F, corresponde para la medición de PM 2,5, el cual cuenta con un sistema de detección óptica, capaz de detectar la luz reflejada por el polvo, este sensor viene previamente calibrado de fábrica.

El módulo sensor SEN0470, detecta la concentración de dióxido de azufre, este sensor viene previamente calibrado de fábrica.

5.7.2 Estación de monitoreo móvil para Vehículo a combustión

Los sensores vienen pre calibrados de fábrica, por lo tanto, se necesitó verificar la calibración en la Unidad de Posgrado, comparándole con la estación más cercana de la EMOV, ubicada en la parroquia Machángara, el modelo de la estación fija es Teledyne, de esta forma se procedió a realizar una comparación de los datos de las estaciones durante un lapso de siete días para comprobar la validez de los datos.

En la **Figura 12** se observa la estación de monitoreo para el vehículo a combustión, con sus sensores, la cual cuenta con cuatro sensores para la medición de material particulado menor a 2,5 micras, dióxido de azufre, monóxido de carbono y dióxido de carbono.



Figura 12. Estación móvil para el monitoreo en el vehículo a combustión.

5.7.2.1. Descripción de los sensores de la estación móvil del vehículo a combustión

El módulo sensor GP2Y1014AU0F, corresponde para la medición de PM 2,5, el cual cuenta con un sistema de detección óptica, capaz de detectar la luz reflejada por el polvo, este sensor viene previamente calibrado de fábrica.

El módulo sensor SEN0470, detecta dióxido de azufre, este sensor viene previamente calibrado de fábrica.

El módulo sensor MICS – 6814, tiene la capacidad de medir el denominado monóxido de carbono de carbono y dióxido de nitrógeno de forma independiente, cuenta con una pre- calibración de fábrica en condiciones ambientales controladas a $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ y $50\pm 10\%$ HR.

El módulo sensor MG811, detecta la concentración de dióxido de carbono, la cual consiste en un sensor electroquímico cuya resistencia varía en presencia de esta sustancia. Para llevar a cabo la calibración del sensor, se requiere someterlo a un proceso de precalentamiento durante un período ininterrumpido de 24 horas.

Para llevar a cabo la calibración del sensor, se adquiere la curva de sensibilidad tanto para la sustancia objetivo como para el aire de referencia. Para esto, se examina la hoja de especificaciones técnicas (datasheet) del sensor, la cual proporciona una representación gráfica de la curva de sensibilidad. Con el fin de obtener las coordenadas de la curva de sensibilidad del gas objetivo, se utilizó la herramienta informática WebPlotDigitizer para marcar los puntos de sensibilidad que componen dicha curva. Posteriormente, se exportaron estos datos y se generó la gráfica de la curva de sensibilidad del sensor para el dióxido de carbono, así como se obtuvo la ecuación de calibración correspondiente utilizando una hoja técnica. Esta ecuación se incorpora en la programación final del sensor para lograr una detección más precisa.

5.8 Línea Base

5.8.1 Ubicación de las estaciones fijas en la ruta del monitoreo



Figura 13. Ubicación de las estaciones fijas en la ruta del monitoreo

Para la toma de datos de la línea base, se tomaron en cuenta tres puntos específicos de la ruta del monitoreo de las fuentes móviles como se puede observar en la **Figura 13**, además las estaciones se colocaron a una altura de 54 cm desde el piso, además los horarios del monitoreo se realizaron a las 9:30 am hasta las 10:15 am, y para el segundo monitoreo se colocaron en el horario de las 15:30 pm hasta las 16:15 pm. La toma de datos de las estaciones fijas se registra cada 2, 3 minutos. En la **Figura 14** se observa la estación fija en su zona de monitoreo.



Figura 14. Estación fija en el punto 2 de la ruta de monitoreo.

La toma de datos de las estaciones fijas se obtuvo durante un lapso de 14 días, de lunes a domingo, dependiendo de las circunstancias climáticas del área de estudio, se presentaron diferentes inconvenientes con las condiciones climáticas, debido a que existió precipitaciones y fuertes vientos en algunos días, por lo que se decidió no realizar monitoreos, debido a que los datos se representan alterados, los monitoreos se deben realizar siempre y cuando se cumpla con los escenarios adecuados.

Las estaciones fijas debieron permanecer encendidas las 24 horas para mantenerlas cargadas y calibradas, esto ayudando a que no se desconfiguren, en las horas de monitoreo para la toma de datos, cada estación fue conectada a un dispositivo que le compartió internet, procesando la información requerida.

5.9 Cuantificación de la concentración de contaminantes

5.9.1 Vehículo eléctrico

Se registraron las concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de varios contaminantes, como $\text{PM}_{2.5}$ y SO_2 en diferentes lapsos del día (9:30 a.m., 15:30 p.m.) de lunes a domingo. La estación móvil midió estas concentraciones a intervalos de tiempo específicos (0.25 segundos). La duración de los recorridos varió entre 35 y 48 minutos, con una velocidad de 15 a 17 km/h. Los datos obtenidos se almacenaron en canales dedicados a cada zona de estudio en la plataforma "ThingSpeak", lo que permite visualizarlos instantáneamente desde una computadora o teléfono celular. Posteriormente, los datos se descargaron en formato CSV de Excel para su posterior análisis y procesamiento.

Como se observa en la **Figura 15**, los registros de los datos que se obtuvieron mediante la aplicación "Thingspeak" en el vehículo eléctrico.

La estación móvil del vehículo eléctrico, debió permanecer encendida las 24 horas para mantenerla cargada y calibrada, esto ayudando a que no se desconfigure, en las horas de monitoreo para la toma de datos, la estación fue conectada a un dispositivo que le compartió internet, procesando la información requerida.



Figura 15. Datos obtenidos durante el monitoreo en la aplicación "Thingspeak" en el vehículo eléctrico.

5.9.2 Vehículo a combustión

Se realizaron registros de concentraciones en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de diversos contaminantes (CO , NO_2 , CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ y SO_2) en diferentes lapsos del día (9:30 a.m., 15:30 p.m.) de lunes a domingo. La estación móvil midió estas concentraciones a intervalos de tiempo específicos (0.25 segundos). La duración de los recorridos varió entre 35 y 48 minutos, con una velocidad promedio de 15 a 17 km/h. Los datos obtenidos se almacenaron en canales dedicados a cada zona de estudio en la plataforma "ThingSpeak", lo que permite visualizarlos instantáneamente desde una computadora o teléfono celular. Posteriormente, los datos se descargaron en formato CSV de Excel para su posterior análisis y procesamiento.

La estación móvil del vehículo a combustión, debió permanecer encendida las 24 horas para mantenerla cargada y calibrada, esto ayudando a que no se desconfigure, en las horas de monitoreo para la toma de datos, la estación fue conectada a un dispositivo que le compartió internet, procesando la información requerida.

En la **Figura 16** se observa los registros de los datos que se obtuvieron mediante la aplicación "Thinkspeak" en el vehículo a combustión.



Figura 16. Datos obtenidos durante el monitoreo en la aplicación "Thinkspeak" en el vehículo a combustión.

5.10 Procesamiento y comparación de los datos obtenidos

Al finalizar con los catorce días de monitoreo de los dos vehículos, se procedió a analizar los datos obtenidos de las estaciones, teniendo como primer paso la sincronización de datos obtenidos, que se encuentran en formato CSV de Excel.

Una vez realizadas las operaciones de vinculación de datos, se llevó a cabo un proceso de filtrado en ambos tipos de bases de datos se llevó a cabo un proceso para eliminar las celdas vacías y los valores atípicos que podrían haber surgido debido a reinicios de estaciones o interrupciones en la medición. Estos valores carecen de relevancia en el análisis y, por lo tanto, se excluyeron del conjunto de datos.

Finalmente, con los datos obtenidos, se los llevó al software estadístico RStudio para realizar una correlación de los datos registrados en las estaciones, en la cual comparamos la concentración de contaminantes de las dos fuentes móviles. Para este procedimiento se procedió a aplicar un análisis de varianza ANOVA y una prueba de análisis Kruskal – Wallis para realizar la comparación de medias entre los dos vehículos.

En la **Figura 17**, se pudo observar la topología del sistema de monitoreo ambiental implementado para la toma de datos de los niveles de concentración de contaminantes en las fuentes móviles.

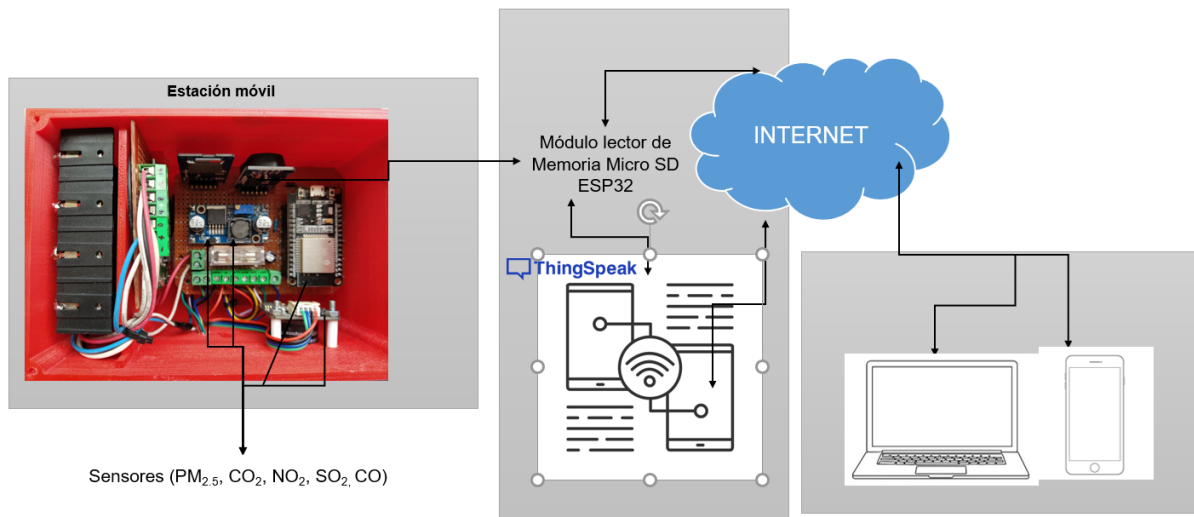


Figura 17. Topología del sistema de monitoreo implementado.

CAPÍTULO IV

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Concentración de contaminantes en las estaciones fijas ubicadas en la zona

6.1.1 Concentración de CO en las estaciones fijas

A continuación, se presenta en la **Tabla 12** con respecto a la estación fija 1, **Tabla 13** con respecto a la estación fija 2 y **Tabla 14** en relación a la estación fija 3, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de CO, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 12. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 1.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Domingo	Matutino	16.62	12.5	20
	Lunes	Matutino	12.17	10	16
		Vespertino	13.92	13	16
	Martes	Matutino	20.48	14	25.5
		Vespertino	11.67	11	13
	Miércoles	Matutino	25.97	20	30
		Vespertino	24.44	17.5	31.5
	Jueves	Matutino	17.28	18.5	27.5
		Vespertino	23.82	16	32
	Viernes	Matutino	17.73	11	31
		Vespertino	17.07	10	23
	Sábado	Matutino	17.40	16	33
		Vespertino	17.31	17	18

Tabla 13. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 2.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
2	Domingo	Matutino	23.72	20	28
	Lunes	Matutino	23.48	20.5	28.75
		Vespertino	25.90	20.5	28.25
	Martes	Matutino	23.44	19	27.75
		Vespertino	24.29	18	29.75
	Miércoles	Matutino	22.69	20.75	25.75
		Vespertino	26.03	20.5	29.25
	Jueves	Matutino	23.03	18.75	27.75
		Vespertino	22.39	16	29.5

Viernes	Matutino	23.77	17.25	31.5
	Vespertino	22.23	17	32
Sábado	Matutino	20.92	16	29
	Vespertino	24.75	21	30

Tabla 14. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación fija 3.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
3	Domingo	Matutino	19.27	20.5	28.5
	Lunes	Matutino	16.54	20.5	28.75
		Vespertino	33.69	20.5	28.25
	Martes	Matutino	25.00	19	29.75
		Vespertino	24.83	18	29.75
	Miércoles	Matutino	24.97	20.75	25.75
		Vespertino	17.41	20.5	29.25
	Jueves	Matutino	21.41	18.75	27.75
		Vespertino	29.10	16	29.75
	Viernes	Matutino	23.62	17.25	31.5
		Vespertino	22.62	17	32
	Sábado	Matutino	21.21	16	30.75
		Vespertino	24.38	21	30.75

En la **Figura 18** se muestra que en la estación fija 1, el nivel de concentración de CO está en un rango que va desde 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el caso de la estación fija 2, la concentración de CO aumenta, presentando un rango entre 21 a 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; y finalmente en la estación fija 3, el nivel de concentración de CO, está en un rango entre 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Teniendo como resultado que la estación fija 2 es la que presenta mayor concentración de CO.

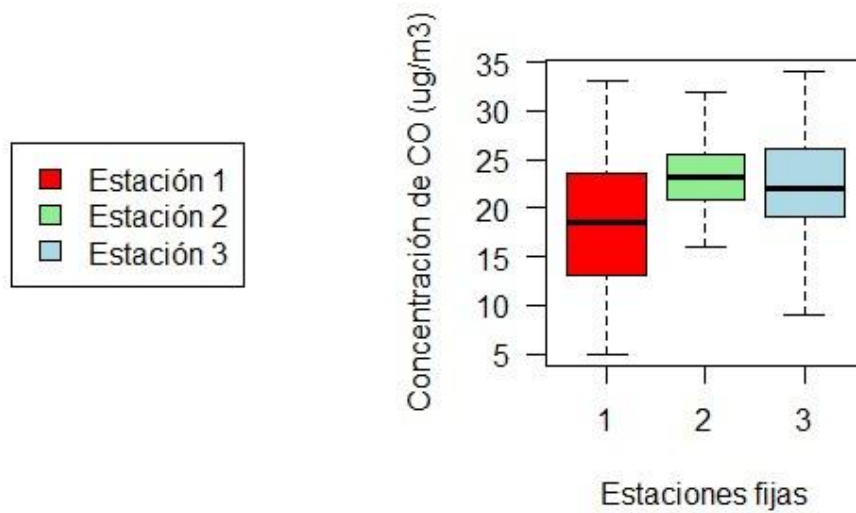


Figura 18. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las estaciones fijas 1, 2 y 3.

En la **Figura 19** se observa el comportamiento del CO a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija 1, los niveles de concentración los primeros días fue aumentando exponencialmente hasta el 31 de mayo, luego el nivel de concentración decrece hasta el 3 de junio, y finalmente llega a su nivel más alto de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta el final de monitoreo. Con respecto a la estación fija 2, los primeros días de monitoreo alcanza su punto más alto de concentración y a partir del 30 de mayo baja hasta $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ manteniéndose constante entre 22 y $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, en la estación fija 3, el nivel de concentración se mantiene constante a lo largo del monitoreo.

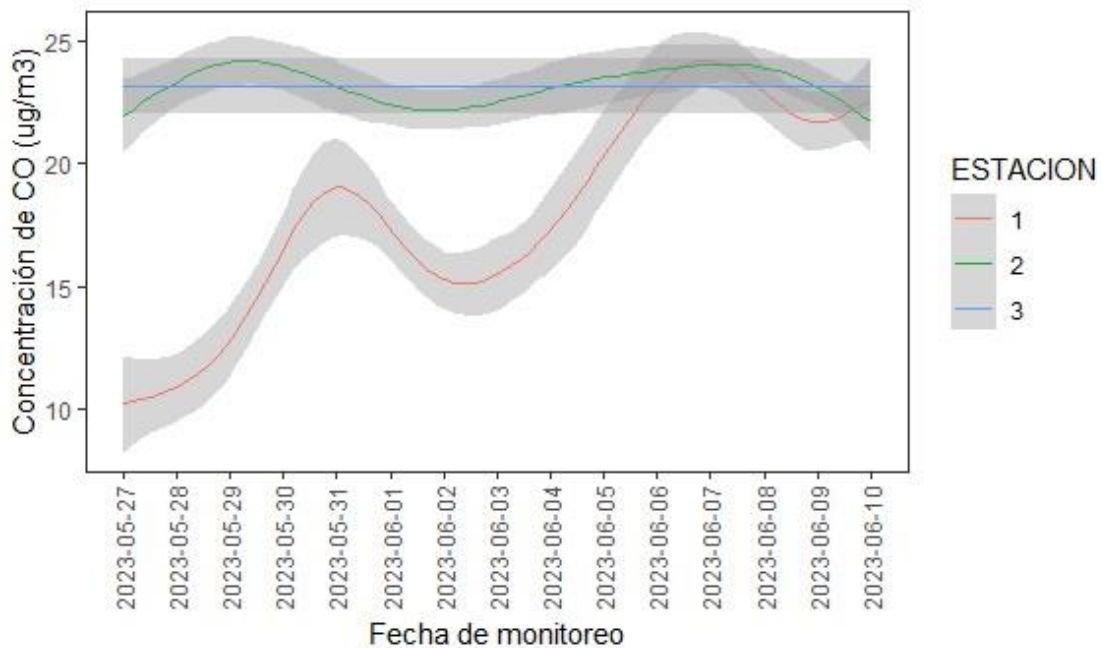


Figura 19. Comportamiento de los niveles de concentración de CO durante los días de monitoreo.

6.1.2 Concentración de CO₂ en las estaciones fijas

Se indica en la **Tabla 15**, **Tabla 16** y **Tabla 17** en relación a los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de CO₂ de las estaciones fijas 1, 2 y 3 respectivamente, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 15. Valores máximos, media y mínimo del CO₂ en la estación fija 1.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Domingo	Matutino	419.44	409	465
	Lunes	Matutino	1,050.25	624	2188
		Vespertino	1,604.85	717	2318
	Martes	Matutino	414.69	407	440
		Vespertino	620.5	615	650
	Miércoles	Matutino	414	410	425
		Vespertino	424.68	422	428
	Jueves	Matutino	804.57	578	1229
		Vespertino	419.83	409	428
	Viernes	Matutino	988.37	411	1899
		Vespertino	411	425	421
	Sábado	Matutino	742	576	1229
		Vespertino	410	408	411.5

Tabla 16. Valores máximos, media y mínimo del CO₂ en la estación fija 2.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
2	Domingo	Matutino	1,435.47	566	2742
	Lunes	Matutino	678.58	428	878
		Vespertino	1,134.07	513	2243
	Martes	Matutino	695.55	410	2719
		Vespertino	1,365.83	1008	1587
	Miércoles	Matutino	3,396.56	447	8360.5
		Vespertino	1,194.09	688.5	2207
	Jueves	Matutino	1276	554	1924
		Vespertino	1924	525	2742
	Viernes	Matutino	1,222	696	1518
		Vespertino	1873.41	1474	2318
	Sábado	Matutino	2,225.71	2118	2436
		Vespertino	2,351.50	2243	2541

Tabla 17. Valores máximos, media y mínimo del CO₂ en la estación fija 3.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
3	Domingo	Matutino	583.55	452	679
	Lunes	Matutino	422.15	407	509
		Vespertino	416.92	410	464
	Martes	Matutino	413	409	428
		Vespertino	422.50	421	425
	Miércoles	Matutino	716.50	437.5	758
		Vespertino	413.00	408.5	459.5
	Jueves	Matutino	422.28	420	427
		Vespertino	424.38	419	431
	Viernes	Matutino	433.06	420	474
		Vespertino	515.66	503	545
	Sábado	Matutino	520	451	560
		Vespertino	534.33	20	553

En la **Figura 20** indica que en la estación fija 1, el nivel de concentración de CO₂ tiene una media de 400 ppm; en el caso de la estación fija 2, la concentración de CO₂ aumenta, presentando un rango entre 900 a 2200 ppm, con una media de 1300 ppm; y finalmente en la estación fija 3, el nivel de concentración de CO₂, presenta una media de 300 ppm. Teniendo como resultado que la estación fija 2 es la que presenta mayor concentración de CO₂.

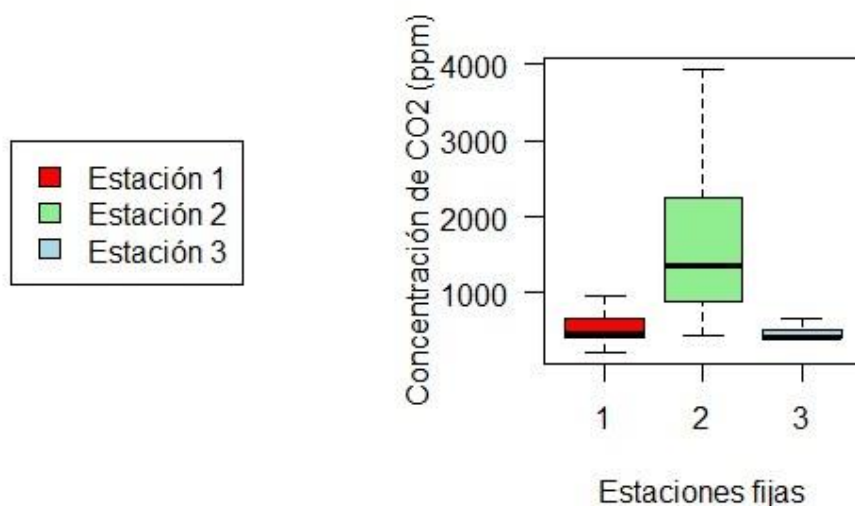


Figura 20. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO₂ (ppm) en las estaciones fijas 1,2 y 3.

En la **Figura 21** representa el comportamiento del CO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija 1, los niveles de concentración los primeros días comienza con una alta concentración de CO₂, llegando a su punto más alto con 1300 ppm; luego el nivel de

concentración llega a su punto más bajo con 100 ppm, y finalmente se mantiene constante hasta el final del monitoreo con 300 ppm. Con respecto a la estación fija 2, los primeros días de monitoreo presenta un nivel de concentración en aumento hasta llegar a su punto más alto de 1800 ppm en la última semana de monitoreo. Finalmente, en la estación fija 3, el nivel de concentración empieza con 400 ppm, llegando a su punto máximo de 500 ppm y luego se mantiene constante dentro de ese rango.

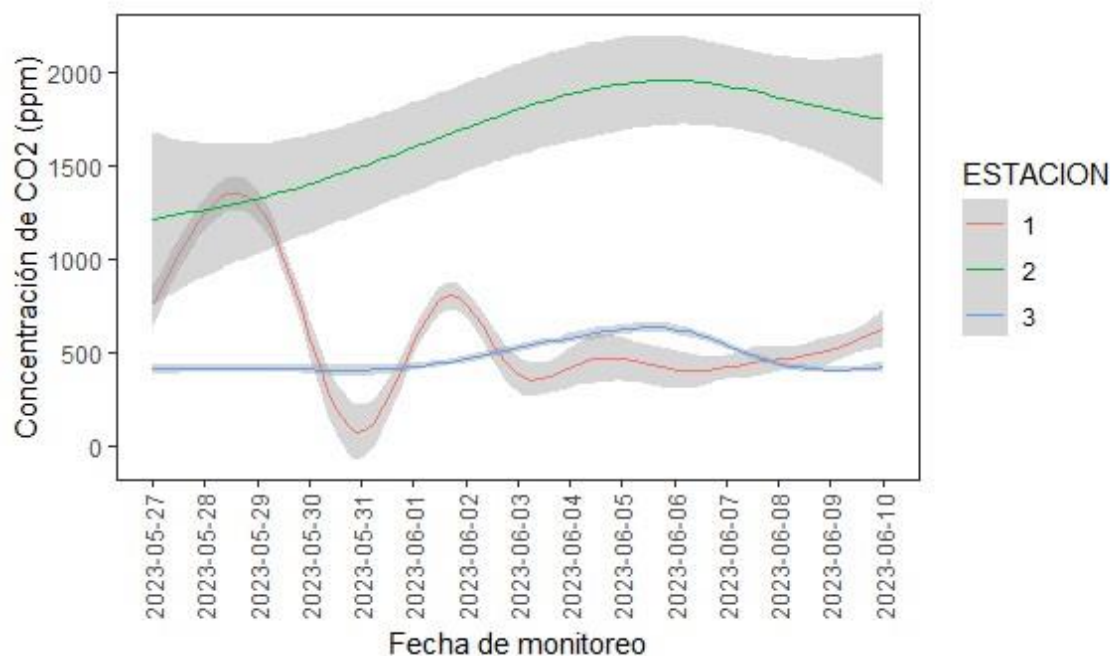


Figura 21. Comportamiento de los niveles de concentración de CO₂ durante los días de monitoreo.

6.1.3 Concentración de NO₂ en las estaciones fijas

Se indica en la **Tabla 18**, **Tabla 19** y **Tabla 20**, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de NO₂ en relación a las estaciones fijas 1, 2 y 3 respectivamente, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 18. Valores máximos, media y mínimo del NO₂ en la estación fija 1.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Domingo	Matutino	22.51	18.665	26.785
	Lunes	Matutino	22.64	17.55	30.48
		Vespertino	26.21	22.7	29.41
	Martes	Matutino	28.14	24.65	30.68
		Vespertino	29.62	19.3	35.74
	Miércoles	Matutino	30.37	26.69	32.91
		Vespertino	22.85	18.66	26.59
	Jueves	Matutino	31.14	24.27	37.49

		Vespertino	30.05	23.48	40.89
	Viernes	Matutino	27.65	22.99	35.93
		Vespertino	25.06	20.76	38.46
	Sábado	Matutino	21	21.58	41.08
		Vespertino	29.95	25.72	40.89

Tabla 19. Valores máximos, media y mínimo del NO₂ en la estación fija 2.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
2	Domingo	Matutino	26.5	18.66	26.78
	Lunes	Matutino	17.56	15.89	21.24
		Vespertino	18.99	17.16	21.34
	Martes	Matutino	23.61	20.08	30.48
		Vespertino	16.93	17.16	18.81
	Miércoles	Matutino	32.01	27.37	36.85
		Vespertino	79.39	61.41	86.26
	Jueves	Matutino	11.85	13.96	18.42
		Vespertino	30.83	19	37.49
	Viernes	Matutino	18.48	13.58	23.82
		Vespertino	20.4	14.33	29.31
	Sábado	Matutino	15.36	10.25	18.81
		Vespertino	26.21	24.69	27.17

Tabla 20. Valores máximos, media y mínimo del NO₂ en la estación fija 3.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
3	Domingo	Matutino	24.81	20.76	38.94
	Lunes	Matutino	22.65	17.55	30.48
		Vespertino	26.21	22.7	29.41
	Martes	Matutino	28.14	24.65	30.68
		Vespertino	29.63	19.3	35.75
	Miércoles	Matutino	30.37	26.69	32.91
		Vespertino	22.86	18.66	26.59
	Jueves	Matutino	31.14	24.27	37.49
		Vespertino	30.05	23.48	40.89
	Viernes	Matutino	27.68	22.99	35.93
		Vespertino	25.06	20.76	38.46
	Sábado	Matutino	31.2	24.86	41.08
		Vespertino	29.95	25.72	40.89

En la **Figura 22** indica que en la estación fija 1, el nivel de concentración de NO₂ está en un rango que va desde 18 µg/m³ a 29 µg/m³, con una media de 24 µg/m³; en el caso de la estación fija 2, la concentración de NO₂ disminuye sin mucha diferencia, con la misma media de 24 µg/m³; y finalmente en la estación fija 3, el nivel de concentración de NO₂, está en un rango entre 23 µg/m³ a 30 µg/m³, con una media de 22 µg/m³. Teniendo como resultado que la estación fija 3 es la que presenta mayor concentración de NO₂.

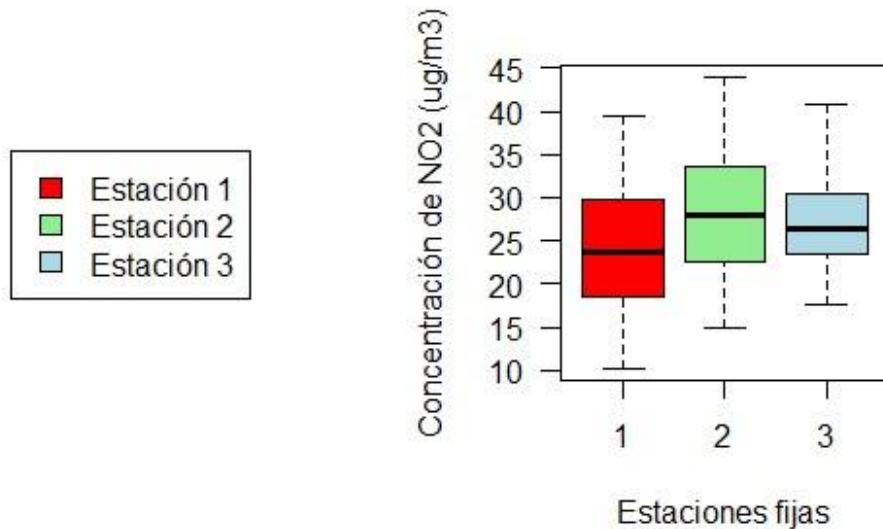


Figura 22. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO₂ (µg/m³) en las estaciones fijas 1,2 y 3.

En la **Figura 23** se observa el comportamiento del NO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija 1, los niveles de concentración del NO₂, empieza en 18 µg/m³, luego llegando a su punto más alto con 46 µg/m³ entre el día 7 y 8 de junio, para luego decaer en un nivel de 19 µg/m³ hasta el final del monitoreo. Con respecto a la estación fija 2, existe un nivel de concentración tiene la misma media de la estación 1 pero su punto más alto es menor a 30 µg/m³. Finalmente, en la estación fija 3, el nivel de concentración se mantiene igualmente constante en 24 µg/m³.

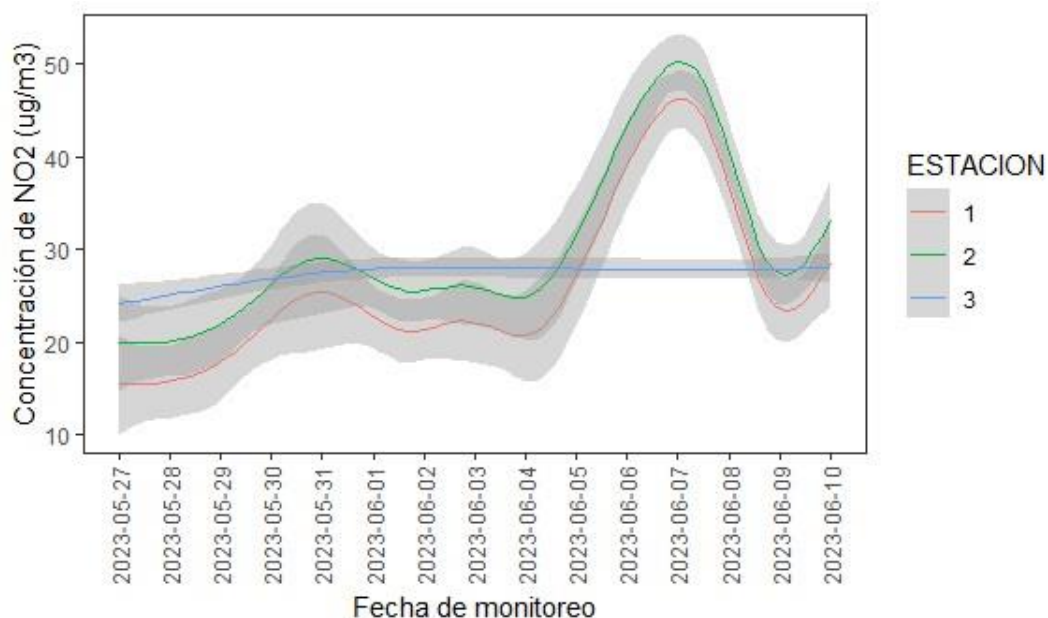


Figura 23. Comportamiento de los niveles de concentración de NO₂ durante los días de monitoreo.

6.1.4 Concentración de H₂S en las estaciones fijas

Se muestra en la **Tabla 21**, **Tabla 22** y **Tabla 23**, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de H₂S en relación a las estaciones fijas 1, 2 y 3 respectivamente, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 21. Valores máximos, media y mínimo del H₂S en la estación fija 1.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Domingo	Matutino	1.85	1.675	2.18
	Lunes	Matutino	2.30	2.17	2.65
		Vespertino	2.15	2.09	2.26
	Martes	Matutino	1.89	1.67	2.04
		Vespertino	1.82	1.06	2.01
	Miércoles	Matutino	2.06	1.86	2.75
		Vespertino	1.85	1.63	2.38
	Jueves	Matutino	1.12	0.86	1.3
		Vespertino	1.12	0	1.3
	Viernes	Matutino	1.85	1.55	2.06
		Vespertino	1.87	1.56	2.14
	Sábado	Matutino	2.15	1.93	2.86
		Vespertino	1.89	1.83	1.96

Tabla 22. Valores máximos, media y mínimo del H₂S en la estación fija 2.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
2	Domingo	Matutino	1.25	1.12	1.42
	Lunes	Matutino	0.98	0.48	1.24
		Vespertino	1.02	0.83	1.44
	Martes	Matutino	1.16	0.94	1.37
		Vespertino	1.01	0.77	1.23
	Miércoles	Matutino	1.02	0.61	1.21
		Vespertino	1.02	0.87	1.22
	Jueves	Matutino	1.12	0.86	1.31
		Vespertino	0.92	0	1.26
	Viernes	Matutino	1.29	0.97	1.58
		Vespertino	1.26	1.06	1.43
	Sábado	Matutino	1.2	1.15	1.24
		Vespertino	1.21	1.5	1.26

Tabla 23. Valores máximos, media y mínimo del H₂S en la estación fija 3.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
3	Domingo	Matutino	1.87	1.69	2.04
	Lunes	Matutino	1.8	1.64	2.29
		Vespertino	1.87	1.67	2.05
	Martes	Matutino	1.90	1.76	2.32
		Vespertino	1.88	1.79	2.04
	Miércoles	Matutino	1.86	1.79	2.06
		Vespertino	1.81	1.55	1.96
	Jueves	Matutino	1.75	1.58	2.05
		Vespertino	1.84	1.63	2.2
	Viernes	Matutino	2.07	1.84	2.97
		Vespertino	1.78	1.63	1.99
	Sábado	Matutino	1.73	1.9	2.14
		Vespertino	1.89	1.67	2.05

En la **Figura 24** representa que en la estación fija 1, el nivel de concentración de H₂S está en un rango que va desde 1.8 µg/m³ a 1.9 µg/m³, con una media de 1.8 µg/m³; en el caso de la estación fija 2, la concentración de H₂S, disminuye notablemente, con una media de 1.2 µg/m³; y finalmente en la estación fija 3, el nivel de concentración de H₂S, presenta una media de 1.8 µg/m³. Teniendo como resultado que la estación fija 1 es la que presenta mayor concentración de H₂S.

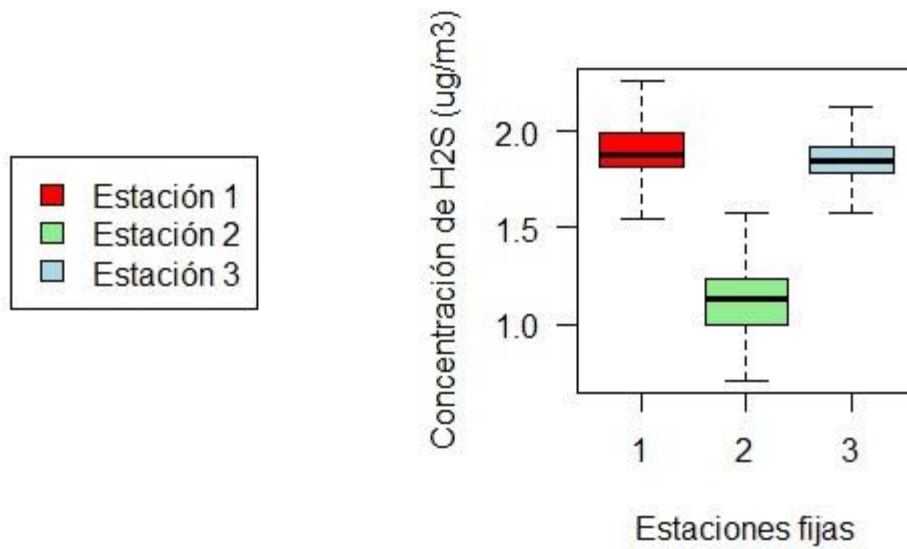


Figura 24. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de H₂S (µg/m³) en las estaciones fijas 1, 2 y 3.

En la **Figura 25** se muestra el comportamiento del H₂S a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija 1, los niveles de concentración, empieza en 2.5 µg/m³ y luego va disminuyendo hasta 1.8 µg/m³ manteniéndose constante hasta el final del monitoreo. Con respecto a la estación fija 2, existe un nivel de concentración constante baja menor a 1.5 µg/m³. Finalmente, en la estación fija 3, el nivel de concentración se mantiene igualmente constante en 1.8 µg/m³.

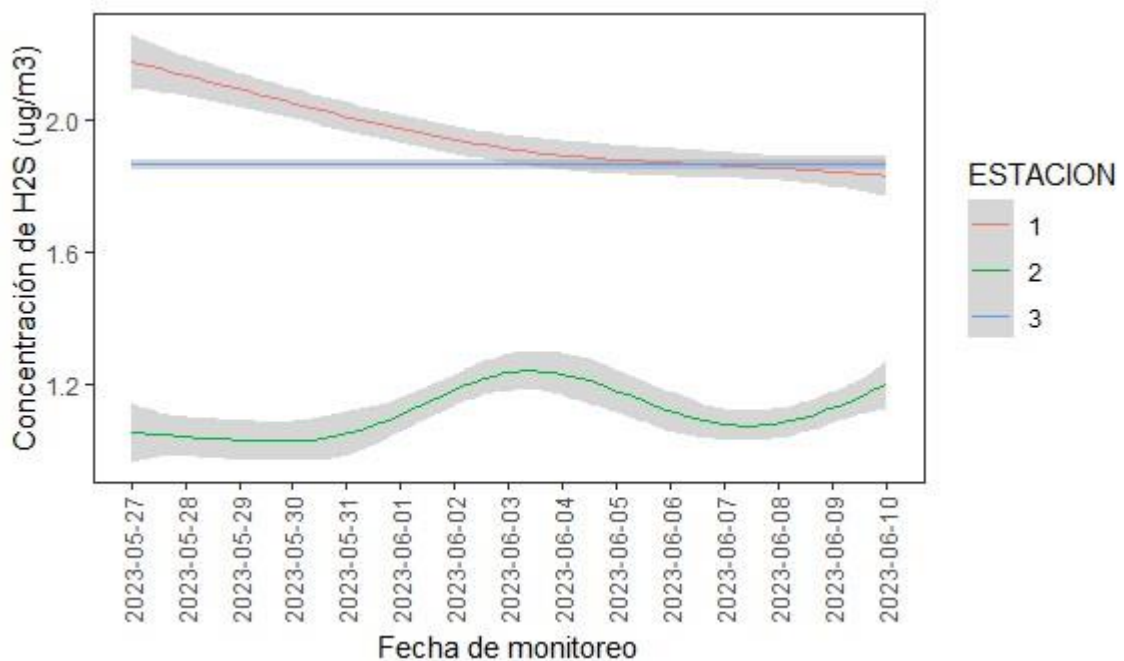


Figura 25. Comportamiento de los niveles de concentración de H₂S durante los días de monitoreo.

6.1.5 Concentración de PM_{2.5} en las estaciones fijas

Se observa en la **Tabla 24**, **Tabla 25** y **Tabla 26**, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de PM_{2.5} en relación a las estaciones fijas 1, 2 y 3 respectivamente, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 24. Valores máximos, media y mínimo del PM_{2.5} en la estación fija 1.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
1	Domingo	Matutino	7.20	5.58	9.72
	Lunes	Matutino	5.46	2.79	6.98
		Vespertino	6.13	2.79	23.72
	Martes	Matutino	8.74	7.26	9.77
		Vespertino	6.56	5.68	8.18
	Miércoles	Matutino	7.80	3.43	11.16
		Vespertino	5.67	4.18	7.67
	Jueves	Matutino	14.05	9.77	16.74
		Vespertino	6.94	1.4	11.16
	Viernes	Matutino	7.58	5.58	8.96
		Vespertino	5.7	5.58	6.28
	Sábado	Matutino	6.71	4.15	14.65
		Vespertino	7.20	4.18	9.71

Tabla 25. Valores máximos, media y mínimo del PM_{2.5} en la estación fija 2.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
2	Domingo	Matutino	12.64	8.37	15.35
	Lunes	Matutino	13.95	11.16	16.74
		Vespertino	14.49	12.56	15.35
	Martes	Matutino	10.56	4.19	12.56
		Vespertino	12.79	9.77	15.35
	Miércoles	Matutino	12.65	11.16	13.95
		Vespertino	13.97	11.86	15.35
	Jueves	Matutino	14.05	11.16	15.35
		Vespertino	14.57	12.56	16.74
	Viernes	Matutino	12.12	9.77	15.35
		Vespertino	15.11	13.95	16.74
	Sábado	Matutino	12.22	11.16	13.95
		Vespertino	15.00	13.95	15.35

Tabla 26. Valores máximos, media y mínimo del PM_{2.5} en la estación fija 3.

ESTACIÓN	DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
3	Domingo	Matutino	7.55	4.19	12.56
	Lunes	Matutino	10.20	8.37	12.56
		Vespertino	9.66	4.19	20.93
	Martes	Matutino	10.65	4.19	20.93
		Vespertino	9.77	6.98	15.35
	Miércoles	Matutino	8.78	2.79	12.56
		Vespertino	11.66	9.77	13.25
	Jueves	Matutino	11.17	9.77	15.35
		Vespertino	11	8.37	15.35
	Viernes	Matutino	14.99	13.95	18.14
		Vespertino	6.79	4.19	16.74
	Sábado	Matutino	13.3	8.37	16.74
		Vespertino	8.37	5.58	12.56

En la **Figura 26** se observa que en la estación fija 1, el nivel de concentración de PM_{2.5} está en un rango que va desde 6 µg/m³ a 8 µg/m³, con una media de 7 µg/m³; en el caso de la estación fija 2, la concentración de PM_{2.5} aumenta, presentando un rango entre 13 a 16 µg/m³, con una media de 14 µg/m³; y finalmente en la estación fija 3, el nivel de concentración de PM_{2.5}, está en un rango entre 7 µg/m³ a 12 µg/m³, con una media de 8 µg/m³. Teniendo como resultado que la estación fija 4 es la que presenta mayor concentración de PM_{2.5}.

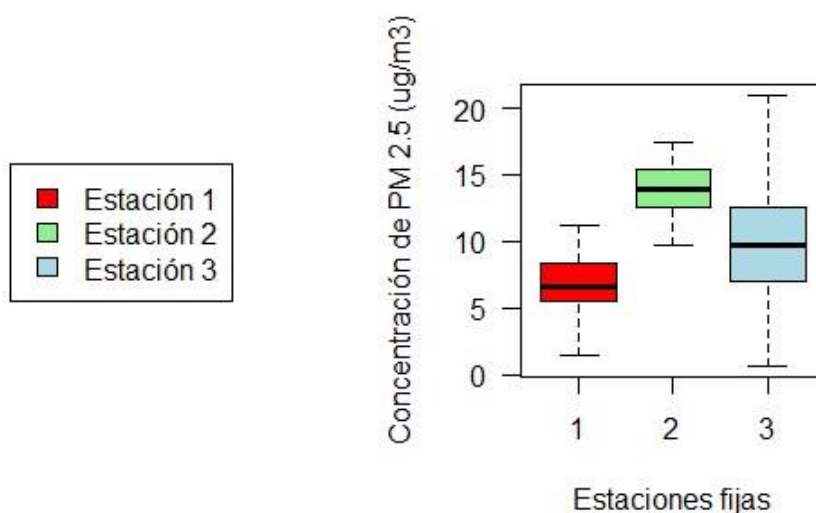


Figura 26. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM_{2.5} (µg/m³) en las estaciones fijas 1,2 y 3.

En la **Figura 27** indica el comportamiento del PM_{2.5} a lo largo de los días de monitoreo, en el caso de la estación fija 1, los niveles de concentración del PM_{2.5}, se mantiene constante por debajo de 7.5 µg/m³ hasta el final del monitoreo. Con respecto a la estación fija 2, existe un nivel de

concentración alta en los primeros días de monitoreo entre 12.5 y 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, luego desciende su nivel de concentración entre el 5 y 6 de junio, y luego aumenta exponencialmente hasta llega a 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Finalmente, en la estación fija 3, el nivel de concentración se ubica entre 10 y 12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ los primeros días, luego decrece hasta 7.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre los días 3 a 6 de junio, y finalmente aumenta hasta llegar a su punto máximo en 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ al final del monitoreo.

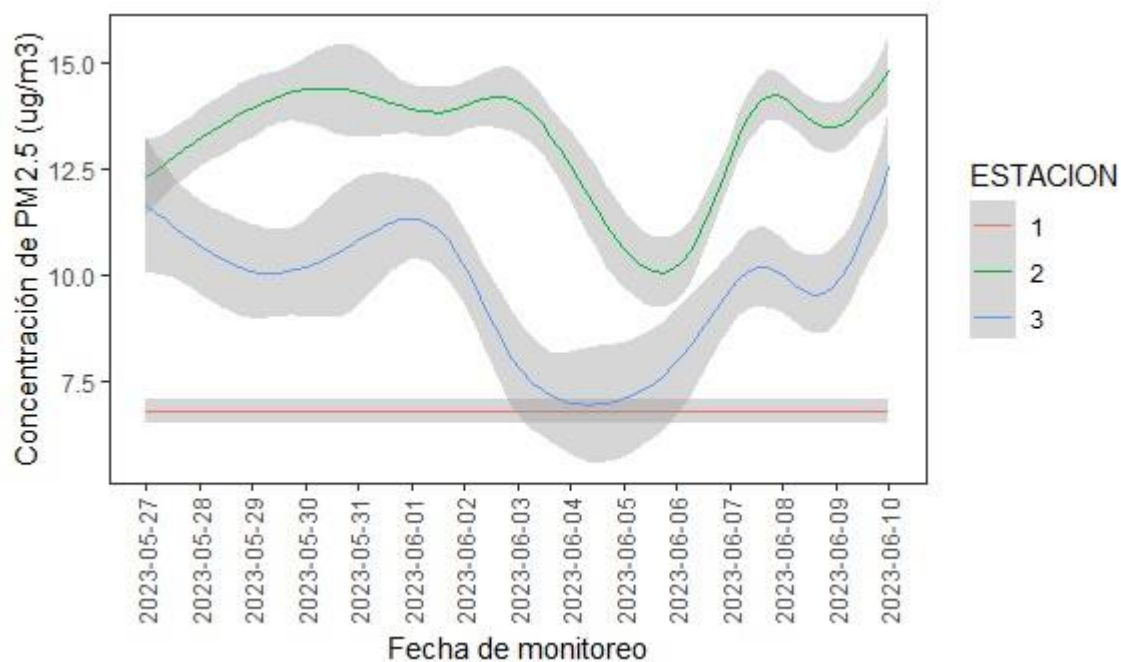


Figura 27. Comportamiento de los niveles de concentración de PM_{2.5} durante los días de monitoreo.

6.2 Concentración de contaminantes en la estación móvil del vehículo a combustión

6.2.1 Concentración de CO en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Tabla 27** representa, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de CO en relación al vehículo a combustión, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 27. Valores máximos, media y mínimo del CO en la estación móvil del vehículo a combustión.

DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	0.65	0.024	1.98
Lunes	Matutino	0.69	0.003	2.48
	Vespertino			
Martes	Matutino	0.73	0.008	2.38

	Vespertino			
Miércoles	Matutino	0.68	0.007	1.71
	Vespertino			
Jueves	Matutino	0.69	0.014	2.63
	Vespertino			
Viernes	Matutino	0.68	0.012	2.28
	Vespertino			
Sábado	Matutino	0.67	0.028	2.11
	Vespertino			

En la **Figura 28** representa el comportamiento del CO a lo largo del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso del horario matutino, los niveles de concentración, tiene un rango entre 0.5 y 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de CO se mantiene igualmente en un rango entre 0.5 y 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con la misma media de 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

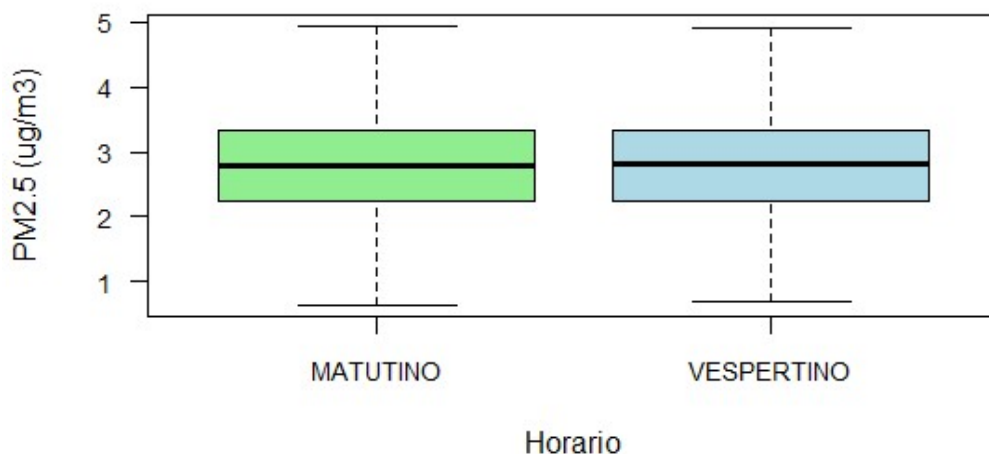


Figura 28. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión.

6.2.2 Concentración de CO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Tabla 28** representa, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de CO₂ en relación al vehículo a combustión, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 28. Valores máximos, media y mínimo del CO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión.

DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	990.31	376	3347
Lunes	Matutino	759.93	376	1712
	Vespertino	525.21		
Martes	Matutino	846.41	364	3340
	Vespertino	839.73		
Miércoles	Matutino	398.61	371	957
	Vespertino	418.97		
Jueves	Matutino	698.00	374	7641
	Vespertino	525.23		
Viernes	Matutino	665.01	370	1517
	Vespertino	561.24		
Sábado	Matutino	756.49	375	2005
	Vespertino	760.32		

En la **Figura 29** se observa el comportamiento del CO₂ a lo largo del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso del horario matutino, los niveles de concentración, tiene un rango entre 450 µg/m³ y 950 µg/m³, con una media de 650 ppm. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de CO₂ está por debajo de los 400 ppm, con una media de 450 ppm. Teniendo como resultado que el nivel de concentración de CO₂ es mayor en el horario matutino.

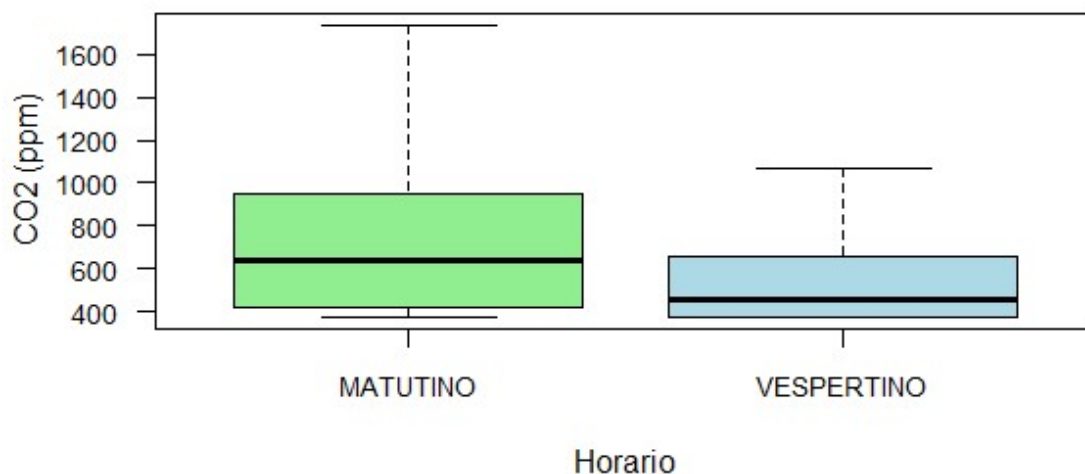


Figura 29. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO₂ (ppm) en la estación móvil del vehículo a combustión

6.2.3 Concentración de NO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Tabla 29** indica, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de NO₂ en relación al vehículo a combustión, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 29. Valores máximos, media y mínimo del NO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión.

DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	2.84	0.50	17.40
Lunes	Matutino	0.50	0.50	0.50
Lunes	Vespertino	0.50		
Martes	Matutino	2.27	0.50	7.20
Martes	Vespertino	1.61		
Miércoles	Matutino	0.50	0.50	0.50
Miércoles	Vespertino	0.50		

Jueves	Matutino	3.36	0.50	16.10
Jueves	Vespertino	6.00		
Viernes	Matutino	6.16	0.50	21.30
Viernes	Vespertino	9.21		
Sábado	Matutino	8.07	0.50	15.20
Sábado	Vespertino	4.14		

En la **Figura 30** se muestra el comportamiento del NO₂ a lo largo del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso del horario matutino, los niveles de concentración, está en un rango entre 1 y 8 µg/m³, con una media de 2 µg/m³. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de NO₂ está en un rango entre 1 y 10 µg/m³, con una media de 2 µg/m³. Teniendo como resultado que el nivel de concentración de NO₂ es mayor en el horario vespertino.

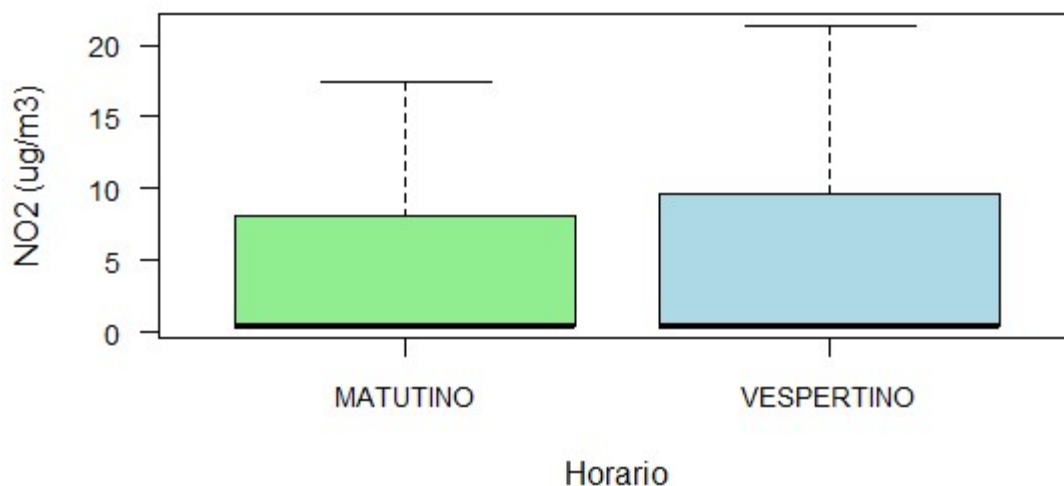


Figura 30. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO₂ (µg/m³) en la estación móvil del vehículo a combustión

6.2.4 Concentración de SO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Tabla 30** indica, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de SO₂ en relación al vehículo a combustión, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 30. Valores máximos, media y mínimo del SO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión.

DIA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	0.07	0	1.00
Lunes	Matutino	0.04	0	0.40
	Vespertino	0.01		
Martes	Matutino	0.20	0	1.00
	Vespertino	0.14		
Miércoles	Matutino	0.02	0	1.00
	Vespertino	0.03		
Jueves	Matutino	0.04	0	1.00
	Vespertino	0.04		
Viernes	Matutino	0.07	0	0.70
	Vespertino	0.10		
Sábado	Matutino	0.03	0	0.50
	Vespertino	0.00		

En la **Figura 31** indica el comportamiento del SO₂ a lo largo del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso del horario matutino, los niveles de concentración, está en un rango entre 0 y 0.10 µg/m³, con una media de 0.01 µg/m³. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de SO₂ está en un rango entre 0 y 0.10 µg/m³, con una media de 0.01 µg/m³. Teniendo como resultado que el nivel de concentración de NO₂ es igual en los dos horarios.

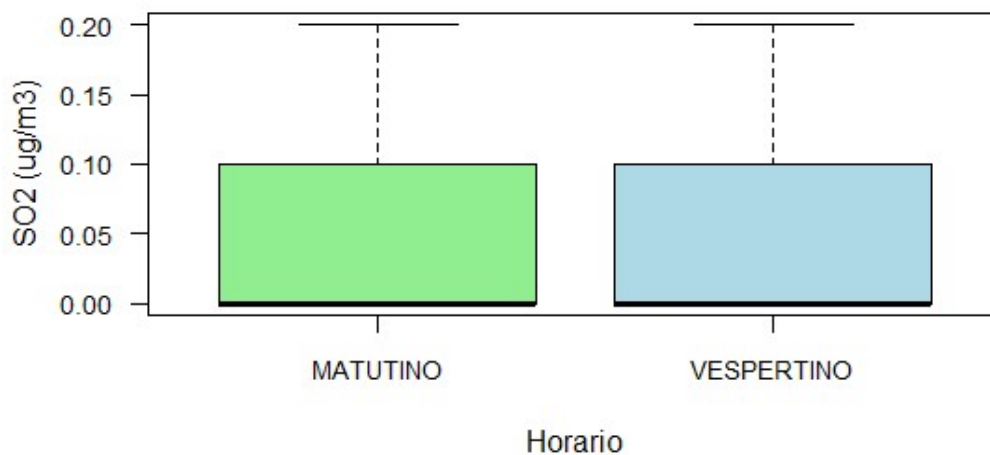


Figura 31. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO₂ (µg/m³) en la estación móvil del vehículo a combustión.

6.2.5 Concentración de PM_{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Tabla 31** indica, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de PM_{2.5} en relación al vehículo a combustión, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 31. Valores máximos, media y mínimo del PM_{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión.

DIA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	2.78	0.115	7.4678
Lunes	Matutino	2.84	0.3508	7.88
	Vespertino	2.82		
Martes	Matutino	2.69	0.06	6.56
	Vespertino	2.70		
Miércoles	Matutino	2.84	0.056	10.88
	Vespertino	2.95		
Jueves	Matutino	2.86	0.23	7.27

	Vespertino	2.80		
Viernes	Matutino	2.71	0.02	9.78
	Vespertino	2.79		
Sábado	Matutino	2.87	0.05	10.6
	Vespertino	2.97		

En la **Figura 32** representa el comportamiento del $PM_{2.5}$ a lo largo del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso del horario matutino, los niveles de concentración, está en un rango entre 2.3 y 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de $PM_{2.5}$ está en un rango entre 2.3 y 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Teniendo como resultado que el nivel de concentración de $PM_{2.5}$ es igual en los dos horarios.

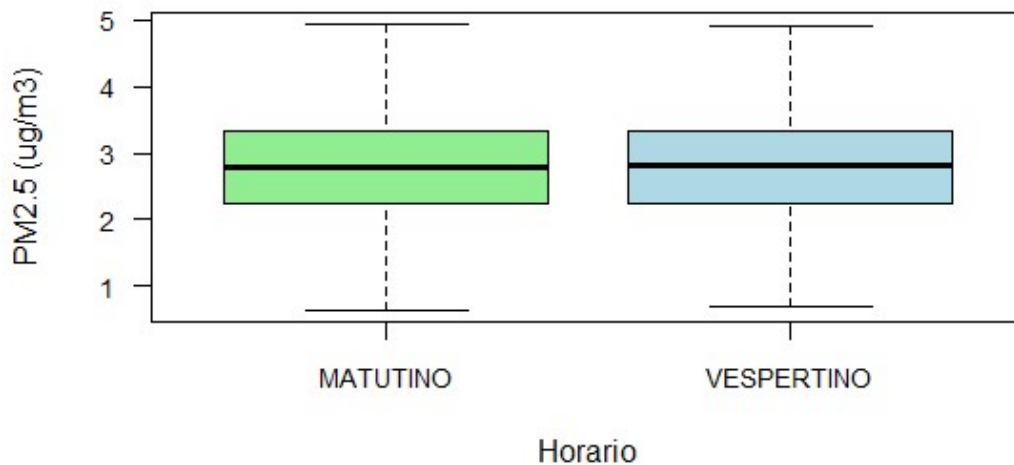


Figura 32. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación móvil del vehículo a combustión

6.2.6 Concentración de CO en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana

En la **Figura 33** presenta el comportamiento del CO a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso los días entre semana, los niveles de concentración, está en un rango entre 0.55 y 0.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 0.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando su punto más alto los días lunes y martes y el día más bajo el miércoles. Con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, está en un rango entre 0.5 y 0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 0.675 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando su punto más el día sábado y el sábado está por debajo pero no con mucha diferencia.

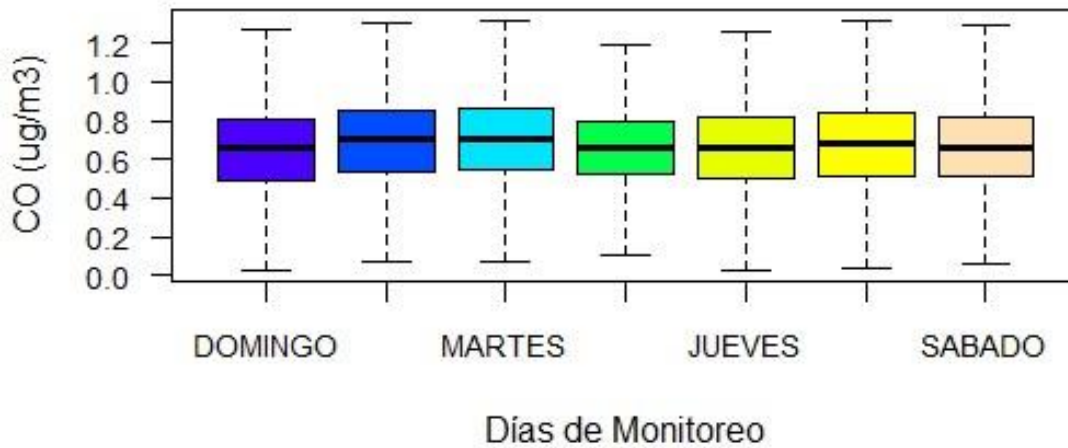


Figura 33. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión.

En la **Figura 34** se muestra el comportamiento del CO a lo largo de los días de monitoreo, en el caso del carro a combustión, los niveles de concentración del CO, se mantiene constante por debajo de $0.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta el final del monitoreo, existe un nivel de concentración alta en los primeros días de monitoreo entre 0.69 y $0.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego descendiendo su nivel de concentración entre el 2 y 6 de junio a $0.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y luego aumenta hasta llegar a $0.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

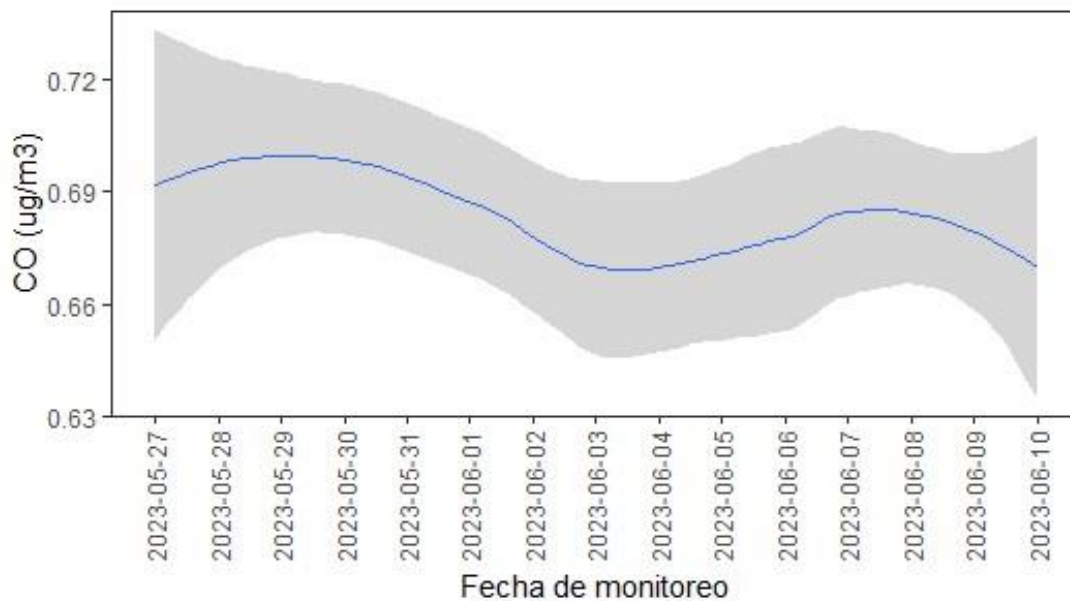


Figura 34. Comportamiento de los niveles de concentración de CO durante los días de monitoreo.

6.2.7 Concentración de CO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana

En la **Figura 35** indica el comportamiento del CO₂ a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso los días entre semana, los niveles de concentración, está en un rango que va por debajo de 500 hasta 1000 ppm, con una media de 650 ppm, alcanzando su punto más alto el día martes y el día más bajo el miércoles. Con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, está en un rango que va por debajo de 500 y 1200 ppm, con una media de 675 ppm, alcanzando su punto más alto el día domingo y el día más bajo es el sábado.

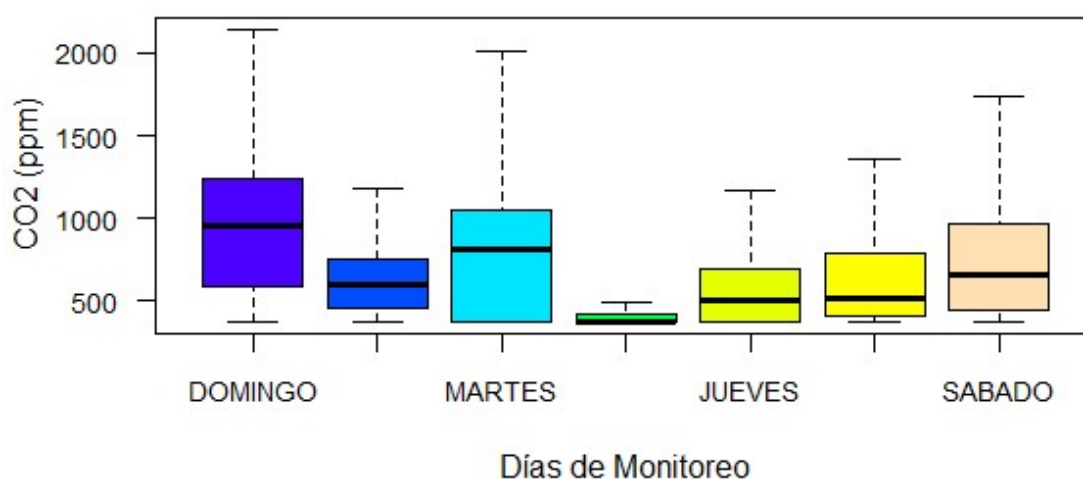


Figura 35. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de CO₂ (ppm) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Figura 36** se observa el comportamiento del CO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso del carro a combustión, los niveles de concentración del CO₂, se mantiene en un rango que va desde 820 ppm hasta 400 ppm, existe un nivel de concentración alta en los días 31 y de mayo y 4 de junio, luego descende su nivel de concentración entre el 7 y 8 de junio llegando a su punto más bajo que es 400 ppm.

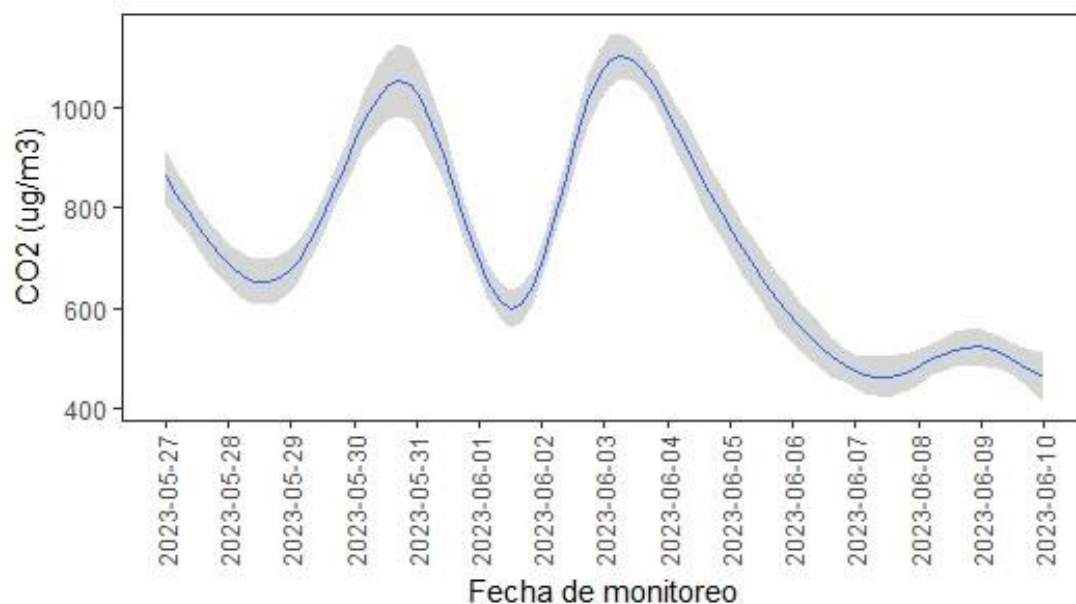


Figura 36. Comportamiento de los niveles de concentración de CO₂ durante los días de monitoreo.

6.2.8 Concentración de NO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana

En la **Figura 37** representa el comportamiento del NO₂ a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso los días entre semana, los niveles de concentración, está en un rango entre 1 y 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 3.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando su punto más alto el día viernes y los días más bajos el lunes y miércoles. Con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, está en un rango que está entre 1 y 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de 4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando su punto más el día sábado y el día más bajo es el domingo.

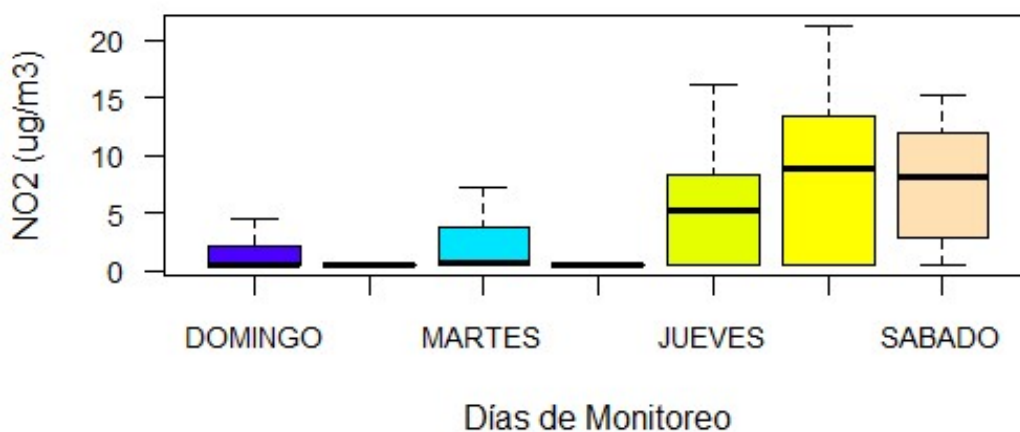


Figura 37. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Figura 38** presenta el comportamiento del NO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso del carro a combustión, los niveles de concentración del NO₂, se mantiene en un rango que va desde 6 µg/m³ hasta 12 µg/m³, existe un nivel de concentración alta en los días 29 de mayo y 30 de mayo y 7 de junio, son los días de menor concentración de 1 µg/m³.

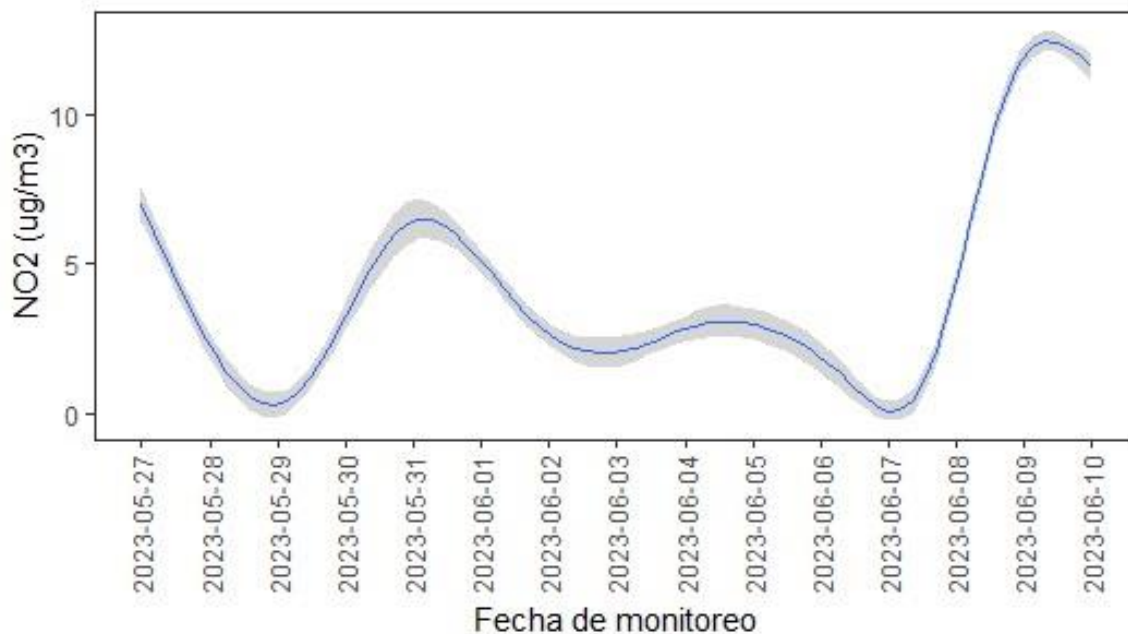


Figura 38. Comportamiento de los niveles de concentración de NO₂ durante los días de monitoreo.

6.2.9 Concentración de PM_{2.5} en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana

En la **Figura 39** indica el comportamiento del PM_{2.5} a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo a combustión, en el caso los días entre semana, los niveles de concentración, está en un rango entre 2.2 y 3.5 µg/m³, con una media de 2.5 µg/m³, alcanzando su punto más alto el día miércoles y los demás días están por debajo, pero sin mucha diferencia. Con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, está en un rango que está entre 2.2 y 3.5 µg/m³, con una media de 2.8 µg/m³, alcanzando su punto más alto el día sábado y el día más bajo es el domingo, pero sin mucha diferencia.

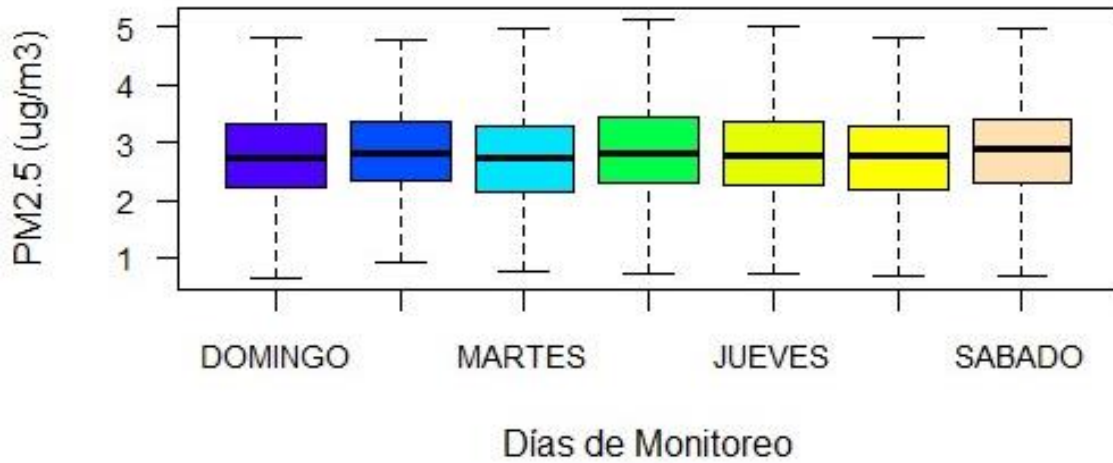


Figura 39. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) a lo largo de los días en la estación móvil del vehículo a combustión

En la **Figura 40** se muestra el comportamiento del $PM_{2.5}$ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso del carro a combustión, los niveles de concentración del $PM_{2.5}$, se mantiene en un rango que va desde $2.9 \mu g/m^3$ hasta $2.7 \mu g/m^3$.

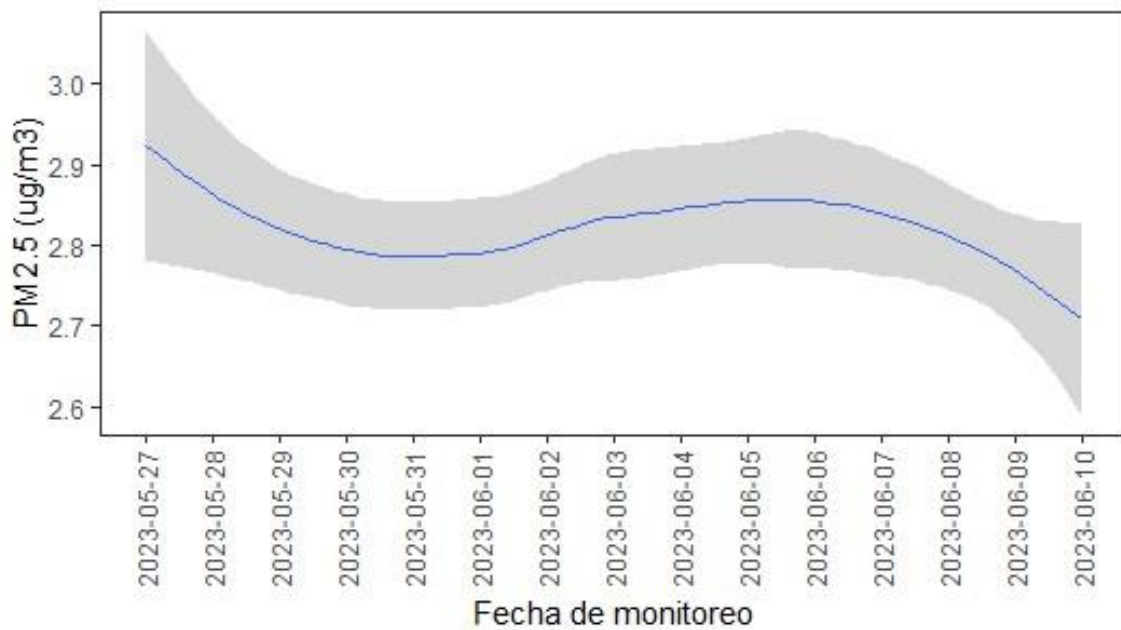


Figura 40. Comportamiento de los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ durante los días de monitoreo.

6.2.10 Concentración de SO₂ en la estación móvil del vehículo a combustión por cada día de la semana

En la **Figura 41** se observa que, el carro a combustión, el nivel de concentración de SO₂, está en un rango entre 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que es su media y su pico más alto es de 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Teniendo como resultado que los días de mayor concentración de SO₂ en el carro fueron domingo, martes, jueves y viernes, debido a la presencia de otros vehículos.

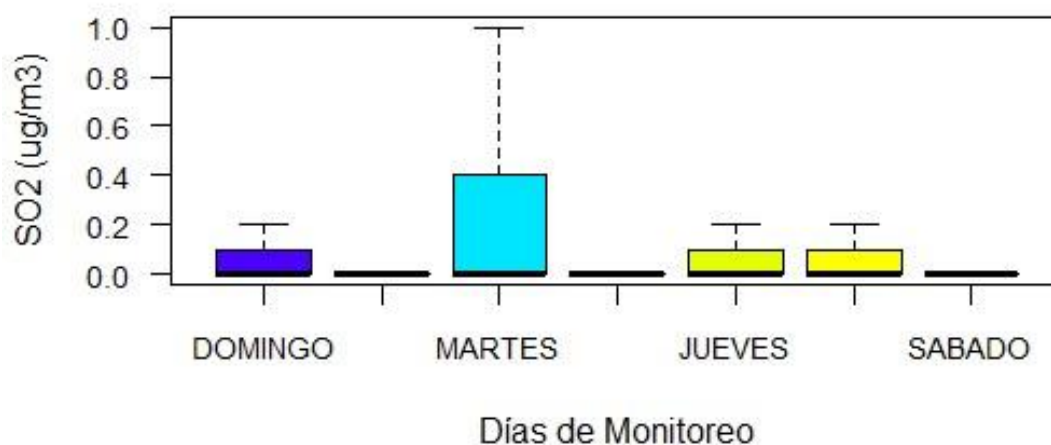


Figura 41. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el carro a combustión.

En la **Figura 42** presenta el comportamiento del SO₂ a lo largo de los días de monitoreo, en el caso del carro a combustión, los niveles de concentración del SO₂, Su pico más alto es de 0.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 30 de mayo, en los días posteriores desciende hasta llegar 0.03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre los días 4 y 7 de junio para luego mantenerse constante.

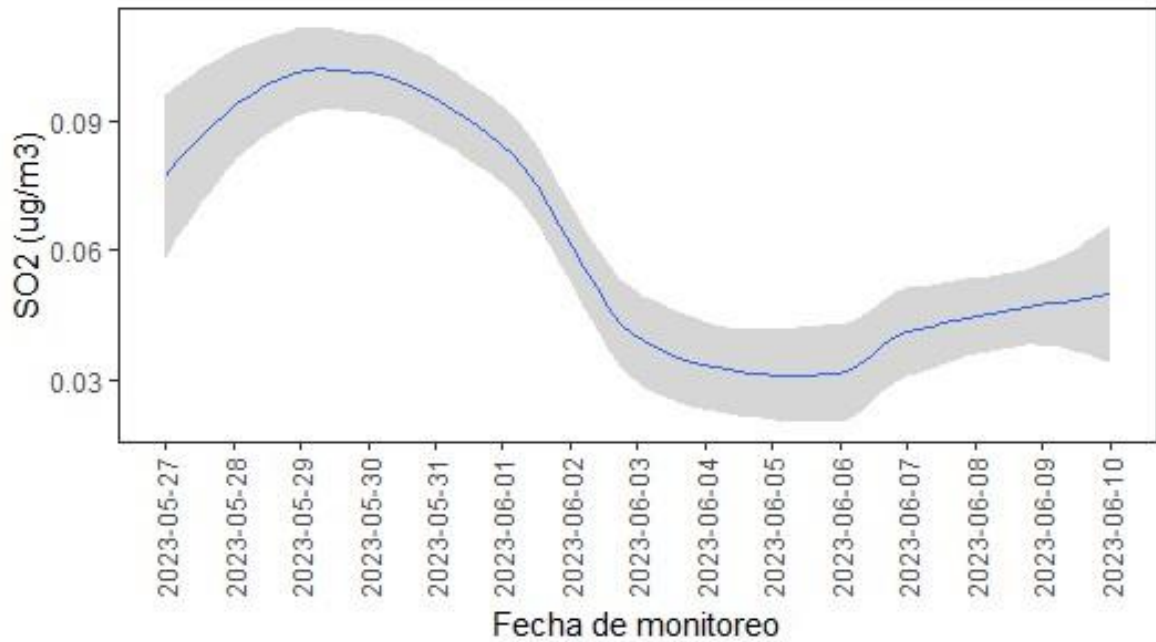


Figura 42. Comportamiento de los niveles de concentración de SO₂ durante los días de monitoreo.

6.3 Concentración de contaminantes en la estación móvil del vehículo a eléctrico.

6.3.1 Concentración de PM_{2.5} en el vehículo eléctrico

En la **Tabla 32** indica, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de PM_{2.5} en relación al vehículo eléctrico, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 32. Concentración de PM 2.5 en el vehículo eléctrico.

DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	5.75	1.995	12.13
Lunes	Matutino	5.26	1.995	19.5
	Vespertino	4.85		
Martes	Matutino	4.66	1.995	17.54
	Vespertino	5.75		
Miércoles	Matutino	5.41	1.995	15.95
	Vespertino	5.28		
Jueves	Matutino	5.18	1.995	18.65

	Vespertino	5.02		
Viernes	Matutino	5.00	1.995	19.6
	Vespertino	5.19		
Sábado	Matutino	4.78	1.995	19.61
	Vespertino	5.50		

En la **Figura 43** se representa el comportamiento del $PM_{2.5}$ a lo largo del monitoreo en el vehículo eléctrico, con respecto al horario matutino, los niveles de concentración, está en un rango entre 3 y 7 $\mu g/m^3$, con una media de 5 $\mu g/m^3$. Con respecto al horario vespertino el nivel de concentración de $PM_{2.5}$ está en un rango entre 3 y 6.5 $\mu g/m^3$, con una media de 5 $\mu g/m^3$. Teniendo como resultado que el nivel de concentración de $PM_{2.5}$ es igual en ambos horarios.

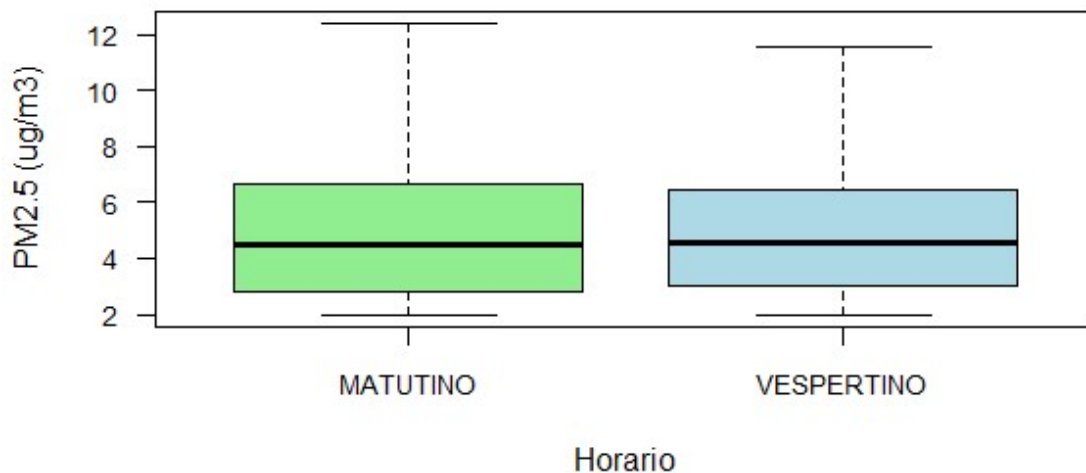


Figura 43. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) en la estación móvil del vehículo eléctrico en cada horario.

En la **Figura 44** indica el comportamiento del $PM_{2.5}$ a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo eléctrico, en el caso los días entre semana, los niveles de concentración, está en un rango entre 2.5 y 7 $\mu g/m^3$, con una media de 4.5 $\mu g/m^3$, alcanzando su punto más alto el día miércoles y los demás días están por debajo, pero sin mucha diferencia. Con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, está en un rango que está entre 3 y 7.8 $\mu g/m^3$, con una media de 5 $\mu g/m^3$, alcanzando su punto más alto el día domingo y el día más bajo es el sábado, pero sin mucha diferencia.

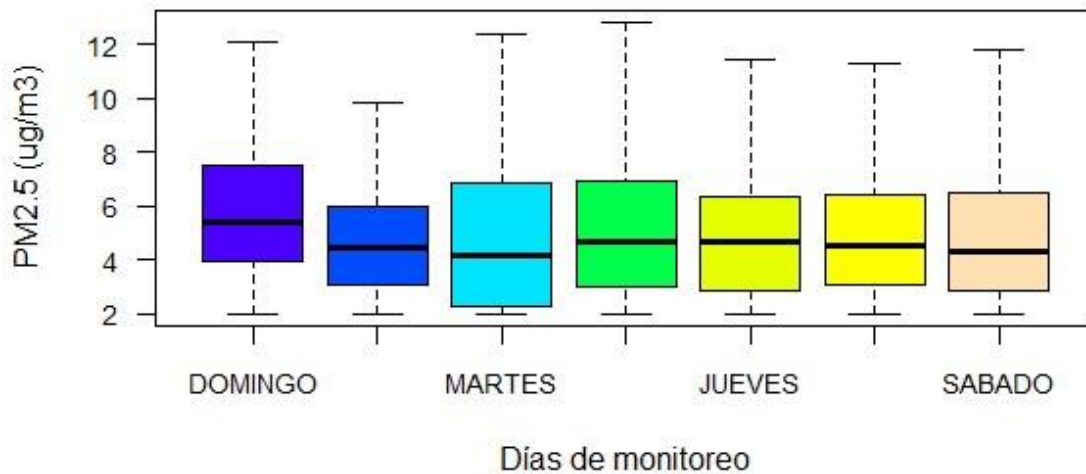


Figura 44. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM_{2.5}($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el carro eléctrico por cada día de la semana.

6.3.2 Concentración del SO₂ en el vehículo eléctrico

En la **Tabla 33** indica, los valores máximos, media y mínimos de las concentraciones de SO₂ en relación al vehículo eléctrico, obtenidos mediante los monitoreos realizados en la ruta establecida ubicada en la Avenida de los Migrantes de domingo a sábado en los horarios matutino y vespertino.

Tabla 33. Concentración de SO₂ en el vehículo eléctrico.

DÍA	HORARIO	MEDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Domingo	Matutino	0.00	0	0.00
Lunes	Matutino	0.08	0	0.90
	Vespertino	0.01		
Martes	Matutino	0.01	0	0.30
	Vespertino	0.02		
Miércoles	Matutino	0.00	0	0.00
	Vespertino	0.00		
Jueves	Matutino	0.00	0	0.30

	Vespertino	0.00		
Viernes	Matutino	0.00	0	0.20
	Vespertino	0.00		
Sábado	Matutino	0.01	0	0.10
	Vespertino	0.00		

En la **Figura 45** se representa el comportamiento del SO₂ a lo largo del monitoreo en el vehículo eléctrico, con respecto al horario matutino y vespertino, no se obtuvieron niveles de concentración del contaminante, Teniendo como resultado que el nivel de concentración de SO₂ es de 0 en ambos horarios.

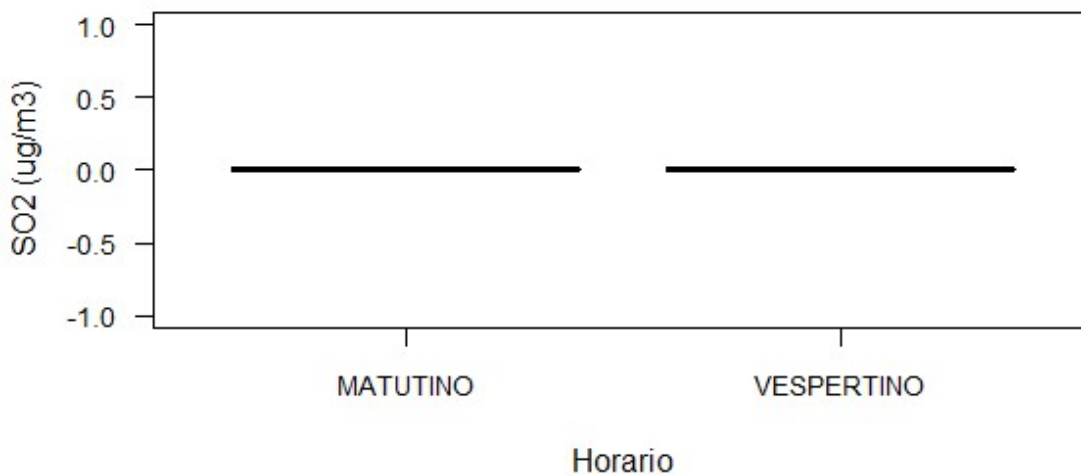


Figura 45. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM_{2.5} (µg/m³) en la estación móvil del vehículo eléctrico en cada horario.

En la **Figura 46** indica el comportamiento del SO₂ a lo largo de los días del monitoreo en el vehículo eléctrico, en el caso los días entre semana, no existieron niveles de concentración de SO₂, a excepción del día lunes donde registra datos atípicos de 0.10 y 0.20 µg/m³, esto debido a la presencia externa de un camión que alteró el registro de datos del monitoreo, con respecto a los días sábado y domingo los niveles de concentración, sigue sin tener registro del contaminante.

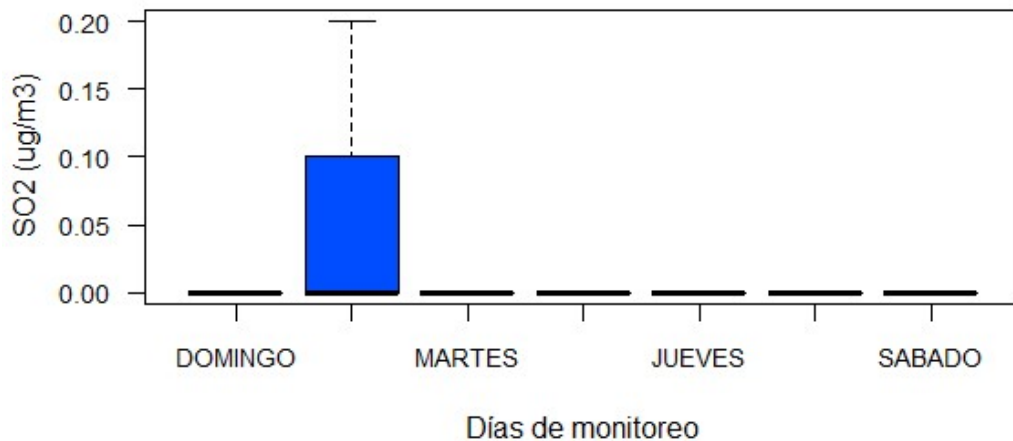


Figura 46. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el carro eléctrico por cada día de la semana.

6.4 Comparación de concentración de contaminantes en las dos fuentes móviles

6.4.1 Concentración de PM_{2.5} en las dos fuentes móviles

En la **Figura 47** representa que, en el carro a combustión, el nivel de concentración de PM_{2.5} está en un rango que va desde $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en el caso del vehículo eléctrico, la concentración de PM_{2.5} aumenta, presentando un rango entre $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con una media de $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

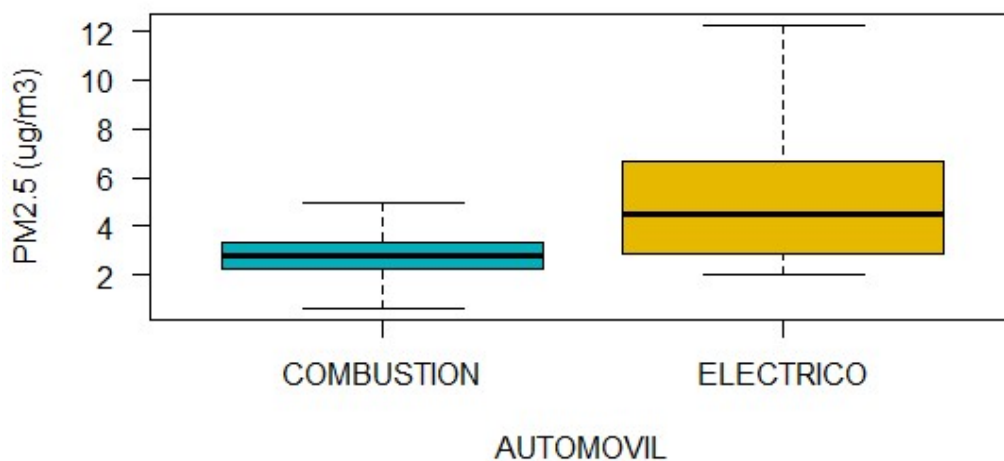


Figura 47. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de PM_{2.5} en las estaciones móviles.

6.4.2 Concentración de SO₂ en las dos fuentes móviles

En la **Figura 48** indica que, en el carro a combustión, el nivel de concentración de SO₂ está en un rango que va desde 0.01 µg/m³ hasta 0.9 µg/m³ con una media de 0.2 µg/m³; en el caso del vehículo eléctrico, no tiene concentración de SO₂ debido al estado de su batería y a la composición de la misma, que no genera ningún desgaste por estar formada por un gel que lo cubre.

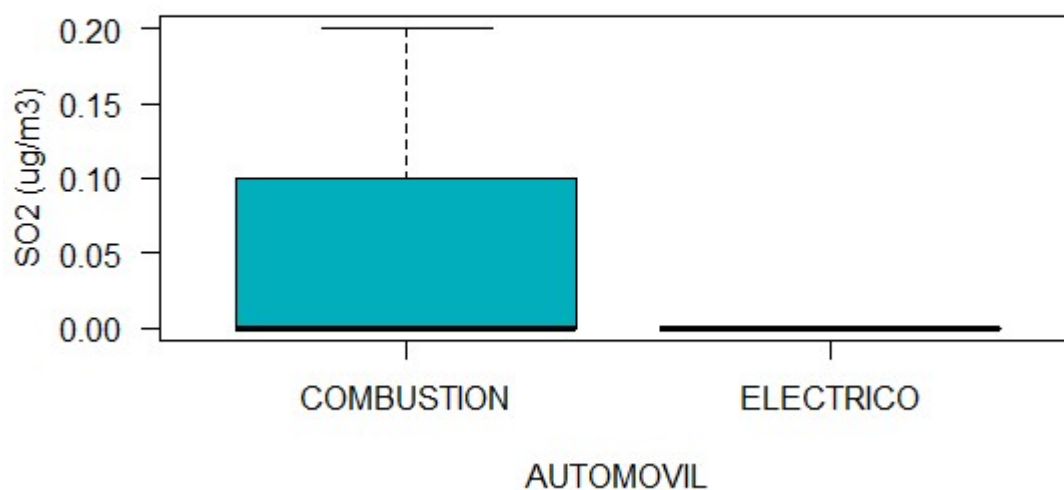


Figura 48. Diagrama de cajas con los niveles de concentración de SO₂ en las estaciones móviles.

Discusión

1. Según (EMOV EP, 2022). En su informe anual de calidad de aire del año 2021, exponen que los valores medios anuales de $PM_{2.5}$ en las distintas estaciones, en el caso de la estación EIE con un promedio anual de 9.8 ug/m^3 , CCA con 8.3 ug/m^3 , y la estación MUN con 9.8 ug/m^3 . En los resultados obtenidos en la investigación, se determinó que el nivel de concentración de las tres estaciones fijas varía según su ubicación en la zona de monitoreo, en donde en la estación fija 1 presenta una media de 7 ug/m^3 , en la estación fija 2 es de 14 ug/m^3 y finalmente en la estación fija 3 es de 8 ug/m^3 . Como expresa (Ministerio del Ambiente, 2013), el valor promedio anual establecido por la NCAA es de 15 ug/m^3 , y el valor promedio recomendado por la OMS es 10 ug/m^3 , en los registros conseguidos existe un promedio en la estación fija 1 de 7 ug/m^3 , siendo inferior de los límites establecidos, en la estación fija 2 sobrepasa el límite establecido por la OMS y se acerca al de NCAA con un promedio de 14 ug/m^3 , y finalmente en la estación fija 3 no excede los límites establecidos con un promedio de 8 ug/m^3 , esto se debe a que en la zona de estudio es una área industrial, donde existe la presencia de distintas fábricas, en especial en la estación 4 que está localizada la cementera los andes don existe mayor presencia de $PM_{2.5}$.
2. Se puede destacar que la presente investigación en comparación con la de (Mendoza, 2014) es más detallada. Mendoza utiliza la metodología de factores de emisión (en la cual no utiliza sensores), con las distintas características de los vehículos (como la gasolina, el kilometraje y el estado del motor), con estos datos procede a calcular los factores de emisiones de los vehículos, por otro lado en el presente estudio se tomó a consideración la metodología On Board, en donde se utiliza estaciones móviles, previamente calibradas con la estación más próxima a la zona de monitoreo, asegurando la validez de los datos, la cual es más factible y confiable que calcular los distintos factores de emisión.
3. De manera similar, (Darquea & Gustavo, 2017), utiliza la metodología dinámica transitoria, realizado en la ciudad de Guayaquil, a una altura de 4 m.s.n.m., indica en los resultados de su estudio que los niveles de concentración de CO, 1.7 ug/m^3 , los cuales se encuentra dentro de los límites permisibles que se encuentra instituidos en la Normativa INEN 2204. En los resultados alcanzados en el estudio realizado en la ciudad de Cuenca, ubicada a una altitud de 2560 metros sobre el nivel del mar, los niveles de concentración de CO fueron de 0.7 ug/m^3 , los cuales están dentro de los límites permisibles, existen diferencias en las concentraciones debido a las distintas alturas que presentan los estudios. Tal como (Velepucha-Sánchez et al., 2021), en el marco de su estudio, llevado a cabo en la ciudad de Quito, la cual utilizó la metodología ON BOARD, indica que el promedio de concentración de CO es de 0.5 ug/m^3 , la cual se encuentra por debajo de los hallazgos obtenidos en el estudio presentado, debido al combustible empleado en dicho estudio, pero que igual se encuentra dentro de los límites permitidos establecidos en la Normativa INEN 2204.
4. Otro estudio realizado por (Antamba Guasgua et al., 2016), utiliza los distintos combustibles de la Comunidad Andina para hacer una comparación con los niveles de concentración de CO, aplicando pruebas dinámicas transitoria de ciclo ASM 25/25, da como resultado que las

concentraciones son diferentes en cada uno de los países teniendo en Bolivia con $0,8 \text{ ug/m}^3$, Colombia $0,7 \text{ ug/m}^3$, Perú con $0,5 \text{ ug/m}^3$ y Ecuador con $0,8 \text{ ug/m}^3$. En el estudio realizado que coincide, se pudo apreciar que los resultados de la concentración de CO son de $0,7 \text{ ug/m}^3$ aplicando la metodología transitoria On Board, con sensores electroquímicos.

5. En el estudio de (Recalde, 2022), aplican las pruebas estáticas, que son realizadas en un laboratorio cerrado, teniendo como resultados que las concentraciones de CO son menores que en las pruebas dinámicas transitorias llevado a cabo en el presente estudio, debido a la fuerza ejercida en el motor ya que no se ve exigida de la misma manera, y del tipo de manejo que va influir directamente en las emisiones de CO.
6. De acuerdo con (Zheng et al., 2020), obtuvieron como resultados que revelan que un vehículo de tipo eléctrico de batería promedio emite un 35% menos de gases con un automóvil de gasolina promedio. Los BEV reducen las emisiones de compuestos (COV) en un 98% y las emisiones primarias de óxidos de nitrógeno (NOX) en un 34%. Sin embargo, las emisiones primarias de partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) y dióxido de azufre (SO_2) son comparables o ligeramente superiores. Como se pudo observar en los resultados obtenidos en el estudio realizado, el BEV emite mayor concentración en las emisiones de partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$), sobre el vehículo a combustión, pero en el caso del (SO_2), se constató que el vehículo a combustión emite más que el vehículo eléctrico, debido al estado de la batería y a la composición de las misma, por lo tanto, se registró datos de concentración del contaminante.
7. Según (Galarza, 2022) determina la concentración de $\text{PM}_{2,5}$ mediante el uso de drones en el parque industrial, se puede observar que el nivel de concentración en el horario matutino se encuentra en una media de $7,25 \text{ ug/m}^3$, sin embargo en este estudio en particular se tiene como resultados de las fuentes móviles una media de $2,5 \text{ ug/m}^3$ en un auto a combustión y en el caso del auto eléctrico presenta una media de 4 ug/m^3 , debido a la altura de toma de datos de concentraciones y las condiciones meteorológicas.

CAPÍTULO V

7. CONCLUSIONES

A partir de los hallazgos alcanzados en esta investigación, se derivan las siguientes inferencias:

Los hallazgos derivados de la línea base de la investigación, expone que la estación fija 2 ubicado en la parte media de la ruta de monitoreo, presenta mayores niveles de concentración de los contaminantes analizados, debido a la presencia de la fábrica "Cemento Atenas ". Con este antecedente se determina la necesidad de realizar una actualización a la auditoría ambiental de emisiones a la fábrica.

Las concentraciones que se obtuvieron en las estaciones fijas de CO, CO₂, NO₂, H₂S, se encuentran dentro de los rangos permitidos que se establecen en la NCAA y OMS, a excepción del PM 2.5 que se encuentra superando los límites permisibles.

Los resultados de la prueba dinámica transitoria On Board, aplicado en el vehículo a combustión, registra niveles de concentración que cumple con los criterios establecidos en la normativa INEN 2204.

Los resultados obtenidos de los niveles de concentración de emisiones contaminantes en el vehículo a combustión, registran una media de 0.7 ug/m³ de CO, con respecto al CO₂ se obtiene una media de 450 ppm, en el caso del NO₂ registra una media de 2 ug/m³, para el PM_{2.5} alcanza una media 2.8 ug/m³ y finalmente con respecto al SO₂ se obtiene una media de 0.060 ug/m³.

Los resultados obtenidos de los niveles de concentración de contaminantes en el vehículo eléctrico, registraron una media de 0.5 ug/m³ con respecto al PM_{2.5}, y en el caso del SO₂ se obtiene una media de 0.01 ug/m³.

El desenlace de la comparación entre las dos fuentes móviles, mostraron como resultado que el nivel de concentración de PM 2.5 del vehículo eléctrico es superior con respecto al vehículo a combustión, sin embargo, el nivel de concentración de SO₂, es inferior al de combustión.

Este estudio subraya la necesidad de abordar de manera íntegra los impactos de los vehículos eléctricos, debido a la falta de estudios, esperamos que los resultados de esta investigación sirvan como punto de partida para investigaciones futuras y para la implementación de políticas y programas ambientales que aborden esta problemática de manera efectiva.

CAPÍTULO VI

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda instalar estaciones fijas para que monitoreen las 24 horas con la finalidad de obtener un valor aproximado de la concentración de los contaminantes, debido a que la estación más cercana a la zona de estudio no presentaba el monitoreo del contaminante $PM_{2.5}$.

Las estaciones fijas y móviles deben ser previamente calibradas con estaciones certificadas, para lograr la validez de los datos obtenidos, antes de realizar los monitoreos se debe realizar pruebas de funcionamiento de los equipos en la ruta.

Se debe verificar las condiciones climáticas de las zonas de monitoreo, para que el factor del clima no altere los parámetros de funcionamiento de las estaciones, los monitoreos no se deben realizar cuando existan precipitaciones y fuertes vientos.

Los monitoreos deben realizarse entre las horas de las 10:00 de la mañana y 15:00 de la tarde con el objetivo de lograr una carga de tráfico vehicular equilibrada y que no interfiera en la recolección de datos.

Se recomienda utilizar esta metodología de la prueba ON BOARD y el ciclo de prueba dinámico FTP-75 de la (EPA) para las pruebas de medición de concentración de contaminantes, debido a que la fue la con el propósito de reflejar de manera más precisa la realidad en comparación con la normativa INEN, que establece pruebas dinámicas transitorias durante el movimiento, siendo la que más se acerca a la condición vehicular de la ciudad.

Con el fin de evitar la alteración de los resultados obtenidos en las pruebas, se sugiere realizar una evaluación previa del análisis y funcionamiento de las estaciones móviles para garantizar una mayor confiabilidad en los resultados a obtener.

No se recomienda el uso generalizado de vehículos eléctricos en la situación actual debido a los niveles superiores de concentración de material particulado en comparación con los vehículos de combustión constatados en la presente investigación.

Es necesario llevar a cabo más estudios exhaustivos y fomentar la investigación para comprender en profundidad las emisiones producidas por los vehículos eléctricos y sus implicaciones en la calidad del aire ambiente y la salud humana. Además de una normativa específica que regule las emisiones de los vehículos eléctricos y establezca estándares más rigurosos en materia de control de emisiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFIRMGROUP. (2021). *Compuestos volátiles orgánicos (cov)*. 1–4.
- Alvarado, P. (2009). (2009). *Contenido Disponible en la Biblioteca “ Campus El Vecino - Sede Cuenca ” Para mayor información ingresar a: <http://aleph.ups.edu.ec/F?func=find-b-0>*. 0.
- Antamba Guasgua, J. F., Reyes Campaña, G. G., & Granja Paredes, M. E. (2016). Estudio comparativo de gases contaminantes en un vehículo M1, utilizando gasolina de la Comunidad Andina. *Enfoque UTE*, 7(3), 110–119.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.109>
- Arias Montaña, E. I., & Ludeña Ayala, J. A. (2018). Estimación del consumo de combustible y niveles de emisiones contaminantes de un vehículo de categoría M1 en rutas con mayor grado de saturación en la ciudad de Cuenca. *Ups*, 119.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15325/1/UPS-CT007541.pdf>
- Arroyo, M. (2020). *Dióxido de carbono, sus dos caras*. 116(2), 81–87. www.rseq.org82
- ATSDR. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Monóxido de Carbono (Carbon Monoxide)*.
- Bailey, P. S. J. (2015). Halogenos.Pdf. In *Química orgánica: conceptos y aplicaciones*.
- Ballesteros, H. O. B. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA 1*.
- Benavides, O., & León, G. (2007). *Información técnica sobre gases efecto invernadero y cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Burgos, M., & Copo, K. (2017). *Estimación De La Concentración De Ozono Troposférico (O3), Mediante Análisis Geoespacial De Imágenes Satelitales Y Mínimos Cuadrados Parciales (Pls), Para Las Parroquias Urbanas Del Cantón Quito*. 1–130.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7450/1/T-ESPE-047445.pdf>
- Cárdenas, N. (2022). *REVISIÓN DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA ESTIMACIÓN Y LA CUANTIFICACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO NATALIA*. 33(1), 1–12.
- Carrasco, Cronwer; Cueva, J. (2023). *El Monitoreo Ambiental Participativo como Herramienta de Gestión y Prevención de Conflictos Sociales en el Sector Agroindustrial. Caso: Maple Etanol*.
- Castillo, G. (2018). Medidas de reducción y mitigación de la huella de carbono en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador matriz Quito. *Energies*, 6(1), 1-8. Obtenido de <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>

- Cerón, O. (2007). *Comisión de Investigación y Extensión*. Escuela Politécnica Nacional.
- CCB, Corporación Ambiental Empresarial [CAEM], & Gestión Ambiental Responsabilidad de Todos [CAR]. (2013). *Guía Metodológica para el cálculo de la Huella de Carbono Corporativa a Nivel Sectorial*. 42. <https://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=42211&download=Y%0A>
- Chavez Quimiz, L. A. (2019). *Análisis De Emisiones De Gases Contaminantes Provocadas Por Vehículos De Combustión Interna En El Cantón Quevedo*.
- Comisión Europea. (2022). *Límites máximos y derechos de emisiones*.
- Comunidad Andina. (2012). *Gestión Ambiental en los países Comunidad Andina*. Secretaría General de la Comunidad Andina. Obtenido de Secretaría General de la Comunidad Andina.
- Condo, C. A. (2021). "ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE COMBUSTIBLE DEL VEHÍCULO CHEVROLET OPTRA VÁLVULA MARCLAIS APLICADO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA".
- Cortés, A., & Ridley, I. (2013). Efectos de la combustión a leña en la calidad del aire intradomiciliario: La ciudad de Temuco como caso de estudio. *Revista INVI*, 28(78), 257–271. <https://doi.org/10.4067/s0718-83582013000200008>
- Criollo, C. P. (2018). *Valoración de la concentración de dióxido de nitrógeno atmosférico en el área urbana de la ciudad de Cuenca a través de imágenes satelitales*. 82. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16247>
- Dallmann, T. (2018). *Uso del sensor remoto para monitoreo y control de emisiones vehiculares*. The Real Urban Emissions Initiative.
- Darquea, E. P., & Gustavo, D. (2017). Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales Study of Polluting Emissions Using Local Fuels. *INNOVA Research Journal*, 2(23), 34. https://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf
- Darwin, F. (2015). *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*.
- Delgado, M., & Camargo, M. (2013). Contaminación Del Aire Exterior. Cuenca - Ecuador,. *Articulo Ecuador*, 1(5), 1–127.
- Díaz, L. (2002). *Estimación de Factores de Emisión para Vehículos Automotores de Gasolina*. Universidad Autónoma Metropolitana Zaloamati.
- Dünner Planella, M. A. (2016). *El ozono troposférico como modificador del efecto de material particulado 2, 5 sobre muertes cardiovasculares en adultos*. 2009–2013.
- EMOV. (2020). *Informe de calidad de aire - Cuenca (2020)*. 2018–2020. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=448901&do=blog&id=1227033>

- EMOV EP. (2022). *Implementación de las leyes y normas sobre el aire*.
<https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-las-leyes-y-normas-sobre-el-aire>
- EPA. (2014). *Other Test Method – 34: Method to Quantify Road Dust Particulate Matter Emissions (PM10 and/or PM2.5) from Vehicular Travel on Paved and Unpaved Roads*.
<http://www.epa.gov/ttn/emc/tmethods.html#CatC/>.
- EPA. (2022). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*.
- EPA. (2022). *Óxidos de Nitrógeno ¿Por Qué y Cómo Se Controlan ?* Environmental Protection Agency.
- Eraut, M. (1982). Evaluation a systematic approach. In *International Journal of Educational Development* (Vol. 2, Issue 3, p. 291). [https://doi.org/10.1016/0738-0593\(82\)90010-4](https://doi.org/10.1016/0738-0593(82)90010-4)
- Escobar, J. C. (2019). Universidad Técnica de Cotopaxi UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI.
In *Sistema Biodigestor*.
- Fonseca, A., & Borroto, E. (2021). *Enfermedades por exposición ocupacional a plomo: revisión sistemática exploratoria de la evidencia cualitativa y cuantitativa*. Universidad San Gregorio de Portoviejo.
- Franco-Ruiz, W., & Jiménez-Castro, W. (2021). COVID- 19 y su impacto en el sector automotriz del Ecuador. *593 Digital Publisher CEIT*, 6(3), 5–15.
<https://doi.org/10.33386/593dp.2021.3.513>
- Galarza, D. (2022). *Determinación de concentración de Material Particulado 2.5 (PM2.5) con el uso de aeronaves tripuladas a distancia en el área del parque industrial de la ciudad de Cuenca*. 5.
- García, E. (2001). *Combustión*. Ingeniería Industrial.
- GCE. (2015). Manual del Sector de la Energía: Quema de Combustibles. *Directrices Del IPCC Para Los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*, 43.
<https://unfccc.int/sites/default/files/7-bis-handbook-on-energy-sector-fuel-combustion.pdf>
- Gobierno de España. (2022). *Factores de Emisión* . Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Guevara, E., & Logroño, B. (2020). *Determinación de la concentración de Material Particulado Sedimentable y Volátil en la comunidad de San José de Chanchahuan por incidencia industrial*.
- Hernández, M., Encalada, M., & Molina, S. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. *Ministerio Del Medio Ambiente*, 1(Reintegración Comunitaria), 5–90.
- Hernández, Y., López, D., & Moya, F. (2019). Monitoreo ambiental como herramienta para el seguimiento continuo previsto en la evaluación de impacto ambiental. *Rev. Espacios*, 40(03),

17. <http://www.revistaespacios.com/a19v40n03/a19v40n03p17.pdf>
- Herrera, J., Rodríguez Román, S., & Rojas Marín, J. F. (2012). Determinación de las emisiones de contaminantes del aire generadas por fuentes móviles en carreteras de Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 25(1), 54. <https://doi.org/10.18845/tm.v25i1.176>
- IDAE. (2005). Combustibles y vehículos alternativos - España. *TREATISE Instituto Para La Diversificación y Ahorro de La Energía Ministerio de Industria Turismo Comercio*, 16–22. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10297_TREATISE_CombustiblesVehiculosAlternativos_A2005_d9d8d6b3.pdf
- IDEAM. (2006). *Contaminación Atmosférica*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- INECC-SEMARNAT. (2013). Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas. *Instituto de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, 1, 123–142. www.ine.gob.mx
- Instituto para la Salud Geoambiental. (2022). *El dióxido de azufre SO₂*.
- Jerves, R., & Armijos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja*, 23(1), 25-34. doi:<http://orcid.org/0000-0002-7141-2390>
- León, C. (17 de diciembre de 2012). *Geografía y Medio Ambiente*. Obtenido de Propiedades Físicas y Químicas de la atmósfera: <https://celix.blogspot.com/2011/06/propiedades-fisicas-y-quimicas-de-la.html>
- López, T., & Pacheco, A. (2015). *Efectos de la contaminación atmosférica en la salud de las personas en la ciudad de Cuenca*. 14–70. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21309/1/tesis.pdf.pdf>
- Loza Lalangui Carlos Paul, Quishpe Reinoso Henry Stalyn, & Rubio Terán Juan Carlos. (2022). Análisis de las Normativas INEN de Ecuador. *Artículo de Investigación*, 7(6), 4–7. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i6.4084>
- Manrique, V. (2016). *Efectos del Metano sobre el cambio climático*. 28–33.
- Martínez Gutiérrez, J. A. (2013). *Vehículo Eléctrico: Analisis Y Prospectiva De Factores Tecnológicos Y Económicos*. 167. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/6296/1/PFC-P-94.pdf>
- Méndez, Á. (2010). Compuestos halogenados. *La Guía*, 207–219. <http://quimica.laguia2000.com/general/compuestos-halogenados>
- Mendoza, M. (2014). *Valoración de contaminantes del aire generada por fuentes móviles para la gestión de la calidad del aire en el mercado de Tacna, 2011-2012 (tesis de maestría)*. 108. <http://www.repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1002>

- Ministerio del Ambiente. (2013). *Anexo 3 - Emisiones de Aire*. 1–43.
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2022). *El tráfico vehicular en Cuenca es la fuente de emisión más contaminante del aire*.
- NTE INEN 2204. (2016). Norma Técnica Ecuatoriana Ecuatoriana NTE INEN 2204. *Inen*.
<http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2204.pdf>
- Núñez, C. S. (2018). "ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES EN VEHÍCULOS A GASOLINA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CAMPUS HUACHI." *Energies*, 6(1), 1–8.
<http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- OEHHA. (2023). *PM2.5*.
- Onursal, B., & Gautam, S. P. (2015). Contaminación atmosférica por vehículos Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina. *Banco Mundial*, 24.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/001083/Course2/Lecturas/Vehiculos/chapter0.pdf>
- Palate, L. A. (2017). *Contaminación Atmosférica*. 40.
- Pérez Prieto Paloma. (2008). https://www.gacetadental.com/wp-content/uploads/2017/10/295_CIENCIA_SedacionOdontologia.pdf. 95814.
- Planelles González. (1996). *Estudio comparativo del dióxido de carbono y vapor de agua*.
- Posligua, J. (2020). *Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de una propuesta de generación y aprovechamiento del gas metano a partir de los residuos sólidos en el Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos*. 2020, 64.
- PRTR. (2022). *NMVOC(COVIDM COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES DISTINTOS DEL METANO)*.
- PRTR España. (2013). *Óxidos De Azufre*.
- Quishpe, Y. (2021). *La Contaminación Ambiental*. Universidad San Juan Bautista
- Ramos, J. (2014). La Contaminación Ambiental. *Industrial Data. Revistas de investigación UNMSM*, 2(1), 47-51. doi:<https://doi.org/10.15381/idata.v2i1.6504>
- Recalde, M. R. (2022). *Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria y dinámica mediante ciclo IM-240*.
- Rivas, E. (2022). *Evaluación de las emisiones de monóxido de carbono por el uso de chimeneas*

- Dommot en la ciudad de Cuenca.*
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21853/1/UPS-CT009559.pdf>
- Rivera, J. (2012). Modelo de identificación de factores contaminantes atmosféricos críticos en Lima – Callao. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 1–156.
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3109>
- Roás, L. I. (2011). Los vehículos eléctricos. *Universidad Antonio de Nebrija*, 1–9.
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12>
- Robayo Fernando. (2022). *Estos fueron los 5 autos más vendidos en Ecuador en el 2022.*
- Rubio, J. (2019). Monitoreo y evaluación del impacto ambiental del material particulado PM10 y PM2,5 en la Universidad Politécnica Salesiana “Campo Sur.” In *Tesis*.
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Sánchez, L. G., Fabela, M. de J., Flores, O., Hernández, J. R., Vázquez, D., & Cruz, M. E. (2019). Revisión de la Normativa Internacional sobre Límites de Emisiones Contaminantes de Vehículos de Carretera. *Instituto Mexicano Del Transporte*, 562, 83.
<https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt562.pdf>
- Sanchez Yunga, L. P., & Zuñiga Guzhñay, A. P. (2018). *Análisis de la contaminación de gases de vehículos tipo L1 y L3, mediante el muestreo de emisiones para la determinación de niveles de contaminación en la ciudad de Loja.*
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15315/4/UPS-CT007535.pdf>
- Segovia, M. (1952). *Introducción a la contaminación atmosférica ¿Qué se entiende por contaminación atmosférica?* Universidad Pablo de Olavide Sevilla.
- Selva, J. (2007). *La atmósfera: Estructura, composición química y propiedades físicas.* Universidad de Murcia.
- SGCAN. (2012). Gestión Ambiental en los países de la Comunidad Andina. *Revista de La Integración N°9.*, 9, 140.
<http://www.comunidadandina.org/Upload/20121022162610revista9.pdf>
- SIAFA. (2015). *Óxidos de Nitrógeno.* 9609(Óxidos de Nitrógeno Óxidos de Nitrógeno), 3.
- Simioni, D. (2003). *Fortalecimiento de la conciencia ciudadana para la formulación de políticas de control de la contaminación atmosférica en tres metrópolis de América Latina.*
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2351/1/S02121026_es.pdf
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, álvaro. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. *Revista de Salud Pública*, 8(1), 108–117.

<https://doi.org/10.1590/s0124-00642006000100010>

Trespalacios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). *IDS 1.2-Gases y efecto invernadero-V01 .docx Gases y efecto invernadero.*

Urgiles, J. (2016). *Propuesta metodológica para la obtención de un inventario de emisiones de fuentes móviles terrestres en la ciudad de Cuenca.*

Velasco, C. (2021). *Los efectos en la salud de la contaminación atmosférica en la ciudad de Quito entre 2013 y 2018.* 129.

Velepucha-Sánchez, De, E., Industrial, M., Gestión, M., Posgrado, I. De, Técnica, U., Portoviejo, D. M., De, D., Mecánica, C. De, Facultad, D., & Matemáticas, D. C. (2021). *EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES EN VEHÍCULOS LIVIANOS A GASOLINA EMISSIONS OF POLLUTING GASES IN LIGHT GASOLINE VEHICLES El desarrollo de las sociedades modernas se encuentra íntimamente ligado a una creciente presión sobre el medio ambiente , principalm. 8, 78–95.*

Vivar, E. (2014). *Cuantificación de material particulado PM10 y su efecto toxicológico-ambiental, en la ciudad de Azogues.* 109.

Zárate, M. S., Gales, A., Jordá-Vargas, L., Yahni, D., Relloso, S., Bonvehi, P., Monteiro, J., Campos-Pignatari, A., & Smayevsky, J. (2007). Contaminación ambiental durante un brote de enterococo resistente a vancomicina en un hospital de Argentina. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 25(8), 508–512. <https://doi.org/10.1157/13109987>

Zheng, Y., He, X., Wang, H., Wang, M., Zhang, S., Ma, D., Wang, B., & Wu, Y. (2020). Well-to-wheels greenhouse gas and air pollutant emissions from battery electric vehicles in China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(3), 355–370. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09890-5>

ANEXOS

Anexo 1: Diseño y colocación de las estaciones móviles en los vehículos.



Figura 49. Impresión de las estaciones móviles en una impresora 3D.

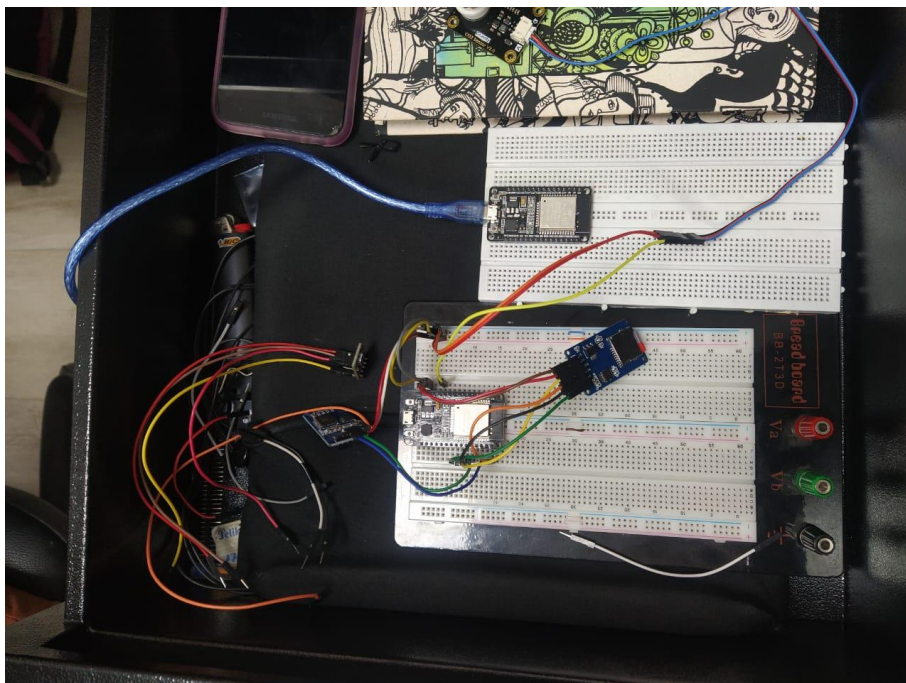


Figura 50. Calibración de los sensores.

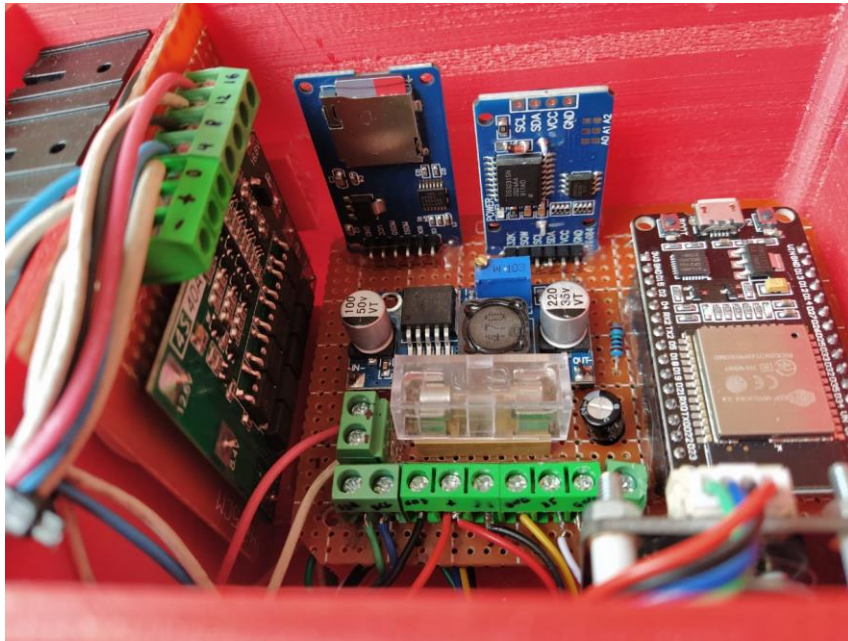


Figura 51. Instalación y colocación de los sensores en las estaciones móviles.



Figura 52. Medición de las estaciones para construcción de la base de soporte.



Figura 53. Soporte metálico para las estaciones móviles.



Figura 54. Colocación de soporte para estación móvil.



Figura 55. Prueba de soporte y estabilidad de las estaciones móviles.



Figura 56. Estaciones móviles instaladas en los dos vehículos.

Anexo 2. Recorrido de los monitoreos con las estaciones móviles



Figura 57. Kilometraje de inicio del vehículo eléctrico en los monitoreos.



Figura 58. Kilometraje final del vehículo eléctrico en el monitoreo.



Figura 59. Inicio de ruta de monitores con los dos vehículos.



Figura 60. Parte media de la ruta de monitoreo con los dos vehículos, en la estación fija 2.



Figura 61. Parte final de la ruta de monitoreo, a la altura de la estación fija 3.

Anexo 3. Fotografías del procesamiento y análisis de datos en Excel y RStudio.

DIA	FECHA	ESTACION	HORARIO	HORA	CO	CO2	NO2	H2S	O3	PM2.5
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:36:15	5	751	10.25	2.03	0	6.12
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:39:17	5	702	10.93	2.02	0	6.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:42:19	6	687	11.71	1.98	0	6.47
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:45:21	6	628	11.32	2	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:48:23	12	576	16.38	1.99	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:51:25	13	650	16.77	1.98	0	5.58
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:54:27	11	650	17.55	1.95	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	9:57:29	11	600	18.13	2.01	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:00:31	12	602	18.81	1.93	0	6.98
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:03:33	11	615	17.16	2.06	0	6.98
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:06:35	12	606	15.21	1.99	0	9.56
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:09:37	12	628	16.96	2.86	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:12:39	12	1150	15.12	2.55	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:15:41	11	1229	14.43	2.42	0	8.37
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:18:43	11	961	15.12	2.3	0	5.58
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:21:45	12	833	17.84	2.26	0	5.58
SABADO	27/5/2023	1	Matutino	10:24:47	12	761	17.55	2.33	0	5.58
LUNES	29/5/2023	1	Matutino	9:36:15	13	721	17.45	2.24	0	5.58

Figura 62. Procesamiento de datos de las estaciones fijas.

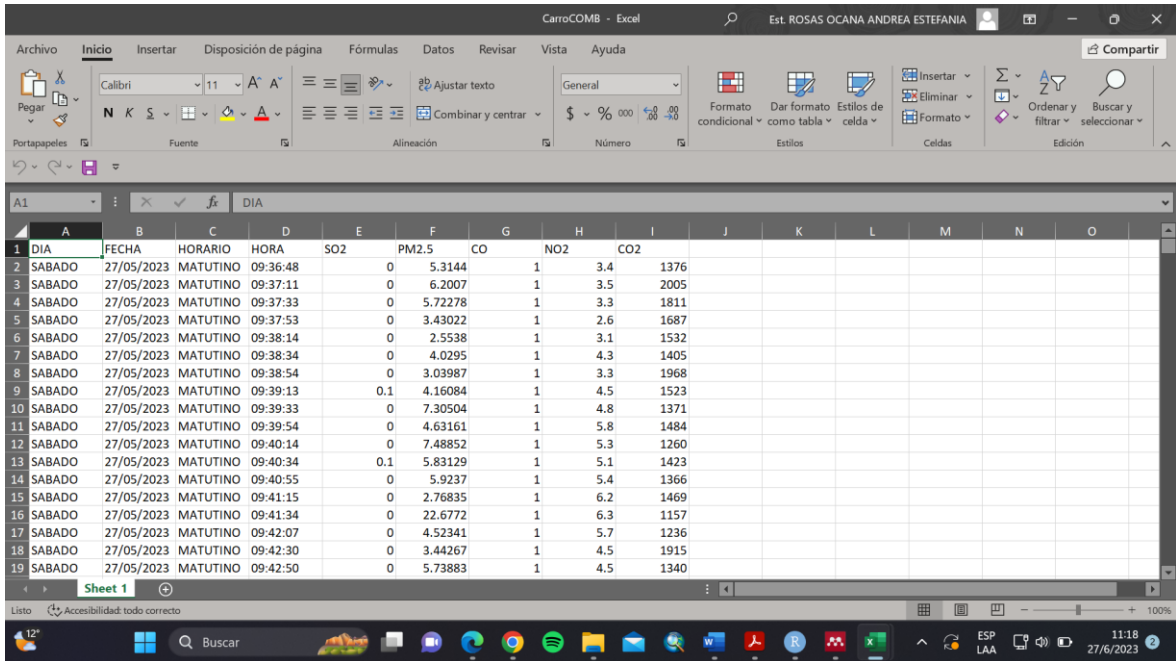


Figura 63. Procesamiento de datos del vehículo a combustión.

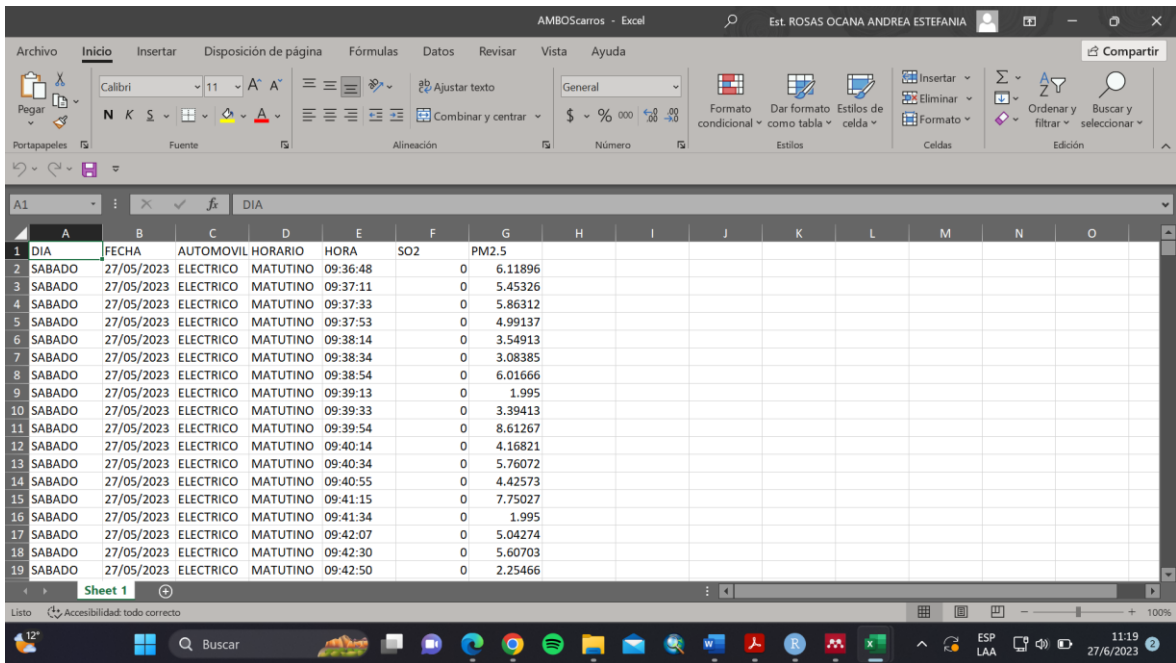


Figura 64. Procesamiento de datos del vehículo eléctrico.

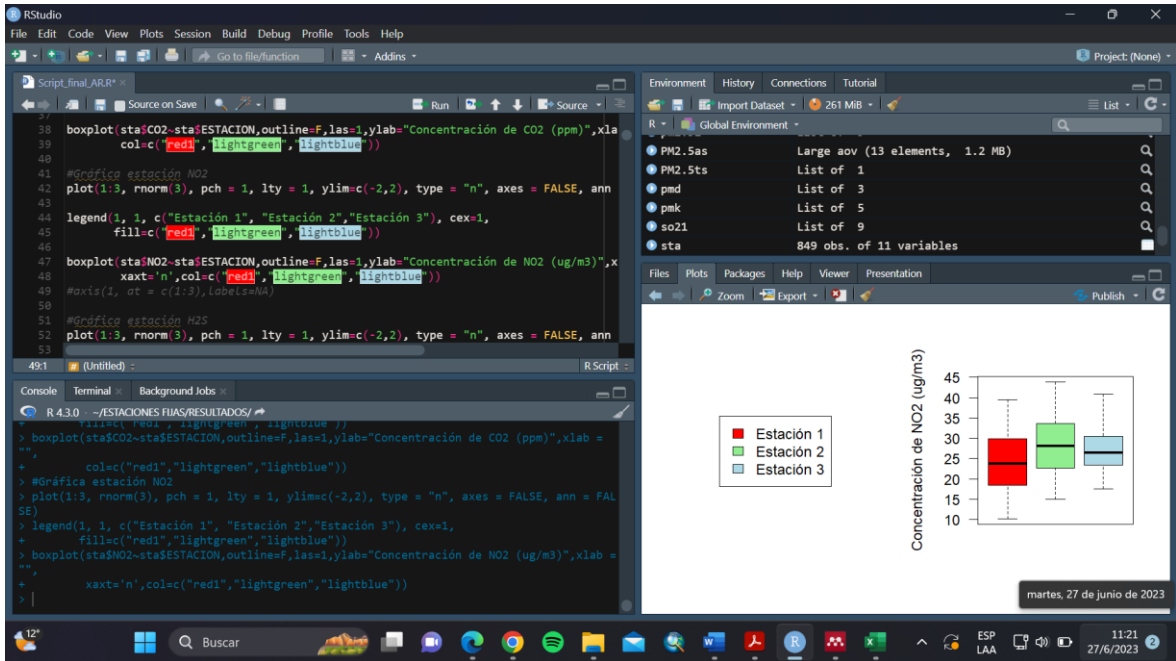


Figura 65. Análisis de datos de las estaciones fijas en RStudio.

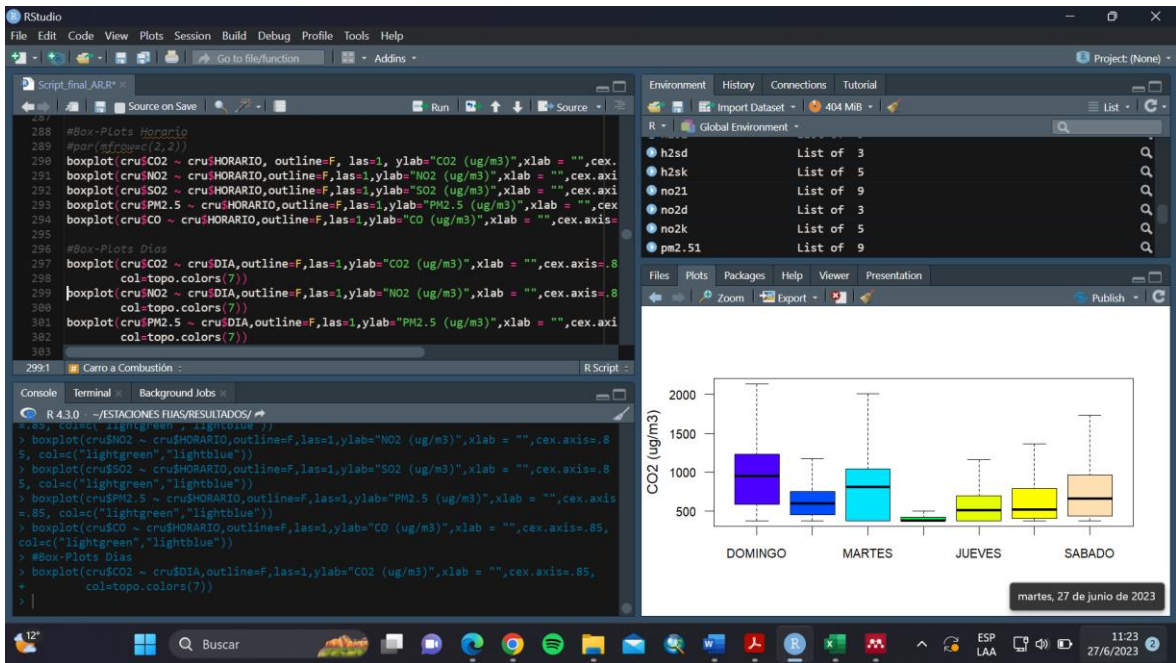


Figura 66. Análisis de datos de la estación móvil del vehículo eléctrico.

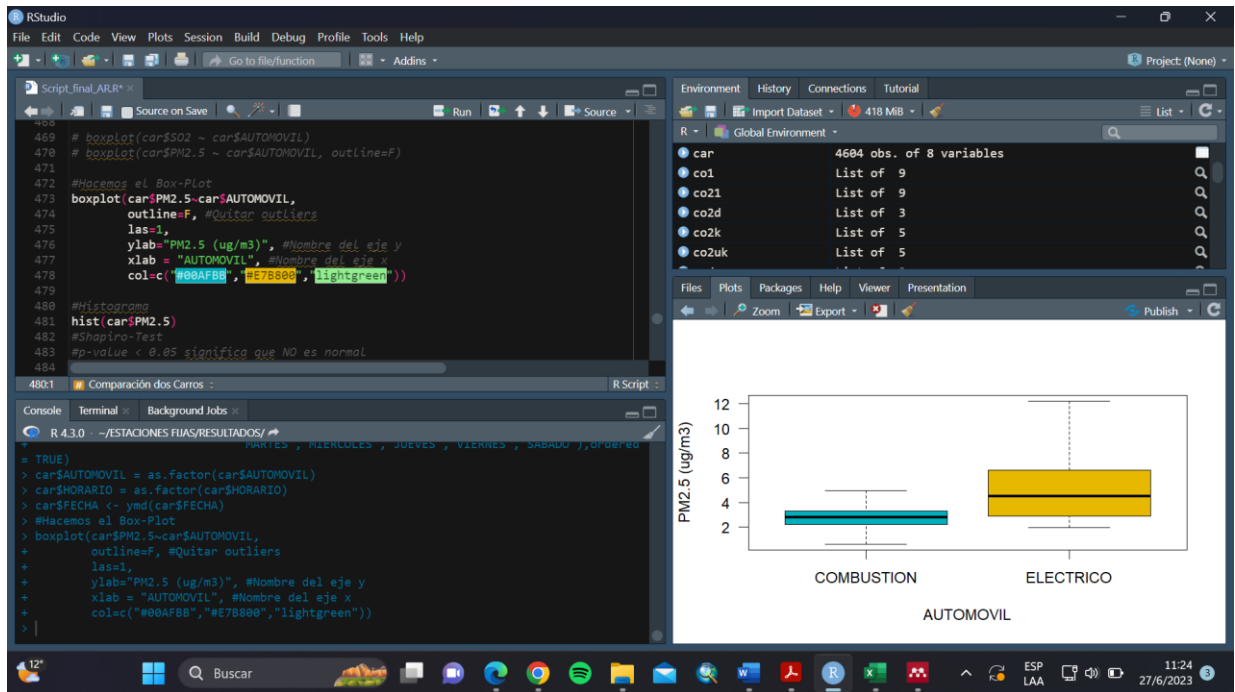


Figura 67. Procesamiento de datos del vehículo a combustión y eléctrico en RStudio.

Anexo 4. Pruebas de confiabilidad de los datos

95% family-wise confidence level

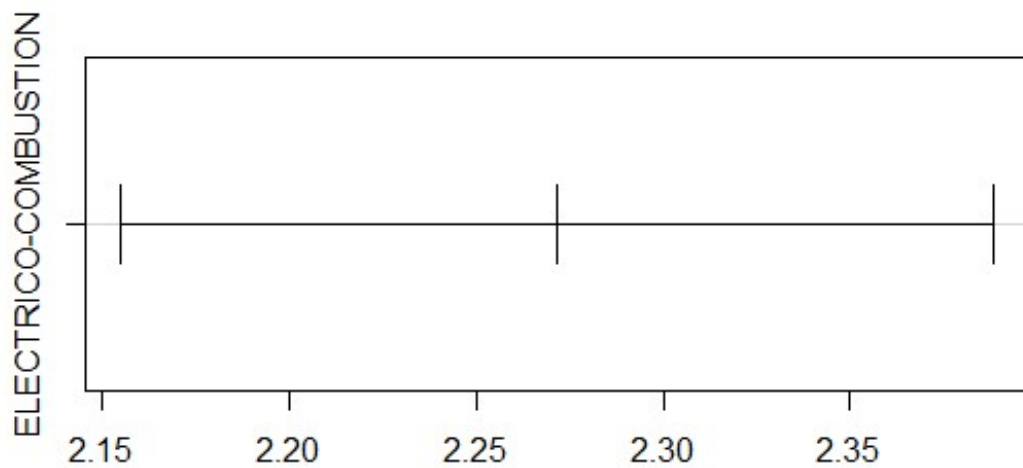


Figura 68. Gráfica de prueba TukeyHSD con el intervalo de confianza de la diferencia de PM_{2.5} entre el vehículo eléctrico y de combustión.

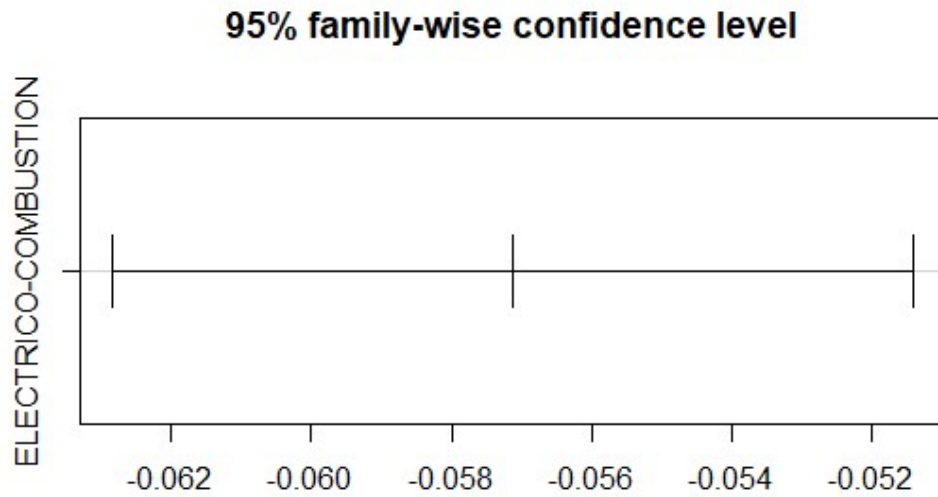


Figura 69. Gráfica de prueba TukeyHSD con el intervalo de confianza de la diferencia de SO_2 entre el vehículo eléctrico y de combustión.

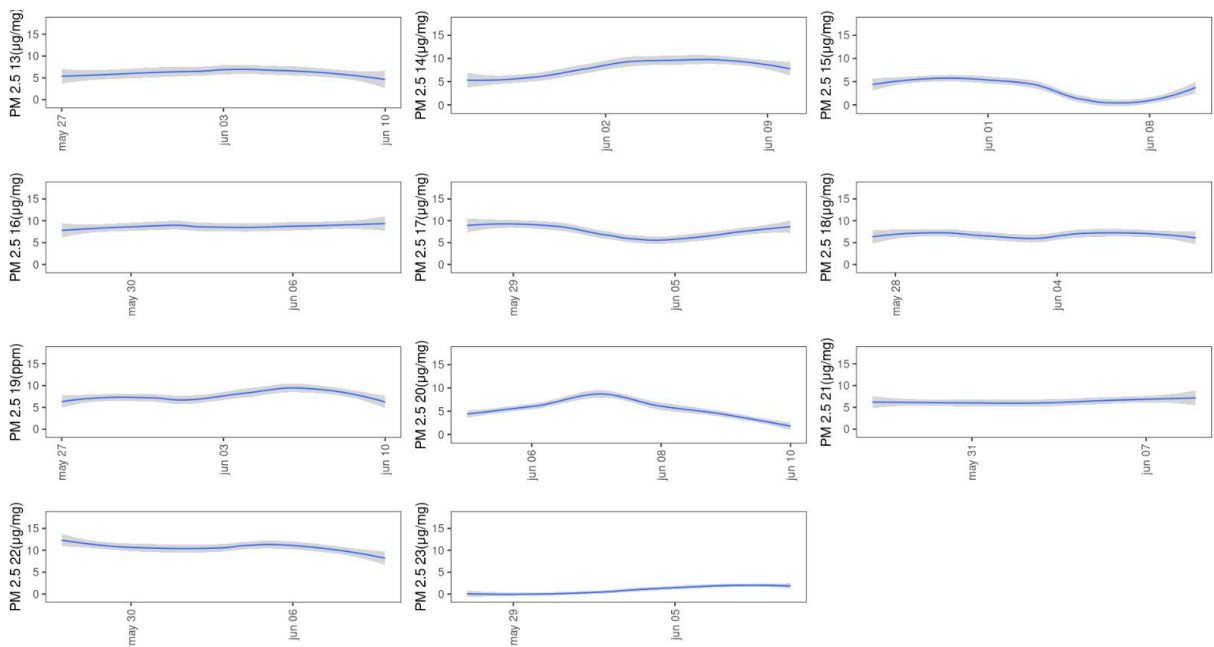


Figura 70. Comparación de los datos obtenidos de $\text{PM}_{2.5}$ con las estaciones fijas de la EMOV entre los años 2013 y 2022.

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

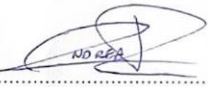
Nosotros, Edwin Gonzalo Mosquera Ochoa portador de la cédula de ciudadanía N.º 07042043779 y Andrea Estefanía Rosas Ocaña portador de la cédula de ciudadanía N.º 0107121022. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO Y UNO DE COMBUSTIÓN INTERNA, EN LA AVENIDA DE LOS MIGRANTES DE LA CIUDAD DE CUENCA" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 14 de julio de 2023

F: 

Edwin Gonzalo Mosquera Ochoa

07042043779

F: 

Andrea Estefanía Rosas Ocaña

0107121022