ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

"ANALISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM $_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO, MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO"

Realizado por:

LISSETTE ESTEFANÍA ACOSTA SUÁREZ

Director del proyecto:

JESÚS LÓPEZ VILLADA, PhD.

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

QUITO, 25 DE MARZO DEL 2022

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

DECLARACIÓN JURAMETADA

Yo, LISSETTE ESTEFANÍA ACOSTA SUÁREZ, con cédula de identidad # 1718053794, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

LISSETTE ESTEFANÍA ACOSTA SUÁREZ

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

"ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO"

Realizado por:

LISSETTE ESTEFANÍA ACOSTA SUÁREZ

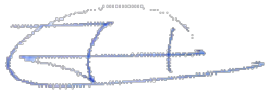
Como requisito para la obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

JESÚS LÓPEZ VILLADA, PH. D

Quien considera que constituye un trabajo de su autor



ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los profesores informantes:

KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO

MIGUEL MARTINEZ MESTRE

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral

ante el tribunal examinador

FIRMA FIRMA

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

DEDICATORIA

Mi proyecto de tesis se lo dedico a mi querida y adora mamita Gladys Suárez, que, con su amor verdadero, sacrificio, paciencia, cariño y su apoyo incondicional ayudo a que este momento tan anhelado para las dos llegará, me faltará vida para agradecerle todo lo que usted ha hecho por mí. Este triunfo es completamente suyo.

A Dios por siempre estar a mi lado y no dejarme sola.

A mi amada abuelita por ser como una segunda madre para mí, gracias por su amor incondicional.

A mis amigos de siempre, gracias por toda su ayuda (Tefy, Vane, Jeff, Mau).

A mis lindos compañeros y amigos que me dejo la universidad, gracias por hacer de esta etapa la mejor (Yoyito, Tami, Jos, Dani, Andy y Meli).

A Rubén, gracias por tu cariño y por incentivarme a ser mejor.

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi tutor Jesús López por brindarme su tiempo, apoyo y conocimiento para realizar este proyecto.

A Katty Coral por ser un gran ser humano, amiga y profesora, gracias por sus consejos, el cariño que demuestra a sus alumnos y la calidad humana que usted tiene, logró que amara esta carrera, gracias por toda su enseñanza.

A la Secretaría de Ambiente del DMQ, por su ayuda y autorización en la obtención de mis datos, en especial al Técnico Luis Guanoluisa.

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

Para someter a:

To be submitted:

"ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDÍANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO"

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

Resumen

La presente investigación se realizó para analizar la exposición personal de $PM_{2,5}$ y NO_2 de los ciudadanos en distintos medios de transporte en el sur de la cuidad de Quito, ya que solo existen estaciones fijas de monitoreo, pero no estudios para medir el nivel de exposición personal, teniendo en cuenta que el ser humano inhálala 14 litros de aire por minuto, se debe tomar en cuenta la exposición de los ciudadanos durante sus trayectos diarios, debido a que son superiores a las registradas por la estación fija y sobrellevar el tráfico durante mucho tiempo, provoca que se inhale una mayor cantidad de contaminantes, siendo la exposición a corto plazo de grandes cantidades de contaminantes la causa del aumento de la mortalidad en la población. La toma de datos se realizó mediante la construcción y calibración de un equipo de bajo costo para la medición de NO_2 y $PM_{2,5}$ eligiéndose para el monitoreo los transportes más utilizados: Ecovía, Trole, Corredor Sur Occidental, taxi y automóvil. Las rutas que se utilizaron fueron las mismas por donde circulan el Ecovía (avenida Maldonado), Trole (avenida teniente Hugo Ortiz) y el Corredor (avenida Mariscal Sucre) todas empezaron el recorrido en la parada Quitumbe y terminaron en las paradas El Recreo, Villaflora y La Mascota respectivamente. Se analizó la exposición durante tres semanas, los resultados se obtuvieron por cada día de la semana, apreciándose que hay valores altos en algunas paradas y en varios casos son mayores a los niveles que la estación fija reporta.

PALABRAS CLAVE: Microambientes de transporte, exposición personal, NO_2, $PM_{2,5}$, $equipo\ de\ bajo\ costo$

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

Abstract

The present investigation was carried out to analyse the personal exposure of $PM_{2,5}$ y NO_2 of citizens in different means of transport in the south of the city of Quito, since there are only fixed monitoring stations, but no studies to measure the level of personal exposure, taking into account that the human being inhales 14 litres of air per minute, the exposure of citizens during their daily journeys must be taken into account, because they are higher than those registered by the fixed station and cope traffic for a long time causes a greater amount of pollutants to be inhaled, with short-term exposure to large amounts of pollutants being the cause of the increase in mortality in the population. Data collection was carried out through the construction and calibration of low-cost equipment for the measurement of $PM_{2,5}$ y NO_2, choosing the most used transport for monitoring: Ecovía, Trole, Corredor Sur Occidental, taxi, and automobile. The routes used were the same where the Ecovía (Maldonado Avenue), Trole (Teniente Hugo Ortiz Avenue) and the Corredor (Mariscal Sucre Avenue) circulate, all of which began the journey at the Quitumbe stop and ended at the El Recreo, Villaflora stops. and The Mascot respectively. Exposure was analysed for three weeks, the results were obtained for each day of the week, noting that there are high values at some stops and in several cases, they are higher than the levels reported by the fixed station.

KEY WORDS: Transport microenvironments, personal exposure, $PM_{2,5}$, NO_2, low-cost equipment

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

Introducción.

El ser humano, en un minuto, inhala 14 litros de aire (Martínez et al., 2015), es decir, al día serán 20 160 litros de aire; el cual debería estar libre de contaminación, pero no es así. El aire limpio es un derecho fundamental para mantener el bienestar y salud poblacional, pero hoy en día sigue siendo una problemática que amenaza la salud de todo el mundo, tanto así que existen más de dos millones de muertes prematuras debido a los efectos de la contaminación atmosférica, siendo lo peor, que la mayoría de estas muertes suceden en países en vías de desarrollo, (World Health Organization, 2005),

El tiempo de exposición que emplean las personas cuando caminan por las calles, usan el transporte público, van en su propio vehículo o simplemente están junto al tráfico, es suficiente para que estén expuestos a concentraciones de contaminantes atmosféricos superiores a las registradas en las estaciones de monitoreo atmosférico permanente, (García & Varela, 2007)

Los contaminantes son mayormente urbanos y provienen de dos fuentes: Fuentes móviles (tráfico rodado) y fuentes fijas (industrias, usos residenciales (climatización) y eliminación de residuos). Existen dos tipos de contaminantes, los primarios que provienen directamente de la fuente de emisión (SO_2, NO_2, $PM_{2,5}$, CO) y los contaminantes secundarios, los cuales son una consecuencia de cambios químicos y físicos que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera (NO_2, O_3, $PM_{2,5}$).(Gibson, 2015).

Se centro el estudio en dos contaminantes NO_2 y $PM_{2,5}$; con respecto al primer contaminante, el nitrógeno se encuentra en los combustibles, pero también en el aire junto con el oxígeno, mediante la combustión a altas temperaturas se generan los óxidos de nitrógeno y

esto justifica por qué se encuentran más en el tráfico o en la generación de electricidad; del total generado, solo el 5% será NO_2 primario y la mayor proporción será secundario volviéndose un problema para la salud (World Health Organization, 2005); lo mismo sucede con el segundo contaminante, su aumento en el aire se debe a los procesos de combustión (Carrillo, 2005) que provocan graves problemas de salud, tiene un grave impacto para el clima global y la exposición a corto plazo aumenta de 0,25% a 2,08 % la mortalidad por cada incremento de 10 $\mu g/m^3$ diarios, es decir que las concentraciones por hora también estarán relacionadas con la mortalidad, por eso un mejor indicador es la concentración máxima que la media diaria (Ulloa et al,, 2017),

Por otro lado, es tema de interés todo lo relacionado con el COVID – 19 y se han hecho varios estudios en este tiempo, que demuestran que los altos niveles de NO_2 y $PM2,_5$ aumentan la mortalidad que de por sí, ya produce la enfermedad (ISC, 2020), Si el $PM_{2,5}$ aumenta en 1 $\mu g/m_3$ del promedio, se puede relacionar al aumento de un 8% a la tasa de muerte por COVID – 19, con un intervalo de confianza del 95% (IC 95%: 2-15)(Wang et al,, 2021) y por otro lado si se aumenta 1$\mu g/m_3$ del promedio de NO_2 se genera un incremento de 3,5% de tasa de mortalidad con un intervalo de confianza del 95% (IC95% 2,3 – 4,7) (Cabrera-Cano et al,, 2021),

Ecuador, tiene un promedio anual de $PM_{2,5}$ de 20 $\mu g/m^3$ en el año 2020 y no es el más bajo pese a la pandemia, porque el mismo dato también se obtuvo en los años 2011 y 2013, (IHME, 2020) este es el contaminante más medido y observado mundialmente existiendo muchas páginas web donde se puede encontrar en tiempo real y en promedios los datos de esta sustancia, por el contrario, no sucede lo mismo con el NO_2 que sus niveles de contaminación

son más altos cerca de la fuente, es decir en los vehículos que circulan en calles principales, tanto así que en atascos y a 50 metros alrededor se puede elevar al doble o más, comparados con áreas residenciales o calles menos transitadas (EPA, 2011).

Con respecto a la normativa aplicable, este estudio se basará en tres normas principales: la EPA (Agencia de protección Ambiental de EE, UU,) estándar primario que se basa en la protección a la salud pública, OMS (organización Mundíal de la Salud) y NECA (Norma ecuatoriana de calidad del aire) las cuales proporcionan los siguientes valores límites fijados:

Tabla 1. Normativa de valores límites fijos de NO_2 y $PM_{2.5}$
Basado en: (US EPA, 2012), (OMS, 2021), (Ministerio del Ambiente Ecuador, 2011)

Tabla 1. Valores máximos permitidos para NO_2 y $PM_{2.5}$

NORMA	NO_2 ($\mu g/m^3$)		$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	
EPA	1 hora	188,13	24 horas	35
	Anual	99,71	Anual	12
OMS	1 hora	25	24 horas	15
	Anual	10	Anual	5
NECA	1 hora	200	24 horas	50
	Anual	40	Anual	15

En la cuidad de Quito, a inicios de los ochenta, la Red Ecuaire fue la primera pequeña red de monitoreo atmosférico, pero desapareció a finales de los noventa (Páez, 2012). Desde 1999 ya existían concentraciones extremadamente altas de material particulado por encima de la norma, por esa razón, en el año 2004 se crea la Corporación para el mejoramiento del Aire

en Quito (CORPAIRE) quienes se encargaban de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) y del Índice Quiteño de Calidad del Aire (IQCA), (Hernández et al., 2010). La revisión técnica vehicular (RTV) fue la medida más importante para reducir las emisiones y dentro del primer año de aplicación se redujo entre 15 y 30% de las emisiones totales y con respecto a hidrocarburos no combustionados se redujo de un 21 a un 36 % (Páez, 2012)

El transporte tiene sus propios microambientes como son: espacios en el interior de automóviles, taxis o buses tantos públicos como privados, las aceras y espacios públicos cerca del tráfico vehicular, produciéndose una mayor exposición personal a los contaminantes (García & Varela, 2007).

En el DMQ, con datos del año 2017 donde se produjeron un total de 7.073.471,273 número de desplazamientos díarios en alimentadores, buses, automóviles, taxis, caminando y en bicicleta (Municipio del DMQ,2017), demostrando que se pasa mucho tiempo en esos microambientes. Por consiguiente, la exposición personal en microambientes de tráfico frente a la que sucede en áreas de medición fijas causará una exposición diferente que no son monitoreadas permanentemente para su evaluación como sucede en las estaciones de red de monitoreo del DMQ, (Rodríguez et al., 2016).

Varios estudios realizados en Barcelona, Dublín, Taipen, Londres y Arnhem demostraron que las concentraciones de $PM_{2,5}$ son más altas en microambientes de transporte cerrado como, por ejemplo: automóvil, bicicleta, bus, metro, peatones o tranvía, debiéndose a que están mucho más cerca de la vía y los ciudadanos están más próximos a las emisiones vehiculares. En estos estudios, la concentración media geométrica más alta se encontró en el

carro; con 35 $\mu g/m^3$, en Dublín la concentración más alta se encontró durante el uso de la bicicleta con 37,1 $\mu g/m^3$,en Taipei la concentración más alta se encontró en las mediciones del peatón con 42,1 $\mu g/m^3$, en Londres la concentración más alta que se encontró fue en el metro de 238,7 $\mu g/m^3$ de media geométrica, por estación y por último en Arnhem fue en un carro a gasolina, obteniéndose una concentración de 114,8 $\mu g/m^3$, (Silva, 2016). Por otro lado, las concentraciones en $\mu g/m^3$ de la exposición personal en vehículos y buses de NO_2 en distintas partes del mundo fueron las siguiente; Vehículo: 55,8 Sídney / 200 – 250 Paris / 129,7 Hong Kong / 47 Bejín / 28,2 Perth y 75,2 Birmingham. Y en bus fueron las siguientes: 28,2 – 58,3 Texas / 64 – 220 Los Ángeles / 83,3 Sídney / 129,7 Hong Kong / 203 Paris / 58,3 Perth y 133,4 Birmingham. (Żak et al., 2017)

Selección de sensores

Se investigó investigaciones anteriores donde se usó sensores de NO_2 y de $PM_{2.5}$. Se encontró un trabajo y un artículo en donde el uso de estos sensores funcionó correctamente. En Colombia se realizó un estudio sobre desarrollar un sistema de sensor de NO_2, usaban un sensor llamado MICS – 2714; el cual se utilizó para medir el nivel de este compuesto, medíante la creación de una mascarilla con un filtro de carbono que también estaba incorporaba con dicho sensor, creado exclusivamente para el uso de ciclistas. Observaron que para obtener una calibración asertiva se debe hacer la curva de regresión con datos minútales de la estación de la Secretaría de Ambiente. (Fajardo, 2016).

Por otro lado, se encontró un artículo realizado en Kamloops, Canadá , para medir las concentraciones de $PM_{2.5}$ donde utilizan el sensor Plantower PMS5003 en la construcción de su equipo de bajo costo; las mediciones obtenidas las compararon con las de las estaciones del gobierno afirmando que siguen una misma tendencia, especialmente, son más precisos cuando

los datos son menores a 80 ųg/m^3 y que las mediciones del equipo se vieron influenciadas por variables ambientales como viento, temperatura. (Ulloa et al., 2017). Después del análisis realizado, los dos sensores seleccionados para el equipo fueron el MICS - 2714 y Plantower PMS5003 ya que fueron los que más accesibilidad tenían, tanto económicamente como de ubicación para traerlos a nuestro país.

Se decidió construir un equipo de medición personal de bajo costo, el cual es más fácil y ligero de transportar, este equipo utilizará dos sensores: el MiCS-2714 para medir NO_2 y una planta PMS5003 para medir $PM_{2,5}$, los cuales se ensamblarán en una placa Arduino Mega; paralelamente se realizarán mediciones con un dispositivo de muestreo de aire el PCE – MPC 30, pero como dicho dispositivo mide exclusivamente $PM_{2,5}$, los dos se calibraran con los equipo de la estación fija de medición "El Camal".

De acuerdo con lo planteado anteriormente, la hipótesis de trabajo, se basa en encontrar una relación entre los valores medidos al sur de Quito de contaminantes (PM 2,5 y NO_2), los cuales serán mayores a los límites horarios indicados por la OMS, NECA, EPA, también serán diferentes a los valores de la estación fija de monitoreo "El Camal" y quizás valores iguales de concentraciones medías geométricas.

Por ello, el objetivo principal fue analizar los niveles de exposición personal de PM 2,5 y NO_2 a los que están expuestos los ciudadanos del sur de Quito en distintos microambientes de transporte como son Trole, Ecovía, Corredor Sur Occidental, taxi y automóvil medíante la construcción, calibración y validación de un equipo de medición personal, Los objetivos específicos fueron (1) Seleccionar, construir, ensamblar y calibrar los sensores de PM 2,5 y NO_2 para el equipo de medición personal, (2) Realizar un diseño muestral para seleccionar las

rutas y puntos donde se realizarán las mediciones, (3) Tabular y analizar los datos obtenidos en las mediciones comparándolas con la norma NECA, OMS y la de la estación fija de monitoreo de "El camal", (4). Proponer propuestas de mejora con respecto a los datos obtenidos.

Materiales

- **PCE - MPC 30**

Es un dispositivo portátil que mide las partículas de distinto tamaño, donde una de sus funciones es medir la concentración másica de PM 2.5, indicando el peso de las partículas por metro cúbico. Este tiene un rango de medición que va desde el 0 hasta los 2000 ųg/m^3, siendo estas unidades en las que se trabajara en el proyecto. (PCE Iberica S.L, 2020) Las características técnicas elegidas que se utilizaron en el dispositivo, para la toma de muestras fueron:

Tabla 2. Configuración PCE - MPC 30.

Intervalo de tiempo	1 segundo
Ciclo de muestra	1
Tiempo de retardo al inicio	3 segundos
Tiempo de muestreo	15 segundos/ 0,7080 L

Para la toma de muestras con este dispositivo, se instaló en el sensor de partículas una manguera de 1,8 cm de diámetro y 15 cm de largo con la finalidad que la toma de la muestra se encuentre lo más cercano a la nariz en el momento de la inhalación del aire.

Figura 1. Equipo PCE -MPC 30

Fotografía de Lissette Acosta, (Quito, enero 2022)

- **Mikroelektronika NO_2 Click – Mikroe 3700**

Es un clickboard creado por Mikroe que incluye un sensor compacto: el MICS -2714, el cual es de óxido de metal, un sensor simple pero robusto. Tiene un periodo de precalentamiento antes de iniciar las mediciones y después se obtendrán datos en intervalos de dos segundos. Tiene un rango de medición desde 0 hasta 10 ppm. (Mikroe,2021), la unidad de medida en la cual se reportan los datos es en ppb.

Figura 2. Sensor de NO_2.

Fotografía tomada de MIKROE, 2022. (ww.mikroe.com/no2-2-click)

- **PMS5003**

Es un sensor de partículas, que mide la concentración másica de partículas suspendidas en el aire utilizando la dispersión laser para obtener la curva del cambio de luz de la dispersión con respecto al tiempo. Tiene un rango efectivo que va desde 0 hasta 500 ųg/m^3 (Yong, 2016) siendo estas unidades en las que se trabajará y la obtención de datos tendrá un intervalo de 2 segundos.

Figura 3. Sensor de $PM_{2.5}$ - PMS5003.

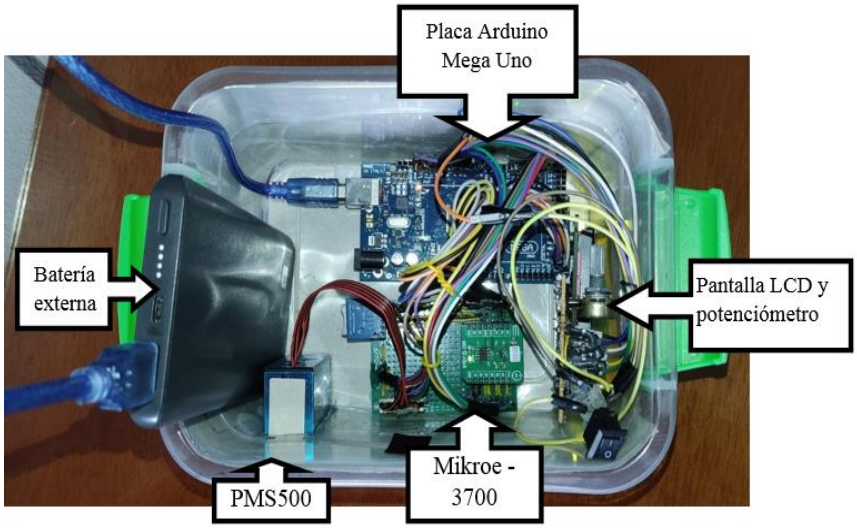
Fotografía de Lissette Acosta. (Quito, julio 2021)

Tabla 3. Costos unitarios de los componentes del equipo de medición de bajo costo.

MATERIAL	Unidad	Costo Unitario (USD)
Mikroelektronika NO2 CLICK - MIKROE 3700	1	38,45
PMS5003	1	30,61
Arduino Mega Uno	1	21,55
Pantalla LCD Arduino dos líneas	1	7
Cables de 15 cm	28	4,20
Cables de 10 cm	6	0,60
Interruptor	1	1
Potenciómetro	1	1

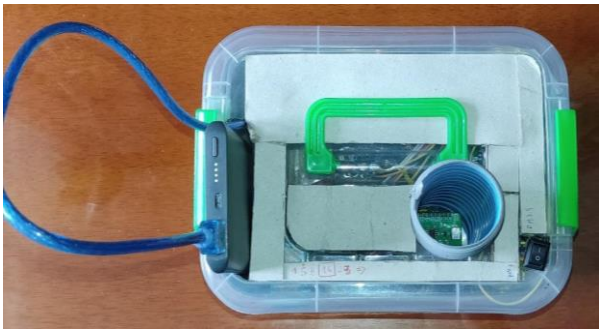
Tarjeta SD	1	5
Fuente externa de energía	1	18.00
TOTAL, PRECIO BASE		126,41
Mano de obra		20.00
Envíos		15.00
TOTAL		162,41

Figura 4. *Equipo de medición de bajo costo.*



Fotografía de Lissette Acosta. (Quito, enero 2022)

Figura 5. Parte Superior del equipo de medición de bajo costo.



Fotografía de Lissette Acosta. (Quito, enero 2022)

Calibración

Para calibrar el equipo se utilizó la estación de monitoreo ambiental fijo de "El Camal". Dicha estación cuenta con equipos fijos de medición, para medir el NO_2 utilizan el equipo modelo T200 con software NumaView que utiliza la quimioluminiscencia para analizar NO_2, NO_X y NO y para medir el material particulado utiliza el equipo FH62C14 de Thermo Scientific el cual se basa en principios de atenuación beta para medir concentraciones de aerosoles ambientales. Durante 6 días (28, 29, 30 de octubre y 01, 03, 04 de noviembre del 2021) se calibró el equipo, los dos primeros días se calibraron durante 4 horas seguidas pero los datos eran muy bajos a los de la secretaría, por lo cual, estos sirvieron para implementar sombra al lugar de medida y también una mayor protección al equipo (cartón flexible) a partir de ese momento los próximos 4 días; los 2 primeros se utilizó para calibrar el material particulado y los dos estacións el dióxido de carbono, durante 3 horas seguidas. Posteriormente, con los datos obtenidos se promedió los valores por minuto (27 valores) para compararlo con los datos de la estación fija.

Figura 6. Calibración de los equipos.

Nota: Primer día de mediciones para calibrar los equipos en la estación de "El Camal" Fotografía de Lissette Acosta. (Quito, octubre 2021)

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

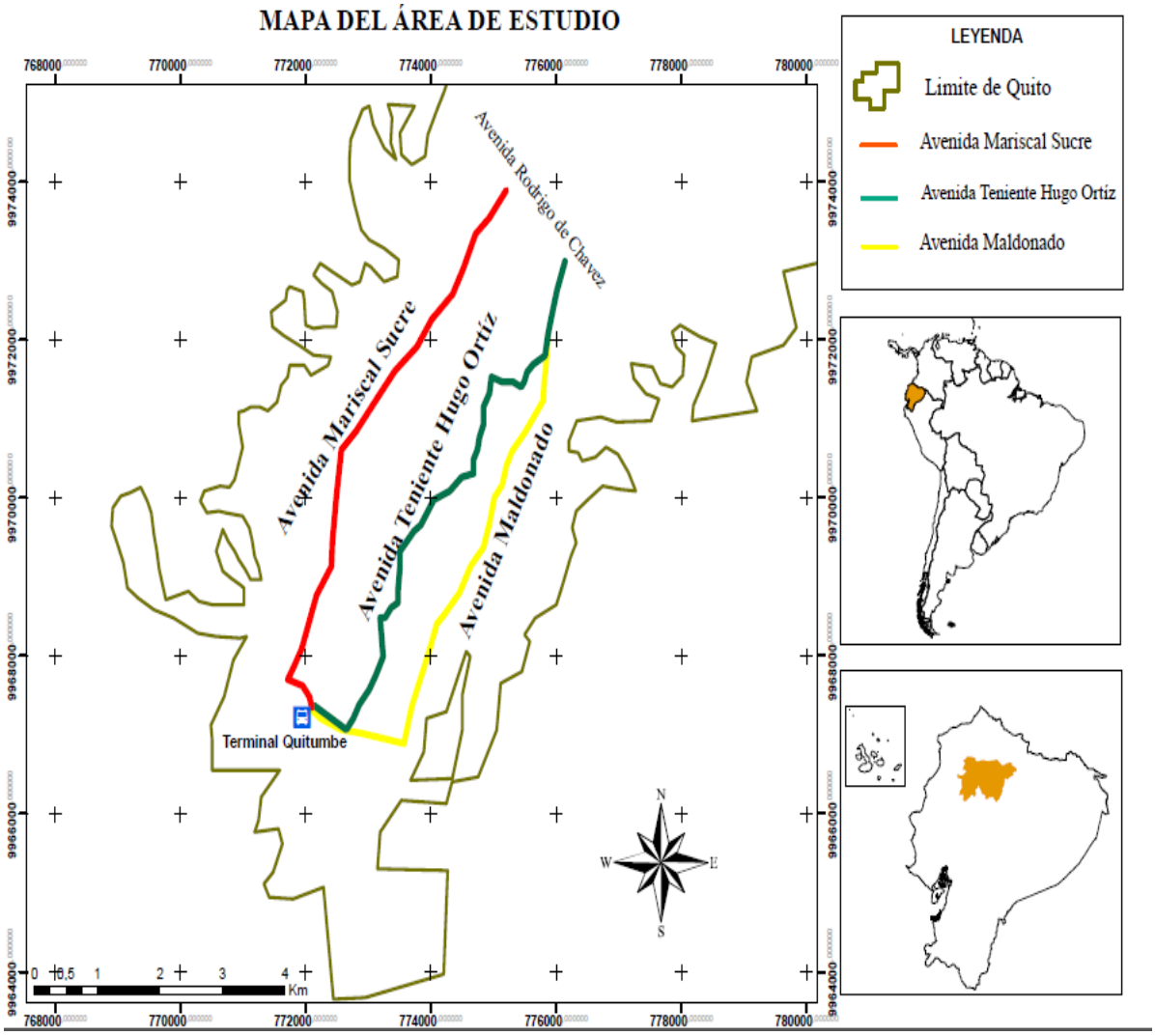
METODOLOGÍA

ÁREA DE ESTUDIO

El sur del Distrito Metropolitano de Quito, limita con el Complejo Volcánico Atacazo y Pichincha al occidente y al oriente por las colinas Puengasí y Bellavista, el crecimiento es horizontal, exactamente 40 km de norte a sur y del este al oeste de 5 a 6 km. Tiene un clima templado húmedo con una estación de lluvia que sucede en los meses de octubre hasta marzo y la estación seca se produce en los meses de julio hasta medíados de septiembre. Con respecto a la temperatura el Sur de Quito está en dos pisos climáticos el uno es el Ecuatorial frío húmedo y el mesotérmico húmedo lo que genera que tenga una temperatura medía anual de entre 12°C y 18°C (Avilés, 2013).

La investigación abarcó dos administraciones zonales ubicadas al sur de Quito, la administración zonal Eloy Alfaro que comprende los barrios de: La Argelia, Chimbacalle, La Magdalena, Chilibulo, San Bartolo, La Mena, Ferroviaria, Solanda y Lloa y la segunda administración zonal es Quitumbe que incluye los barrios de: La Ecuatoriana, Chillogallo, Quitumbe, Guamaní y Turubamba). (Municipio del D.M.Q, 2009). Juntas tienen un total de 748,969 habitantes, siendo la segunda y tercera administración con mayor población a nivel del DMQ (Municipio del DMQ ,2017).

Figura 1. Mapa del área de estudio. Principales avenidas de ingreso al sur de Quito



Realizado por Lissette Acosta (Quito, junio 2021)

Diseño muestral

En primer lugar, se estableció usar las tres avenidas principales de ingreso al Sur de Quito, por ser estas las más transitadas y por las cuales circulan varios sistemas integrados de transporte. En la avenida Mariscal Sucre circula el Corredor Sur Occidental, por la avenida teniente Hugo Ortiz circula el Trole y por la avenida Maldonado la Ecovía.Por las mismas rutas pasan los dos microambientes de transporte faltantes, los cuales son: un taxi marca Hyundai;

modelo Accent del año 2011 y automóvil marca Volkswagen; modelo Virtus del año 2021. Los tres sistemas integrados de transporte terminan su recorrido en el Terminal Terrestre Quitumbe, volviéndose en un punto inicial de muestreo.

Rutas de muestreo

- Ruta Corredor Sur Occidental (Av. Mariscal sucre): La ruta empieza el Terminal Terrestre Quitumbe hasta la Av. Mariscal Sucre y Av. Rodrigo de Chávez (parada la Mascota), tiene un trayecto total de 8,8 km y recorrerlo tomó un tiempo aproximado de 24 a 26 minutos.
- Ruta Ecovía (Av. Maldonado): La ruta empieza en el Terminal Terrestre Quitumbe hasta la Av. Maldonado y Miguel Carrión (Terminal el Recreo) con un trayecto total de 9,6 km y su recorrido tomó un tiempo aproximado de 25 a 29 minutos.
- Ruta Trole (Av. teniente Hugo Ortiz): La ruta empieza en el Terminal Quitumbe hasta la avenida Alonso de Angulo y Rodrigo de Chávez (parada la Villaflora) con un trayecto total de 8,6 km y el tiempo de recorrido fue de 29 a 33 minutos. (Google maps, s.f.).

Puntos de Muestreo

Se escogió como puntos de muestreo cada una de las paradas de la Ecovía, Trole y Corredor Sur Occidental y considerando el espacio entre parada y parada se colocó una medición adicional (parada intermedía), para así poder abarcar el recorrido completo. En total cada una de las tres rutas tuvo 26, 29 y 25 puntos de muestreo, detallados a continuación.

Tabla 4. Puntos de muestreo. Ecovía, Trole y Corredor Sur Occidental.

ECOVÍA	TROLE	CORREDOR SUR OCCIDENTAL
QUITUMBE	QUITUMBE	QUITUMBE
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
QUILLALLACTA	CONDOR ÑAN	HACIENDA EL CARMEN
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
OTOYA	AMARU ÑAN	FUNDEPORTE
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
EL CAPULI	MORAN VALVERDE	CHILLOGALLO
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
PACARRILLACTA	TURUBAMBA	SANTA RITA
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
PUENTE DE GUAJALO	QUIMIAG	SANTA BARBARA
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
SAN CRISTOBAL	MERCADO MAYORISTA	MENA DOS
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
AYAPAMBA	SOLANDA	BILOXI
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
EL COMERCIO	AJAVÍ	LA SANTIAGO
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
SAN BARTOLO	LA INTERNACIONAL	ALONSO DE ANGULO
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
EPLICACHIMA	QUITO SUR	EL PINTADO
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
PUJILI	ESPAÑA	LA MAGDALENA
PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA	PARADA INTERMEDÍA
EL RECREO	EL CALZADO	LA MASCOTA
ESTACIÓN DEL RECREO	PARADA INTERMEDÍA	
	EL RECREO	
	PARADA INTERMEDÍA	
	LA VILLAFLORA	

- **Procedimiento de construcción**

1. Primero se seleccionó la placa Arduino mega Uno, pudiendo elegirse cualquiera de los sensores para comenzar, no hay necesidad de tener un orden específico, el esquema de

conexiones del equipo y el cuadro de la funcionalidad de cada uno de los pines se podrán observar en el Anexo A y en el Anexo B.

2. Se comenzó con el sensor de NO_2, para que no haga interferencia, se le soldó las conexiones en una galleta, este sensor tiene 16 pines; ocho a cada lado del sensor, los cuales medíante un cable de 15 cm se unirán los pines de la placa de Arduino.

3. Después el sensor de $PM_{2.5}$, el cual también está en la galleta externa tiene solo cuatro pines, con el cable que viene por defecto se le adapto para colocarlo en la galleta medíante una regleta y después la conexión de estos pines a la placa Arduino se lo hizo con cuatro cables de 15 cm.

4. A esta galleta se le adaptó un puerto para una tarjeta microSD que al igual cuenta con 5 pines de conexión.

5. La pantalla LCD y el potenciómetro también se colocaron en una galleta aparte para mayor comodidad, donde la primera tiene 8 pines que se van a unir a los del Arduino medíante un cable de 15 cm cada uno; y por otro lado el potenciómetro solo tiene tres pines donde el primero se va a unir al pin SV del Arduino y de este habrá una conexión intermedía al pin A de la pantalla. El pin dos se conectará al pin VO de la pantalla LCD y por estación el pin tres tendrá dos conexiones tanto al pin GND y al pin K.

6. La conexión del Switch tendrá solo tres pines que saldrán a conectarse al Arduino.

7. Una vez realizadas todas las conexiones, se procedió a conectar a una computadora para empezar la programación, la cual se reflejada en el Anexo C.

8. Se valida la programación y se encuentra listo el equipo para el montaje.

9. Se utilizó una caja de almacenamiento plástica con una jaladera en la parte superior, con seguridad a los lados para que permanezca cerrada, adaptando agujeros para la

exposición al aire de los dos sensores y al sensor de NO2 se le adaptó una manguera corrugada de 4 cm de diámetro y 13 cm de largo.

10. Finalmente, cuando se empezó hacer las mediciones de calibración, se estableció que se necesitaba forrar la caja con cartón flexible para regular la temperatura interna del equipo en el afán de mantenerla constante procurando obtener valores parecidos a los de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito..

Mediciones

Las mediciones se realizaron durante tres semanas, desde el 28 de noviembre 2021 hasta 18 diciembre del 2021, las cuales se detallan en la tabla 5.

Se evaluó Google traffic y se observó que existen dos franjas horarias con mayor flujo vehicular, tanto de ida como de vuelta de lunes a viernes, el cual empieza desde las 08:00 am hasta las 13:00 pm y en la tarde desde las 17:00 pm hasta 19:30 pm. Los fines de semana, el flujo vehicular cambia: el sábado tiene dos franjas horarias de mayor flujo vehicular que empiezan a las 9:00 am hasta las 13:00 pm y por la tarde 16:00 pm a 18:00 pm, pero el domingo tiene un solo intervalo de con mayor flujo vehicular que es de 06:00 am hasta 13:00 pm. (Google traffic, s.f.). Se tomó en cuenta estos horarios y se seleccionó las horas de muestreo.:1) Trole, Ecovía y Corredor desde las 12:00 pm hasta 12:30 o 12:40 pm, se escogió este rango de tiempo porque era en el que había un flujo importante de personas, se podía manejar los equipos con facilidad y por seguridad.

2) Automóvil Volkswagen se escogió la franja horaria de la tarde de hora pico y las mediciones se hicieron desde las 18:00 pm hasta las 18:30 o 18:40 pm.

3) Taxi en el horario de 06:00 am hasta 06:30 o 06:40 am.

Tabla 5. Cronograma de mediciones.

DOMINGO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
28/11/2021 *Taxi*	29/11/2021 Trole	30/11/12 Ecovía	01/12/2021 Corredor	02/12/2021 Automóvil	03/12/2021 Taxi	04/12/2021 Trole
Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14
05/12/2021 Taxi	06/12/2021 Trole	07/12/2021 Ecovía	08/12/2021 Corredor	09/12/2021 Automóvil	10/12/2021 Taxi	11/12/2021 Ecovía
Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21
12/12/2021 Taxi	13/12/2021 Trole	14/12/2021 Ecovía	15/12/2021 Corredor	16/12/2021 Automóvil	17/12/2021 Taxi	18/12/2021 Corredor

Tiempo de muestreo.

El tiempo de muestreo empleado en cada uno de los puntos fue de 15 segundos, midiéndose al mismo tiempo NO_2 y $PM_{2,5}$, con el equipo de bajo costo y el PCE – MPC 30. Se eligió este porque era el tiempo justo para evaluar la contaminación en cada parada, si se alargaba el tiempo iba a ser necesario bajarse en cada una de las paradas y no se hubiera podido evaluar el trayecto continuo.

RESULTADOS

Tabla 6. Análisis estadísticos de correlación con los datos de la estación "El Camal

		ESTADISTICAS DE REGRESIÓN		
		PM 2,5		NO2
		PCE - MPC 30	PMS5003	MICS-2714
	Coeficiente de correlación	0,519702747	0,93222982	0,87309467
	R^2 ajustado	0,268877353	0,863704844	0,75952422
	Coeficiente	0,034115433	0,540467284	1,40980517
Intervalo de confianza	Inferior 95%	0,030280541	0,510202178	1,32832151
	Superior 95%	0,037950324	0,57073239	1,49128883

Gráfico 1. Curva de regresión ajustada para el equipo PCE.

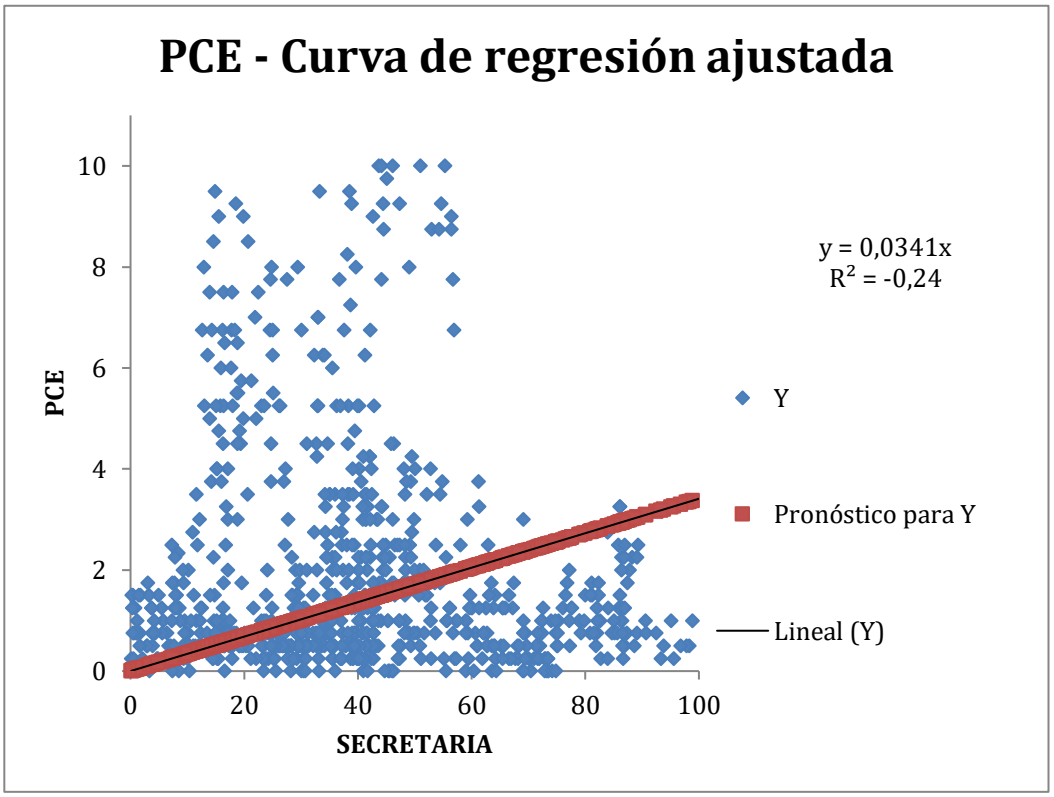


Gráfico 2. Curva de regresión ajustada para el sensor PMS5003

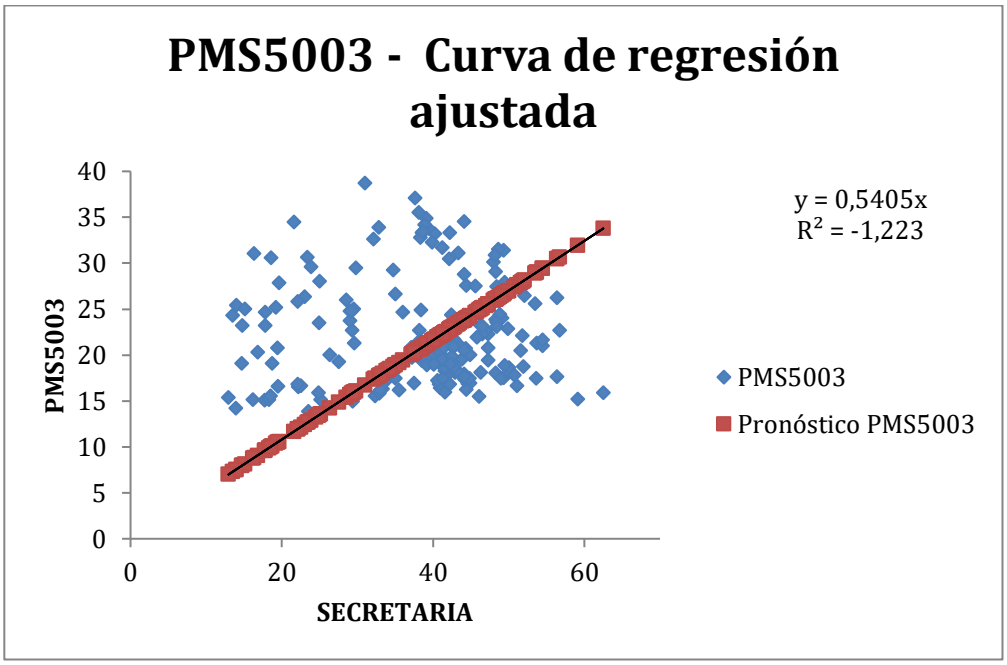
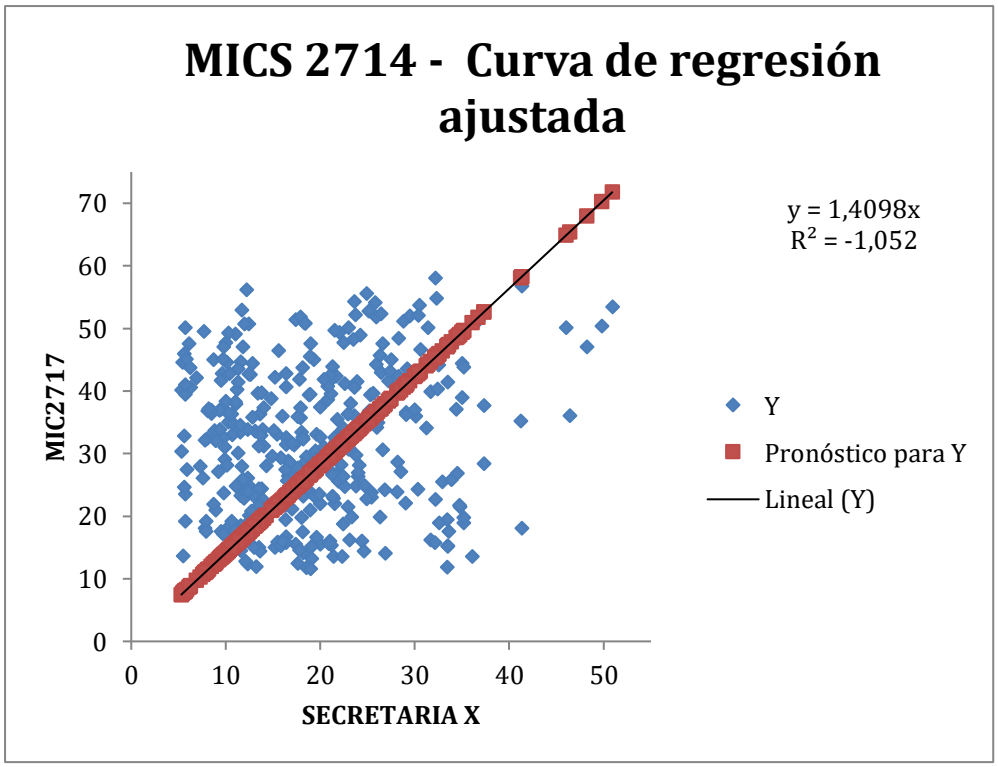


Gráfico 3. Curva de regresión ajustada para el sensor MICS -2714



Muestreo

Gráfico 4. Análisis de $PM_{2,5}$ a lo largo del trayecto del Trole durante tres lunes.

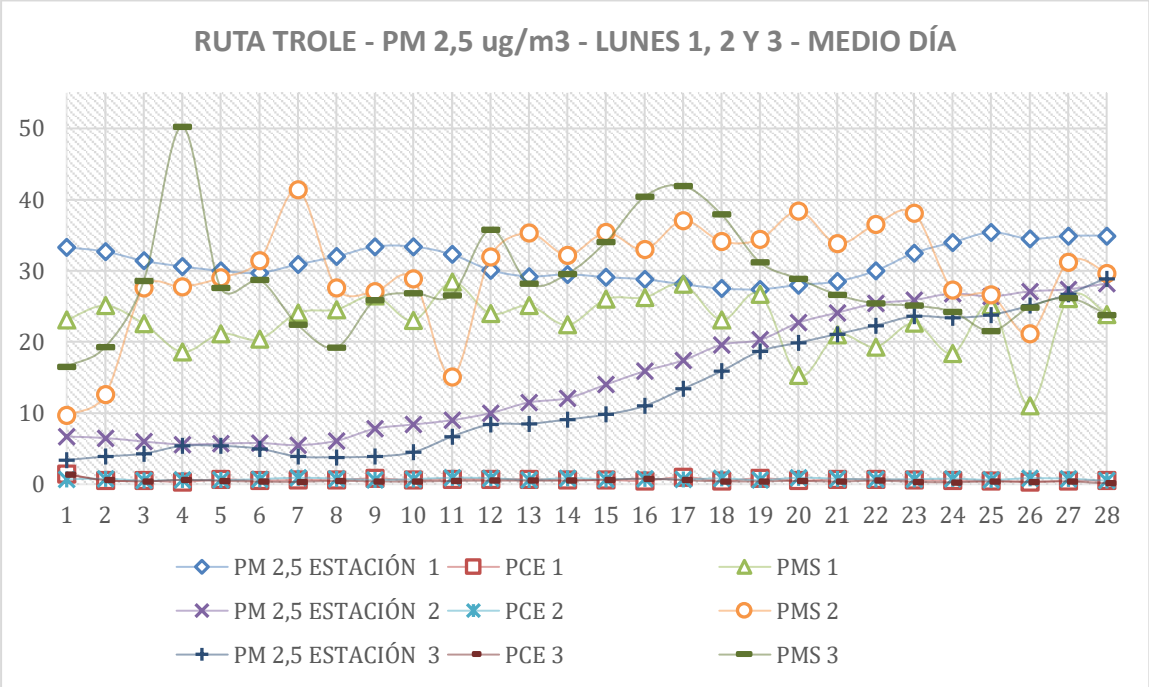


Gráfico 5. Análisis de NO_2 a lo largo del trayecto del Trole durante tres lunes.

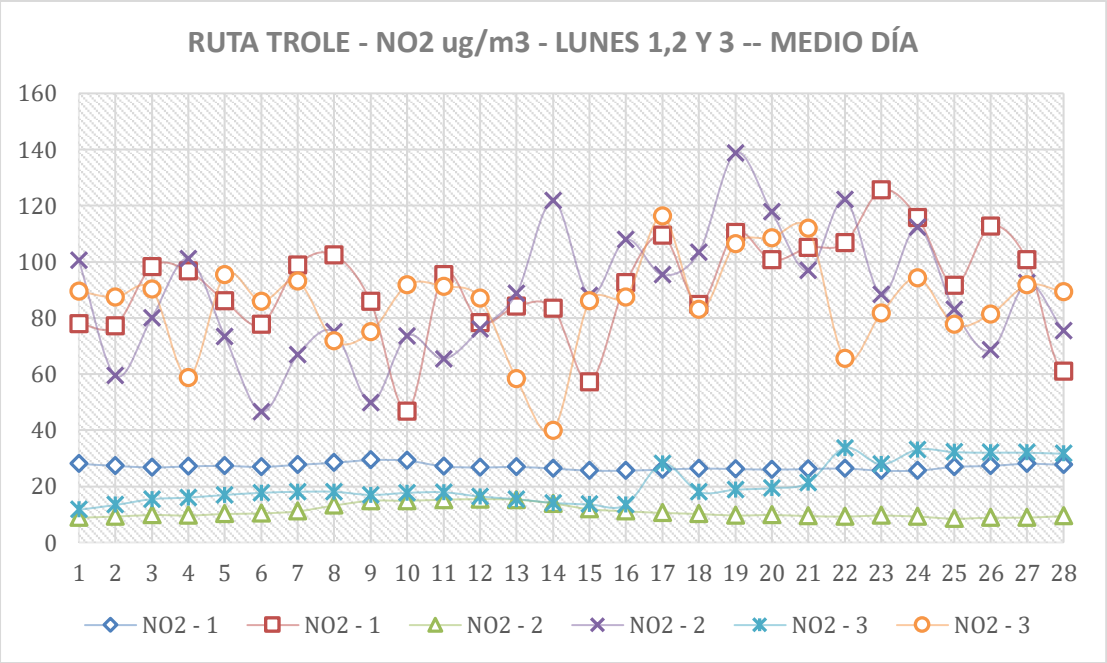


Gráfico 6. Análisis de $PM_{2,5}$ a lo largo del trayecto del Ecovía durante tres martes.

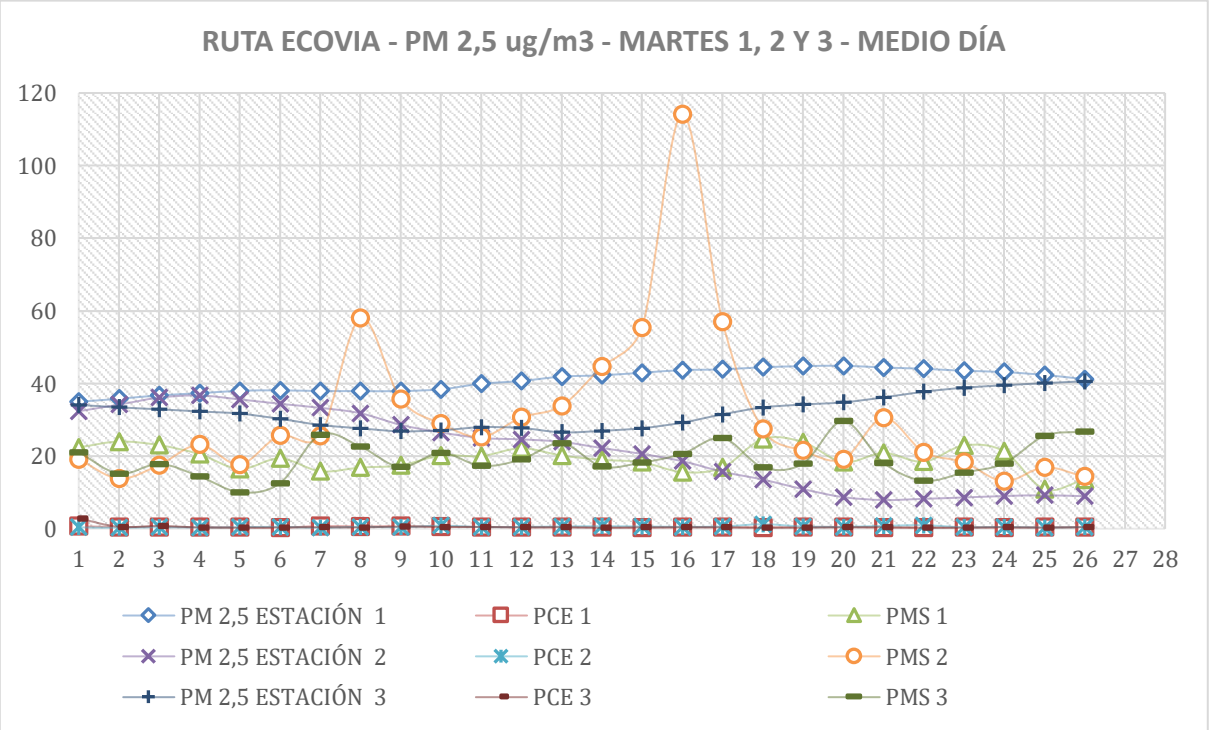


Gráfico 7. Análisis de NO_2 a lo largo del trayecto del Ecovía durante tres martes.

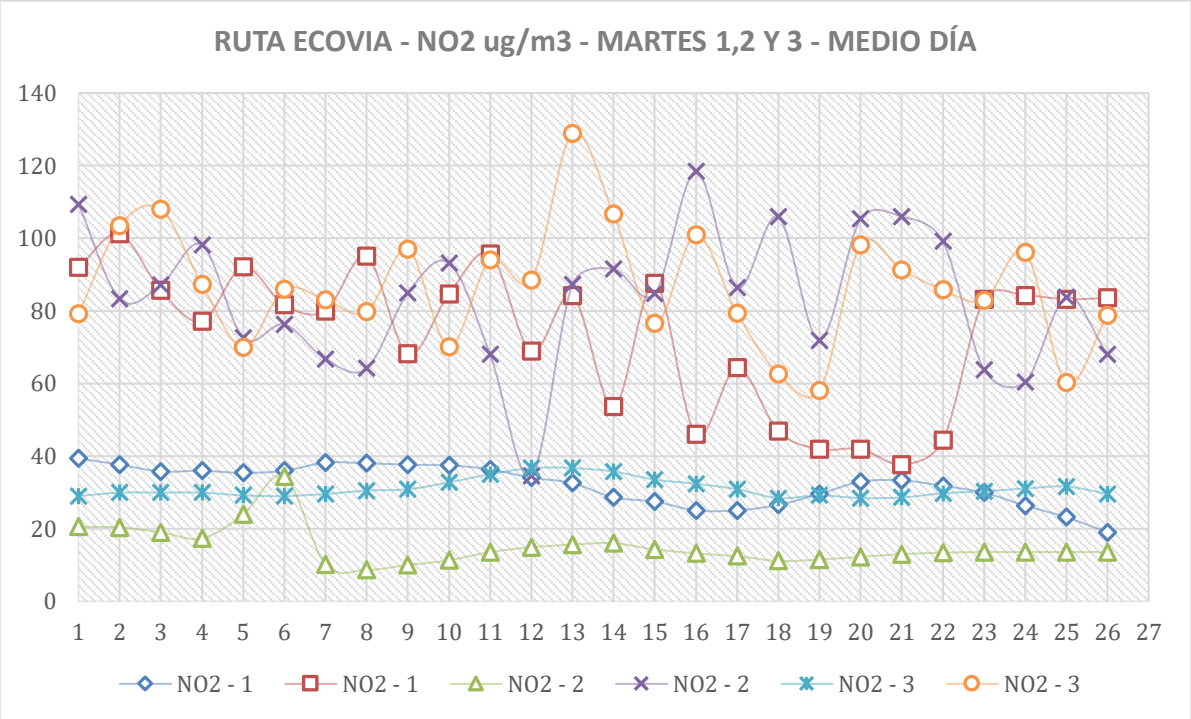


Gráfico 8. Análisis de $PM_{2,5}$ a lo largo del trayecto del Corredor durante tres miércoles.

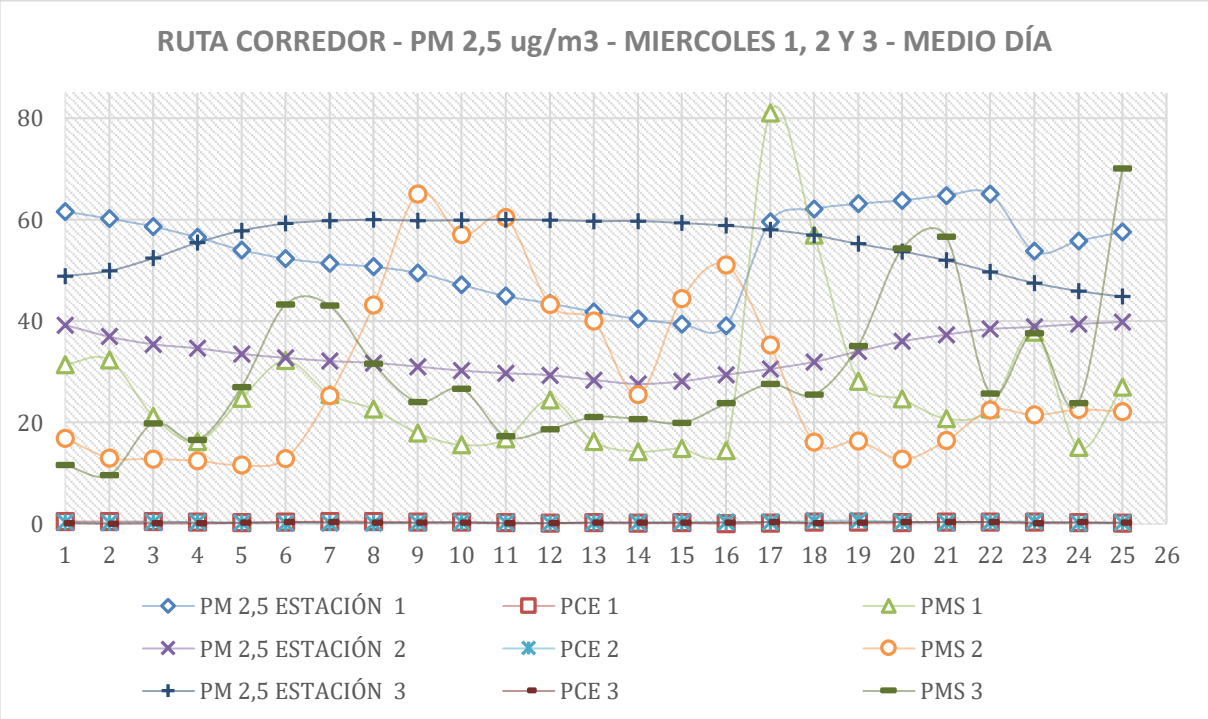


Gráfico 9. Análisis de NO_2 a lo largo del trayecto del Corredor durante tres miércoles.

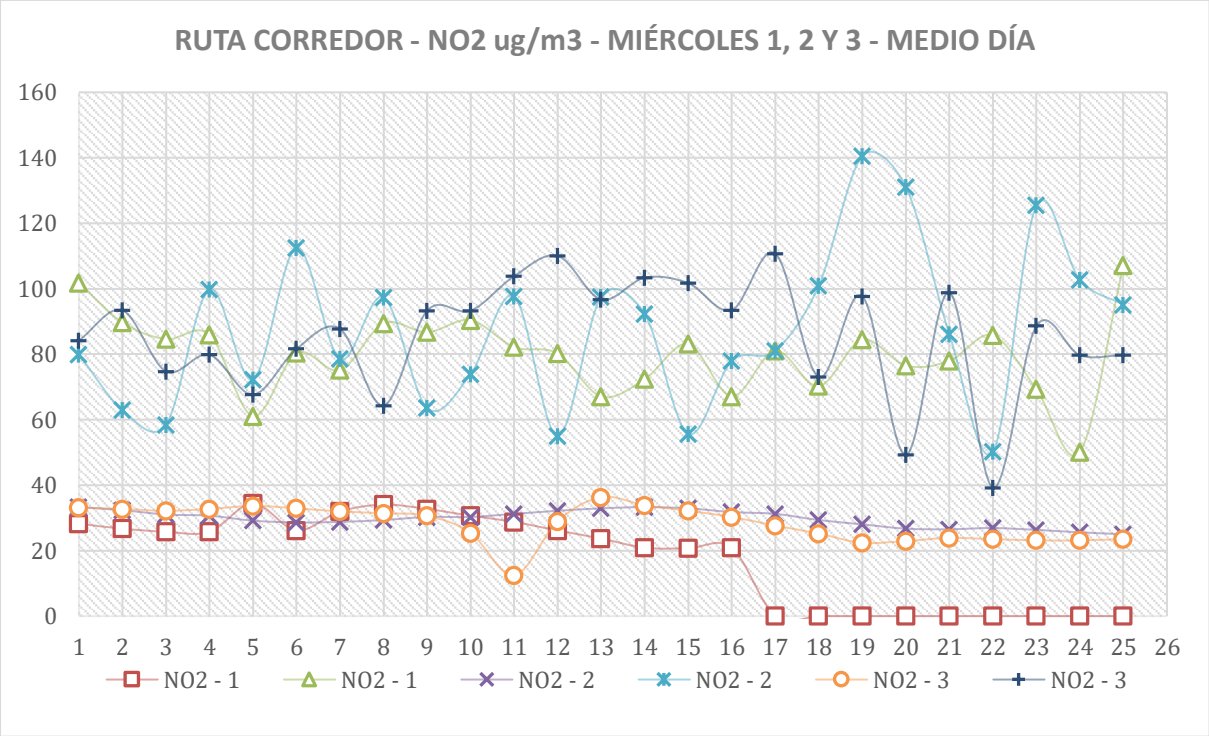


Gráfico 10. Análisis de $PM_{2,5}$ en un Volkswagen durante tres jueves.

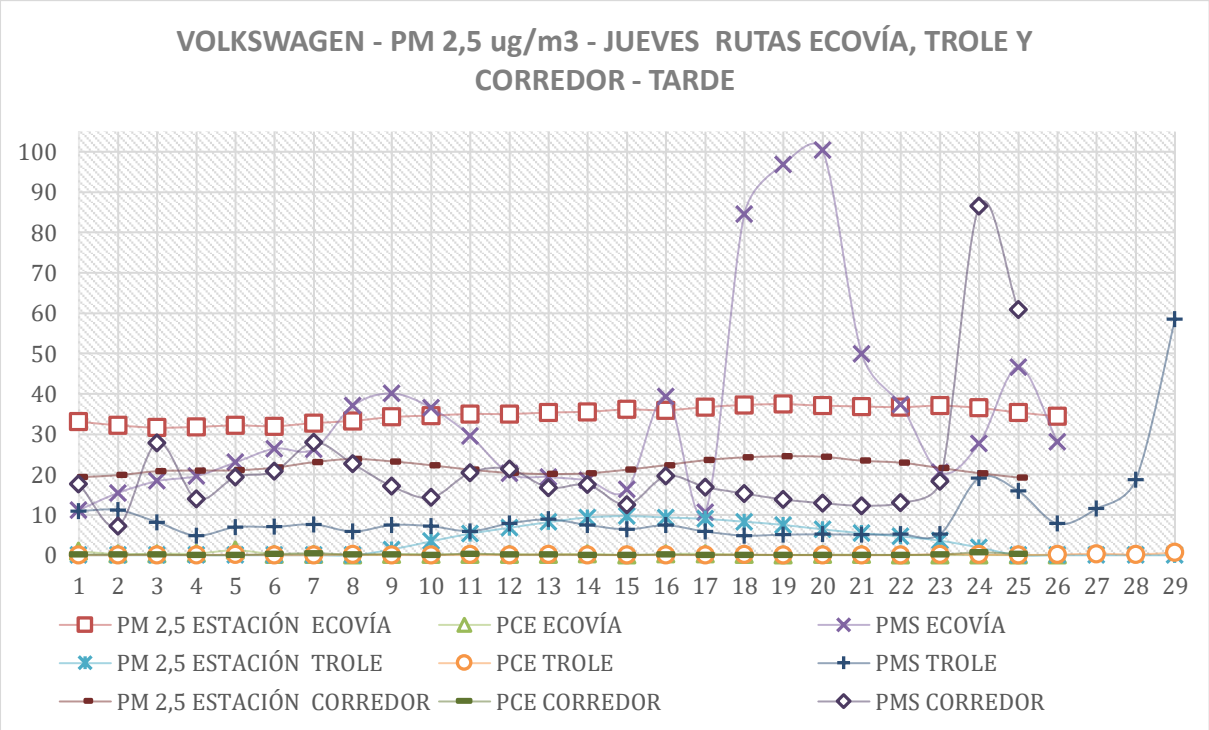


Gráfico 11. Análisis de NO_2 en un Volkswagen durante tres jueves.

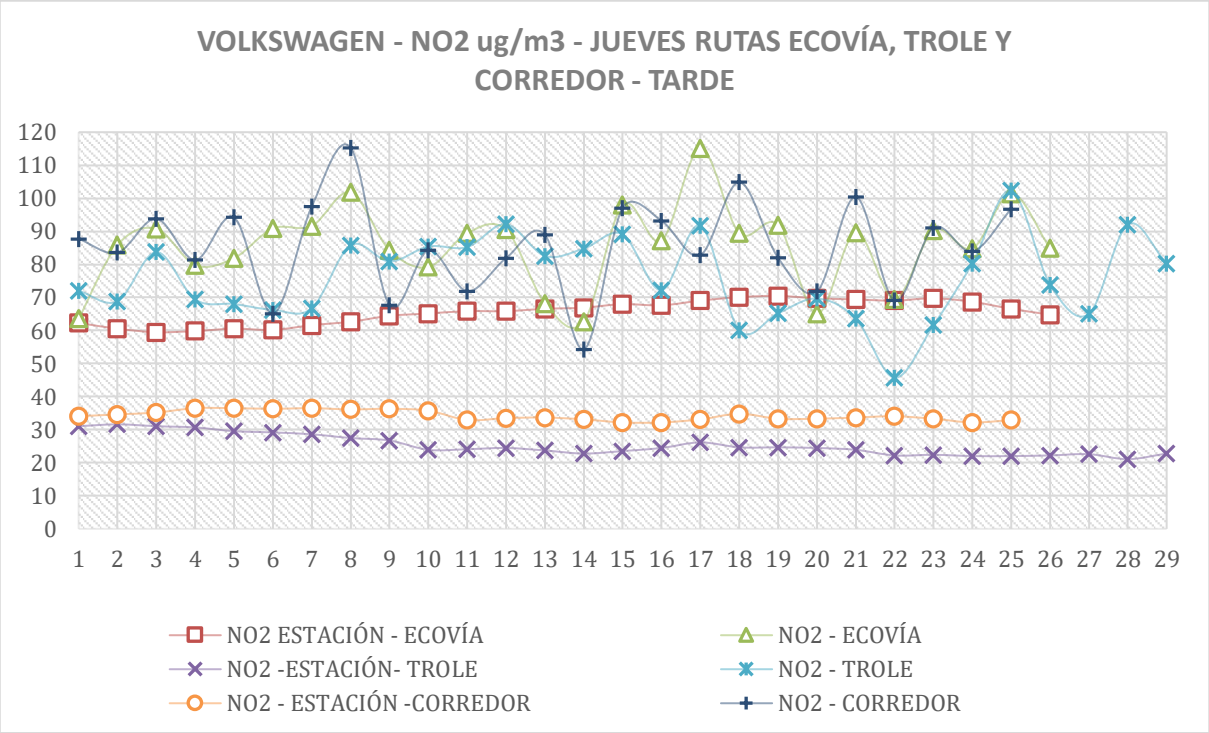


Gráfico 12. Análisis de $PM_{2,5}$ en un taxi durante tres viernes.

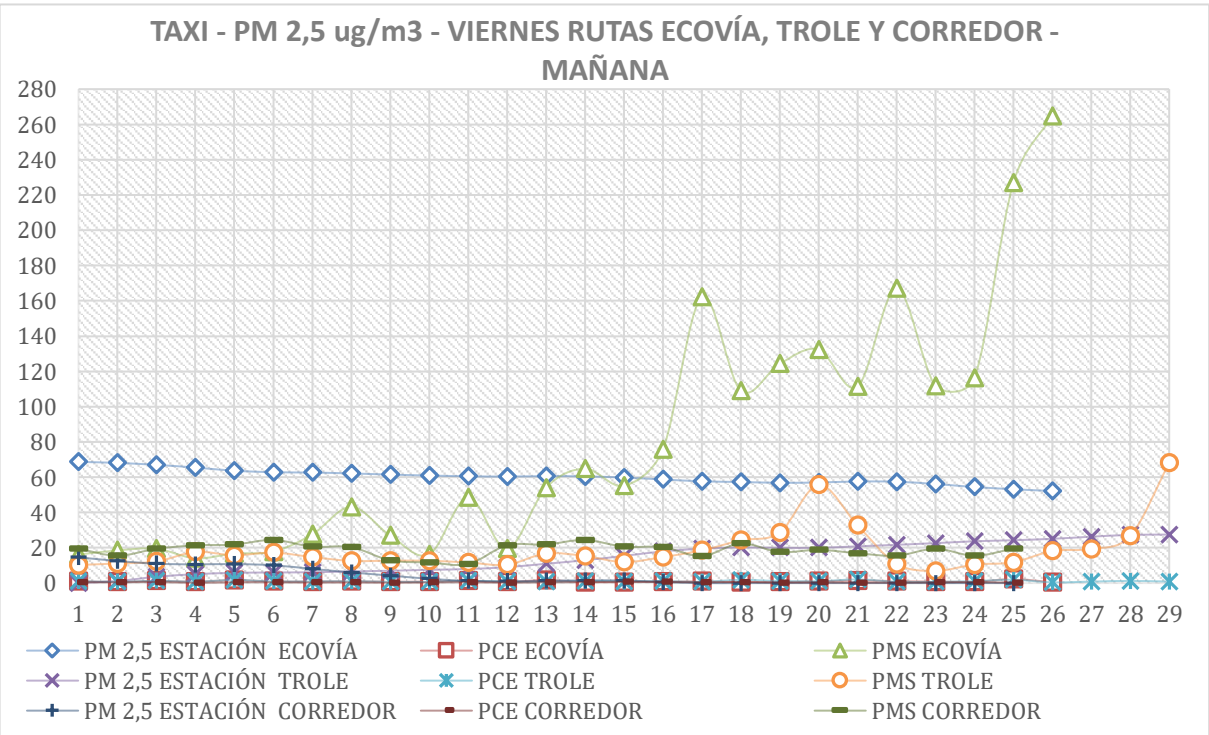


Gráfico 13. Análisis de NO_2 en un taxi durante tres viernes.

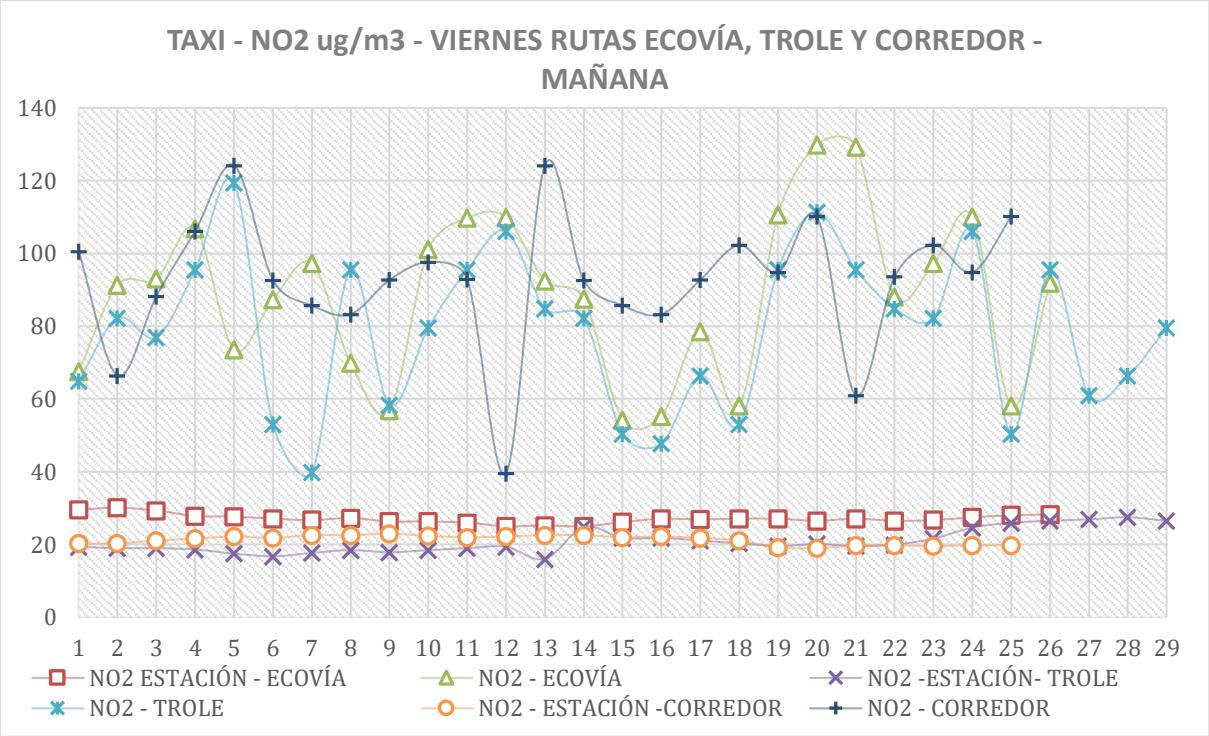


Gráfico 14. Análisis de $PM_{2,5}$ a lo largo del trayecto en Ecovía, Trole y Corredor durante tres sábados.

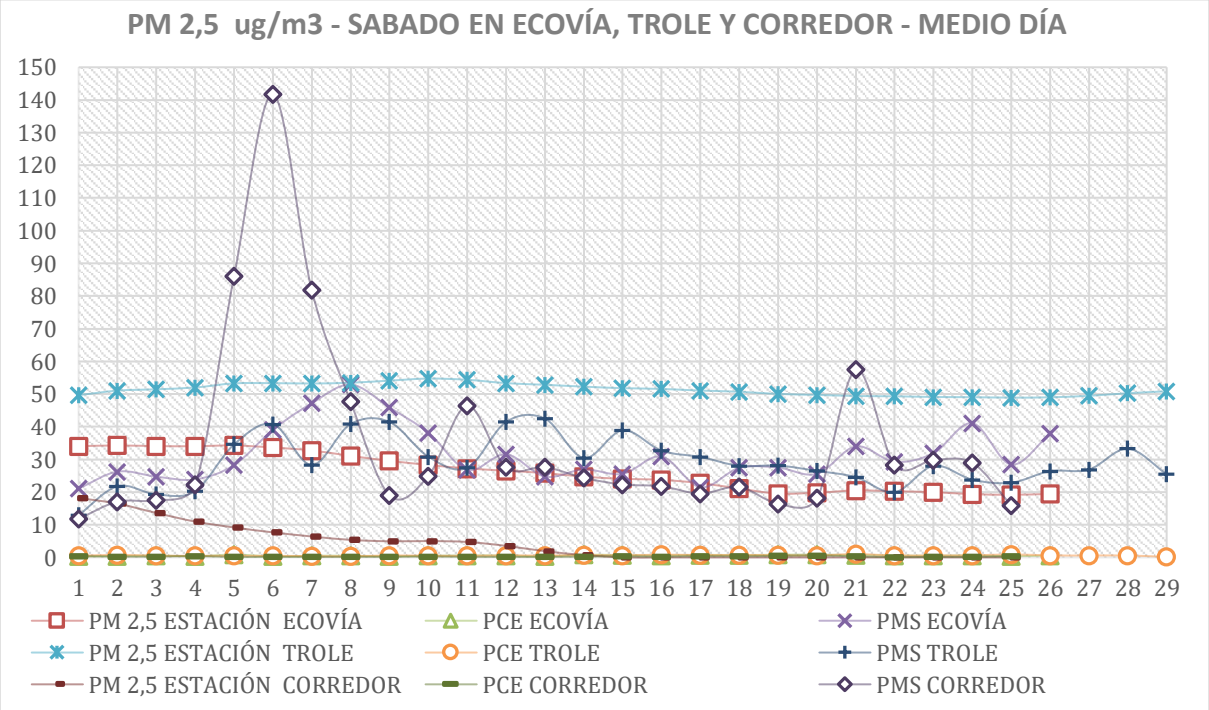


Gráfico 15. Análisis de NO_2 a lo largo del trayecto en Ecovía, Trole y Corredor durante tres sábados.

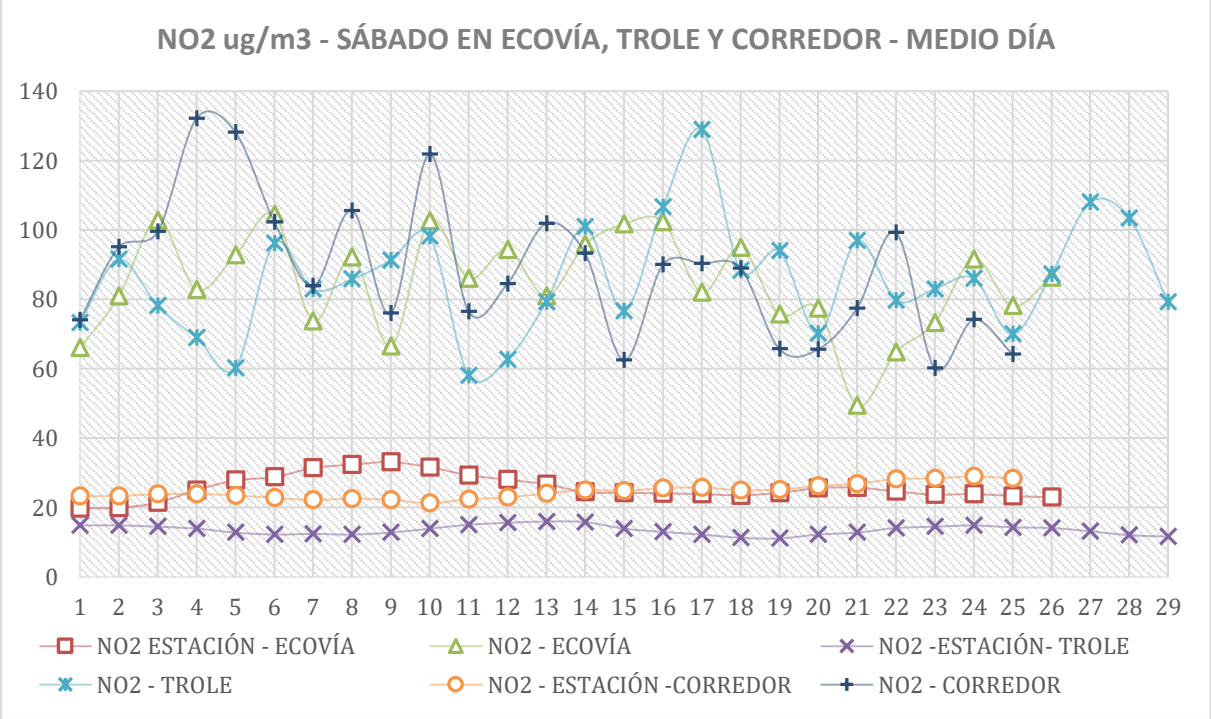


Gráfico 16. Análisis de $PM_{2,5}$ en un taxi durante tres domingos.

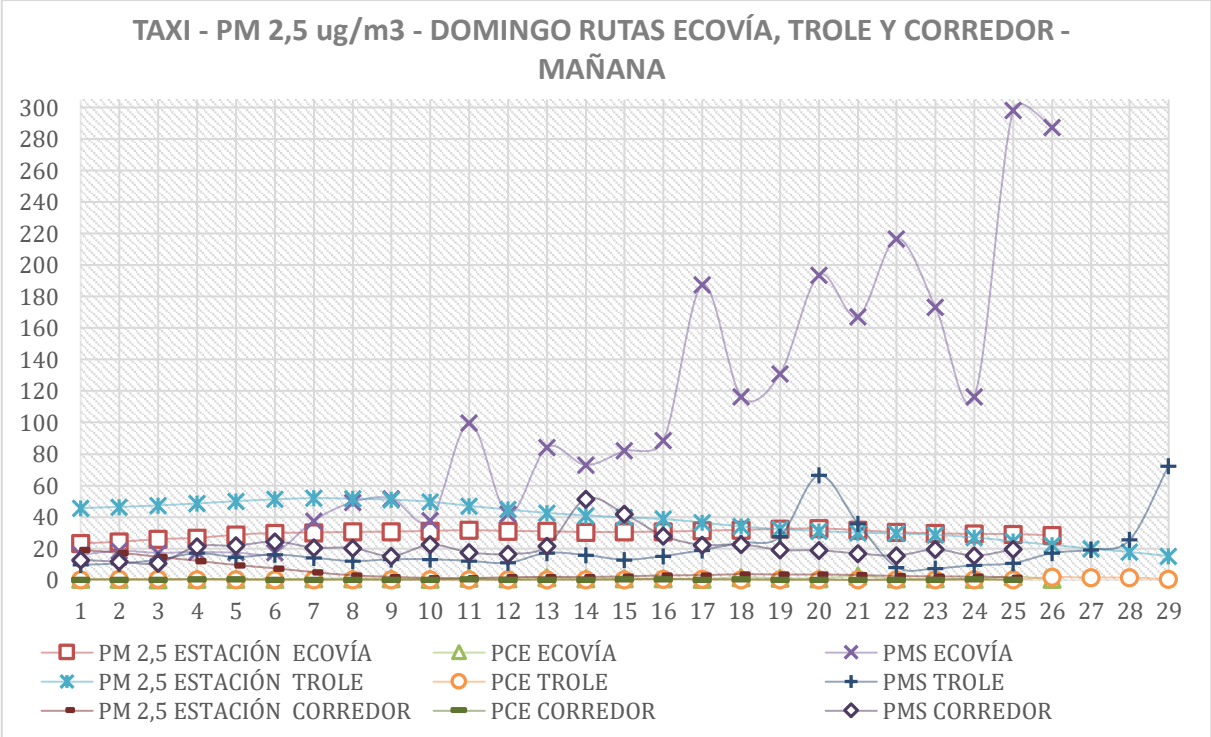
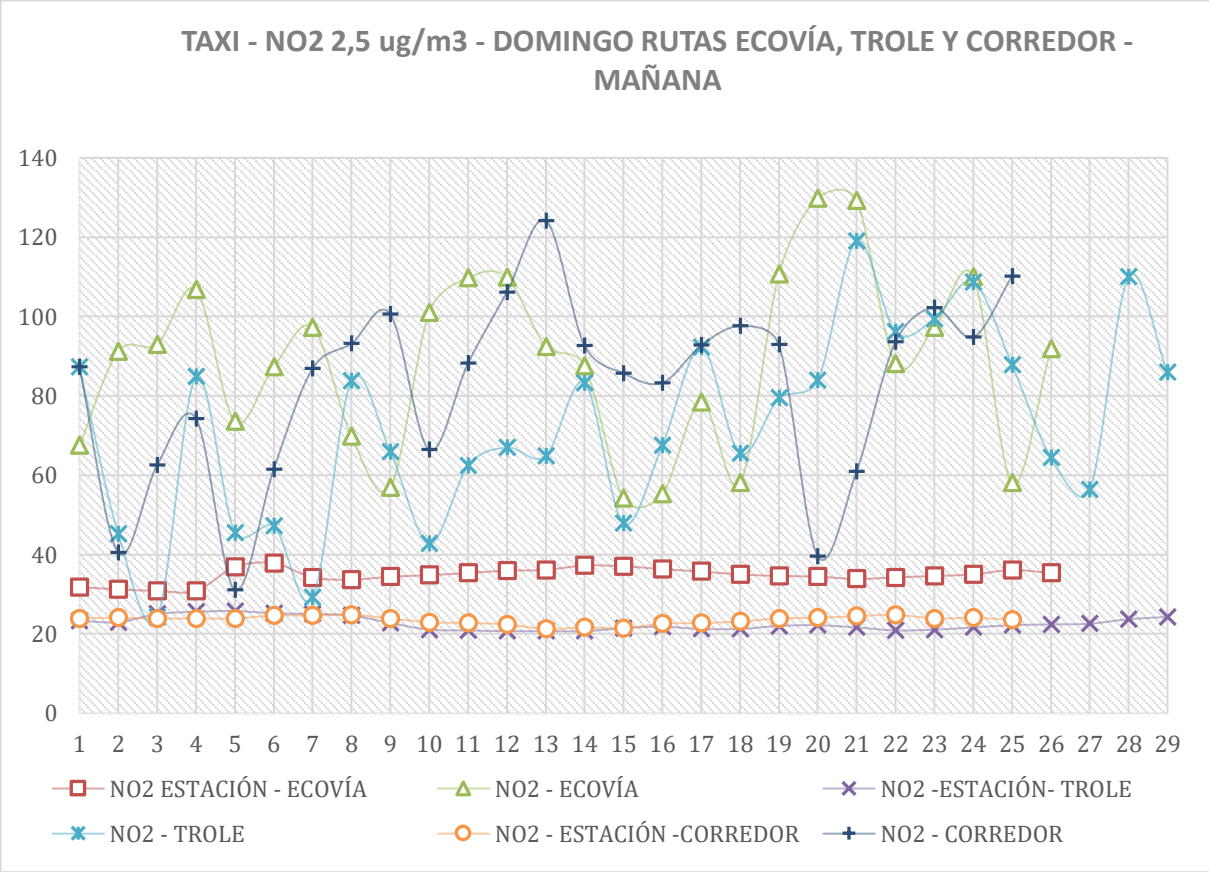


Gráfico 17. Análisis de NO_2 en un taxi durante tres domingos.



Discusión

Con respecto a la calibración, se analizaron dos variables (X = datos de la secretaría y la Y = datos recolectados con los equipos) ,en la tabla 6 se observan los datos analizados para cada uno de los dos sensores y el equipo PCE. El coeficiente de correlación se observa que en los tres se produce una correlación positiva, es decir que las dos variables se correlacionan directamente con un nivel de confianza del 95 %. Para el sensor de PMS5003 y MICS – 2714 tienen un coeficiente superior al 0,85 nos indica que se puede considerar una relación grande y por el contrario para el equipo PCE tiene una relación media pero que sigue siendo significativa y aceptable; una de las razones por las que el equipo PCE tiene un coeficiente de correlación bajo es porque al momento de hacer las mediciones al aire libre este oscilaba mucho sus

medidas con respecto al viento y temperatura y debía tener un equilibrio entre protección del sol y lluvia pero que las medidas sean más altas porque cuando se calibro el primer día no se tuvo protección y las medidas eran realmente muy bajas casi al límite de 1 $\mu g/m^3$.

Con respecto a las 14 gráficas obtenidas para todos los días de la semana en las distintas rutas realizadas en los 5 medios de transportes más frecuentes se obtuvo los siguientes resultados:

LUNES: Durante tres lunes se realizaron las mediciones en el trole y se obtuvo los siguientes resultados con respecto a $PM_{2,5}$. Los valores registrados por el equipo PCE son casi imperceptibles al ser demasiado bajos con respecto a los datos de la estación "El Camal" o del sensor PMS5001. Por esta razón solo se evaluó las dos variables para los tres lunes. Donde se puede apreciar como las mediciones de PMS 1,2 y 3 son superiores a las mediciones de la estación del día 2 y 3. Y por el contrario la medición de la estación del día 1 es la que más se asemeja a las concentraciones del PMS1. Por dicha razón se puede observar como en las paradas: Moran Valverde, Solanda, Ajavi y sus respectivas paradas intermedías son las que mayor concentración de material particulado tienen superior a 30 $\mu g/m_3$, el valor mas alto que se tuvo el primer lunes fue en la parada intermedía entre Condor Ñan y Amaru Ñan es 50 $\mu g/m_3$, en el segundo lunes el valor máximo se encuentra en la parada Moran Valverde con un valor de 41 $\mu g/m_3$, y el ultimo lunes tiene un valor alto en la parada Ajavi de 41 $\mu g/m_3$, que este valor sobrepasa la concentración media 24 horas de la EPA y OMS, aunque por el contrario estaría dentro de los límites establecidos por la NECA. y con respecto a los microambientes de otras ciudades en el trole hay concentraciones por encima de 35 $\mu g/m_3$ la cual supera la concentración más alta registrada en Barcelona en un automóvil. Pero con respecto a Arnhem

las concentraciones que se obtuvieron son bajas porque en esta ciudad sobrepasaban los 114 $\mu g/m_3$.(Silva, 2016)

Con respecto al NO_2, las concentraciones obtenidas por el sensor Mics 2714 son sumamente superiores a las registradas por la estación fija, es decir que las concentraciones que se miden en la estación nos dan una noción muy baja de la contaminación real que sucede a nivel de microambientes de transporte que van de valores desde 40 hasta 140 $\mu g/m_3$ pero aun así no superar las concentraciones medías horaria de las normas OMS, EPA y NECA. En el primer lunes el valor más alto que se obtuvo es de 125 en la parada España, en el segundo lunes en la parada la Internacional tendrá el valor más alto de 138 $\mu g/m_3$, y en el tercer lunes el valor más alto se encuentra en la parada Ajavi con un valor de 116 $\mu g/m_3$, Por el contrario la exposición personal respecto a otras ciudades tiene niveles parecidos a los que existe en Hong Kong, Sídney, Texas, Los Ángeles (Żak et al., 2017)y las paradas que mayor contaminación tienen son La internacional, España, Ajavi. (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021).

Por lo general se puede observar en este primer análisis, que las paradas que mayor contaminación tienen de los dos compuestos son las paradas intermedias y dependiendo del compuesto, en paradas puntuales, pero habrá mayor contaminación durante el recorrido del trole.

Martes: Las mediciones durante tres martes en el Ecovía, dieron como resultado el gráfico 6 y 7, los datos obtenidos de $PM_{2,5}$ de igual manera las mediciones del equipo PCE son casi imperceptibles y se analizara los datos de la estación y el sensor PMS5001. Las mediciones se mantienen en un rango entre 10 a 40 $\mu g/m^3$ con unos picos altos entre algunas estaciones

entre la Ayapamba y El Comercio y también entre El Capulí y Pacarrillacta que se dan el segundo martes de mediciones, siendo concentraciones muy altas comparadas a la de la estación El Camal, las mediciones con el sensor PMS5001 se mantienen semejantes entre ellas a diferencia de las de la estación, que no todos los días aumenta la concentración entre cada parada como se puede observar en el martes dos que tiende a disminuir la concentración, pero el sensor indica picos más altos de contaminación. Si se compara con la concentración promedio 24 horas de la norma NECA solo habría paradas puntuales que sobrepasen esos niveles, lo contrario sucede con las normas EPA y OMS que sus niveles están muy por encima de una media 24 horas. Con respecto al nivel de exposición máxima que se han encontrado en otras ciudades estamos dentro de los datos encontrados en Barcelona, Dublín.(Silva, 2016). En el primer martes el valor más alto que se tiene es en la parada intermedía entre El Comercio y San Bartolo con un valor de 27 $\mu g/m_3$, en el segundo martes encontraremos el valor más alto en la parada intermedía entre Ayapamba y El Comercio con un valor de 114 $\mu g/m_3$ y el tercer martes tienen un valor máximo de 29 en la parada intermedía entre San Bartolo y Eplicachima.

Por otro lado, se puede observar en el grafico 7 como los niveles de NO_2 son extremadamente mayores a los registrados por la estación El Camal se noto que las fluctuaciones existentes en la subida y bajada se producen por que aumenta más el contaminante en las paradas intermedías que es donde el Ecovía no se detiene y sigue su trayecto normal, siendo la exposición personal superior a las mediciones en la estación. El valor más alto el primer martes se encuentra en la parada Puente de Guajaló con 94 $\mu g/m_3$, el segundo martes se encontró en la parada intermedia entre Ayapamba y El Comercio con un valor de 118 $\mu g/m_3$, y la estación martes se obtuvo un valor de 128 $\mu g/m_3$, en la parada San Cristóbal. La normativa NECA establece un límite horario de 200 $\mu g/m_3$, y por esta razón el martes si se cumpliera

la normativa, pero sucede lo contrario con la norma de la OMS donde la media horaria es $25\mu g/m^3$ y en base a esto los niveles en el Ecovía son superiores. Comparando la exposición máxima encontrada en otras ciudades se puede decir que se esta dentro de las mediciones encontradas en ciudades como Texas, Sídney, Hong Kong, Perth y Birmingham.(Żak et al., 2017) (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021).

Miércoles: En las siguientes gráficas 8 y 9 respectivamente se analizará en primera instancia el $PM_{2,5}$ donde nuevamente se puede observar que las mediciones con el equipo PCE son muy bajas y no se puede lograr una apreciación exacta en la gráfica. Pero los datos de la estación y el sensor PMS5001 tienen unos valores que van desde 10 hasta 60 $\mu g/m^3$ los cuales no tienen ninguna coincidencia entre sí, porque el primer miércoles los valores de la estación son mayores al del sensor PMS1, el segundo miércoles sucede lo contrario la estación tiene varios valores por debajo del sensor PMS2 esta diferencia sucede en ciertas estaciónes como desde la parada de Chillogallo hasta la Mena dos y también entre la Biloxi y La Santiago, esas son las paradas con una contaminación superior a la indicada en la estación. Y el ultimo miércoles de medición, también concuerda con el primero, el valor medido por la estación El Camal es superior, menos en dos lugares que son El pintado y la Mascota el resto de los valores están por debajo de la referencia. Los valores más altos los encontramos el primer miércoles en la parada La Santiago con un valor de 80 $\mu g/m_3$, el segundo miércoles el valor más alto se encuentra en la Parada Santa Rita con un valor de 65 $\mu g/m_3$, y por estación en la estación La Mascota se encontrará el ultimo miércoles un valor de 70 $\mu g/m_3$. Con respecto a la Normativa EPA (concentración 24 horas), OMS (concentración 24 horas) y NECA (concentración 24 horas) cada una con sus respectivos valores de 35,15 y 50 si se lo compara con la exposición personal a la que se esta expuesto se confirma que se supera el límite establecido en las tres

normas (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021). Con respecto a las exposiciones máximas encontradas en ciertas ciudades importantes se tuvo iguales concentraciones como las encontradas en ciudades como Barcelona, Dublín, Teipen,y Londres(Silva, 2016). En el corredor se encontró el primer miércoles la concentración más alta en la parada de La Santiago 80 $\mu g/m^3$.

En el análisis correspondiente al mismo día, pero ahora con el NO_2, se observa como los niveles medidos por el sensor son mayores al de la estación durante los tres miércoles, en ningún momento coincide con los valores medidos de la estación El camal y se observa claramente como los valores difieren y serán distintos al nivel real de exposición personal que existe. Tiene valores que van desde 20 hasta 120 $\mu g/m^3$, encontrándose en la estación del Alonso de Angulo el nivel más alto con 140 $\mu g/m^3$ que sucedió el segundo miércoles de mediciones. Con respecto a la normativa, no supera el valor de concentración medía por hora de la EPA, ni la NECA, pero si el de OMS que es 25 $\mu g/m^3$ y se aprecia en el gráfico como en valores de exposición se supera abismalmente. (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021). Por el contrario las exposiciones máximas encontradas en distintas ciudades se tiene el mismo nivel máximo al igual que en ciudades como Texas, Los Ángeles, Sídney, Hong Kong y Birmingham.(Żak et al., 2017)

Jueves: Durante el día jueves se realizó el recorrido por las tres rutas Ecovía, Trole y Corredor, pero este día en un carro del año 2021 nuevo Volkswagen pero en el horario de la tarde el cual se analizara en las gráficas 10 y 11 respectivamente para cada uno de los contaminantes. Como se aprecia en las gráficas anteriores los datos que se obtienen del equipo PCE son realmente bajos y no se pueden comparar por esa razón se toma en cuenta los datos de la estación El Camal y del sensor PMS y en este día se observa como el primer jueves las

concentraciones de $PM_{2.5}$ en ciertas paradas están por encima que la del sensor pero en paradas como desde El Comercio hasta Eplicachima los niveles de exposición son los más altos y exactamente en la parada intermedía entre San Bartolo y Eplicachima con 100 $\mu g/m^3$ y esto sucede en la ruta del Ecovía. El segundo jueves en la ruta del Trole se observa como los niveles entre las dos variables permanecen casi al mismo nivel de exposición al inicio, la estación tiene valores en cero porque es cuando la estación calibra los equipos y no se realiza mediciones. Y, por estación, el tercer jueves en la ruta del corredor se observa como que en muchas paradas los niveles medidos por el sensor están por debajo o igual que los datos obtenidos en la estación, pero solo en la parada intermedia de La Magdalena y La Mascota, se observa como los niveles aumentan por encima de los datos obtenidos de la estación teniendo una concentración de 86 $\mu g/m^3$. Los valores más altos para cada día fueron para Ecovía entre las paradas San Bartolo y Eplicachima con un valor de 100 $\mu g/m^3$, en el trole la parada que tiene un nivel alto de contaminación 58 $\mu g/m^3$ en la parada de la Estación El Recreo y por estación en el corredor la parada con mayor contaminación es la Magdalena con 86 $\mu g/m^3$. Con respecto a la normativa, la única que se incumple es la de la OMS porque hay valores por encima de 15 $\frac{\mu g}{m^3}$, aunque este valor es de la concentración media 24 horas se puede apreciar como existen valores altos, esto conlleva que la media diaria sea mucho más alta. (OMS,2021) Y con respecto a los valores máximos encontrados en las ciuades se tuvo datos similares a los encontrados en ciudades como Dublin, ya que en otras ciuades en carros han tenido datos mas elevados.(Silva, 2016).

Por el contrario en el grafico 11 sobre NO_2 realizados el día jueves se puedese puede ver como aquí tambien las medidas que se generan con el sensor Mics2714 son mayores a las que refleja la estación. El primer jueves, en la ruta de la Ecovia, la concentración mas alta se ve reflejada en la estación El comercio con 115 $\mu g/m^3$, el segundo jueves en la ruta del Trole el

nivel mas alto lo encontramos en la parada de El Calzado con 102 $\mu g/m^3$ y por ultimo en la ruta del corredor el nivel mas alto no encuentras en en la parada intermedía de Chillogallo con 115 $\mu g/m^3$. Las medidad que se obtienen estan entre un rango de 30 y 110 $\mu g/m^3$ y de esta manera solo estaria inclumpliendo la norma de la EPA que redujo su concentracion medía horaria a 25 $\mu g/m^3$.(US EPA, 2012). Y las ciudades que tienen un nivel maximo de exposicion personal que esta dentro de nuestro rango de medías en vehiculo son Sidney, Beijin, Perth y Birmingham (Żak et al., 2017).

Viernes: El analisis realizados para las tres rutas el día viernes pero esta vez en un Taxi del año 2011 dieron lo siguiente con respecto a $PM_{2,5}$, por disponibilidad del vehículos, estas mediociones se las hizo en la mañana a las 6:00 am y se observa como el rango de medidas va desde 0 a 60 $\mu g/m^3$, no son tan altas y significativas como las del medio día o tarde, pero la que mayor concentracion se observa es del primer viernes en la ruta del Ecovía y donde a partir de la parada El Comercio la concentracion aumenta hasta la parada Final. Produciendose un pico mas alto en la parada de la estación de el Recreo con 264 $\mu g/m^3$**.** Para los otros dos viernes los valores son muy similares entre la estación El Camal y la del sensor, aunque el segundo viernes se observa como el pico mas alto se tiene en la parada La villaflora con 68 $\mu g/m^3$. Con respecto a la normativa, se imcumple las tres normativas, si estos valores se continuan durante el transcurso del día se verificaría el no cumpliniento a la concentracion media 24 horas. (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021). Y las ciudades que tienen el nivel de exposición personal igual en este día o dentro del rango son Dublín Arnhem que en esta ultima el nivel más algo que se encontró fue de 114,8 $\mu g/m^3$ y en este estudio es de 264 $\mu g/m^3$ muy por encima de esta ciudad. (Silva, 2016).

En el grafico 13 se analiza el NO_2 donde de igual manera se observa como los niveles que nos da la estación de El Camal son menores comparados a los valores tan altos que nos da el sensor a nivel de exposion personal, para la ruta del Ecovía aquí se observa como el valor mas alto que nos da es en la parada Eplicachima de 129 $\mu g/m^3$. En la ruta del trole el taxi nos dio un valor alto en la parada Amaru Ñan tambien de 124 $\mu g/m^3$ y en la ruta del corredor el valor mas alto que nos dios con el taxi fue de Mena dos y Chillogallo con valor de 124 $\mu g/m^3$. Los rangos de medidas que se ven reflejados es desde 20 hasta 130 $\mu g/m^3$ y la unica normal que no se cumple es la de la OMS que dice que la concentracion una hora es de 25 $\mu g/m^3$ (OMS,2021) y los valores en esta franja horaria sobrepasan esa concentracion. Y las ciudades que tienen los niveles de exposisicon personal dentro de este rango y ellos lo consideran alto es en ciudades como Sidney, Hong Kong, Beijin, Perth y Birmingham. (Żak et al., 2017)

Sábado: Durante los tres sabados que se hicieron mediciones se analizo en cada uno de ellos los tres medios de transporte Ecovía, Trole y Corredor. Primeramente se empezo con el Ecovía y se puede distinguir en la grafica como en varias estaciones las concentraciones del sensor PMS son mayores a las que nos brinda la estación El Camal y estas paradas son: Desde el Capuli hasta el Puente de Guajalo y desde San Bartolo hasta la Estación de El Recreo en esta ruta la concentracion mas alta esta en la parada intermedia entre El capuli y Pacarrillacta con 47 $\mu g/m^3$. En el Trole sucede lo contrario las concentraciones de la estación El camal son mayores a las que nos refleja el sensor y se puede decir que aquí existe menor contaminacion aunque uno de los puntos altos de contaminancion se encuentra en el Mercado Mayorista con 42 $\mu g/m^3$ y por ultimo esta el Corredor donde aquí si se observa que las mediciones del sensor son mayores a la de la estación pero porque hubo una calibracion del equipo de la secretaria y se tuvo valores en cero. El rango de valores que se obtienen es de 10 hasta 50 $\mu g/m^3$ si se

continua durante todo el día estas medidas puede incumplirse la normativa EPA, OMS y NECA. (Ministerio del Ambiente, 2011; US EPA, 2012; OMS,2021). Y las ciudades que tienen niveles máximos de exposición personal dentro de este rango son: Dublín y Arnhem (Silva, 2016).

Por otro lado, la gráfica 15 muestra el análisis del NO_2 en los tres medios de transporte Ecovía, Trole y Corredor donde como en los anteriores se observa como las concentraciones medidas con el sensor Mics 2714 son mayores a las concentraciones de la estación El camal. En el Ecovía se observa como existen fluctuaciones en las paradas parecidas a las del trole y el Corredor con la diferencia que en el Ecovía el valor más alto es de 101 $\mu g/m^3$ y sucede en las paradas: Quillallacta y Otoya, en el Trole el valor más alto se encuentra en la parada Ajavi con 128 $\mu g/m^3$ y por el contrario en el Corredor el valor más alto está en la parada intermedia entre Hacienda El Carmen y Fundeporte con 132 $\mu g/m^3$. El rango de concentraciones v desde 15 hasta 120 $\mu g/m^3$ lo que con respecto a la norma si las concentraciones siguen el mismo ritmo se incumplirían la siguiente norma de la OMS. (OMS,2021). Y las ciudades que tienen los niveles de exposisicon personal dentro de este rango y ellos lo consideran alto es en ciudades son las mismas que ya se ha nombrado anteriormente. (Żak et al., 2017)

Domingo: Este día las mediciones de igual manera se hicieron en la mañana desde las 6 am en las tres rutas con el taxi, En la ruta del Ecovía fue la que se obtuvo los valores mas altos de los tres días,donde en la parada El Recreo se obtuvo un valor máximo de 298 $\mu g/m^3$, para la ruta del Trole el valor mas alto fue en La Villaflora de 72 $\mu g/m^3$ y en la ruta del Corredor fue en la parada intermedia entre la Mena Dos y La Biloxi con un valor de 51 $\mu g/m^3$. El rango de concentraciones en este día van de 0 hasta 50 $\mu g/m^3$ por lo que si las concentraciones continuan asi durante todo el día se podría inclumplir la norma con respecto a la concentracion 24 horas, normal como EPA, OMS y NECA. (Ministerio del Ambiente, 2011;

US EPA, 2012; OMS,2021). Y dentro de este rango esta los niveles máximos de exposición personal en ciudades como Dublín y Arnhem (Silva, 2016)

Por último, se analiza en la grafica 17 los niveles de NO_2, que de igual manera los datos que se tienen de la estación El Camal son muy bajos con respecto a los que se midieron dentro del taxi. En la primera ruta del Ecovía se aprecia que existe un nivel mas alto en la parada intrermedia y Eplicachima con un valor de 129 $\mu g/m^3$, en la ruta del trole el valor mas alto que se obtiene es de 119 $\mu g/m^3$ en la parada de Quito Sur y en la ruta del corredor el valor mas alto se obtiene en la parada Mena Dos con 124 $\mu g/m^3$. El rango de concentraciones de este día esta entre 20 y 120 $\mu g/m^3$ y si estos valores persisten durante una hora se estaria incumpliendo la norma OMS y porque para el resto estaria dentro de parametros normales. OMS,2021 y por ultimo desntro de ste ranog estan los niveles maximo de exposicion personal en las ciudades ya anteriormente nombradas (Żak et al., 2017)

Conclusiones

Con los diferentes resultados que se obtuvieron en la presente investigación se demostró que existe una diferencia entre los valores medidos y los valores de la estación El Camal que en algunas paradas están por encima de esos valores con respecto al $PM_{2,5}$ y por otro lado los datos que se obtuvieron del NO_2 en todos los días están por encima de los valores medidos por la estación El Camal.

Tal y como se ha podido comprobar en las gráficas realizadas, en la ruta Trole que se realizó en tres microambientes de transporte: Trole, taxi y Volkswagen, las paradas con los niveles más altos de contaminación que se encontró para el material particulado 2,5 fueron: Parada intermedia entre Condor Ñan y Amaru Ñan 50 $\mu g/m^3$, Moran Valverde 41 $\mu g/m^3$, Ajavi 41

$\mu g/m^3$, El Recreo 58 $\mu g/m^3$, Villaflora 68 $\mu g/m^3$, Mercado Mayorista 42 $\mu g/m^3$, Villaflora 72 $\mu g/m^3$ y para el NO_2 las paradas con mayor contaminación son: España 125 $\mu g/m^3$, La Internacional 138 $\mu g/m^3$, Ajavi 116 $\mu g/m^3$, El Calzado 102 $\mu g/m^3$, Amaru Ñan 124 $\mu g/m^3$,Ajavi 128 $\mu g/m^3$ y Quito Sur 119 $\mu g/m^3$, con las mediciones de campo se comprobó que estas son las paradas más transitadas y donde el flujo vehicular es más alto y en muchas de estas paradas son claves y puntos de intersección entre otras avenidas o calles principales del sur. Por otro lado, los valores más altos que se obtuvieron son correspondientes al taxi y al vehículo los cuales circulan con gasolina a diferencia del trole que circula con diésel y también una de las razones pueden ser porque se está más cerca de la calle y los tubos de escapes de los buses.

Por otro lado, en la ruta Ecovía, la cual se realizó en taxi, Volkswagen y el propio Ecovía las paradas con un nivel alto de contaminación de material particulado son: parada intermedia entre El Comercio y San Bartolo con un valor de 27 $\mu g/m_3$, parada intermedia entre Ayapamba y El Comercio 114 $\mu g/m_3$, parada intermedia entre San Bartolo y Eplicachima 29 $\mu g/m_3$, el Recreo con 264 $\mu g/m^3$, Mercado Mayorista con 42 $\mu g/m^3$ y El Recreo 298 $\mu g/m^3$ por otro lado para el NO_2 las paradas con los valores maximos fueron: Puente de Guajalo con 94 $\mu g/m_3$, parada intermedia entre Ayapamba y El comercio con un valor de 118 $\mu g/m_3$, San Cristóbal 128 $\mu g/m_3$, El comercio con 115 $\mu g/m^3$, Eplicachima de 129 $\mu g/m^3$ y entre la parada intermedia Quillalacta y Otoya 101 $\mu g/m^3$; de igual manera influye porque son calles que tienen alto flujo vehicular y en las paradas donde los niveles son muy altos es cuando la cantidad de buses era mayor y por ende aumenta la contaminacion del aire.

Por último, en la ruta del Corredor las paradas con mayor contaminación fueron las siguientes para el material particulado: La Santiago 80 $\mu g/m_3$, Santa Rita 65 $\mu g/m_3$, La Mascota 70 $\mu g/m_3$, parada intermedia de La Magdalena y La Mascota 86 $\mu g/m^3$y parada intermedia entre la Mena Dos y La Biloxi con un valor de 51 $\mu g/m^3$ por el contrario con respecto al NO_2 las paradas donde se obtuvo niveles mas altos de contaminacion fueron: Alonso de Angulo 140 $\mu g/m^3$, parada intermedia de Chillogallo con 115 $\mu g/m^3$, Mena dos y Chillogallo con valor de 124 $\mu g/m^3$, Hacienda El Carmen y Fundeporte con 132 $\mu g/m^3$ y Mena Dos con 124 $\mu g/m^3$. Los datos obtenidos ayudan a establecer en que lugares se tiene mayor contaminación y donde se debería tener la precaucion de mantener una ventilación adecuada dentro del medio de transaporte correspondiente, ya que cuando las mediciones se hacian en lugares ventilados los niveles bajaban. Y con estos resultados se puede comprobar que los niveles son mas altos que los que refleja la estación fija El Camal, que deben hacerse mas estudios continuos para poder tener valores y establecer una base de datos. Porque el estudio concluye que no existe un sistema de transporte donde los niveles de contaminacion sean menores o una ruta que sea menos contaminante, todas tienen contaminación da igual el día de la semana o la hora siempre que exista algun bus que emane smog sin control, los niveles siempre aumentarán.

Recomendaciones

Continuar con el perfeccionamiento del equipo con la ayuda de filtros especialmente para el sensor Mics2714 para que las medidas se igualen con las reflejadas por la estación fija y no sean tan altas, encontrar la protección y ventilación exacta para que los datos obtenidos

por el equipo PCE sean más precisos y no tan bajos. Continuar con un muestreo continuo sin descanso para que se logre obtener resultados de concentraciones promedio 24 horas y este se puede lograr solo con el equipo de bajo costo. Se puede adaptar el equipo de muestreo de bajo costo a una mochila para que su transporte y traslado sea más fácil sobre todo por temas de seguridad.

Bibliografía

Avilés, L. (2013). CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO". MAYO 2013.

Cabrera-Cano, Á. A., Cruz-de la Cruz, J. C., Gloria-Alvarado, A. B., Álamo-Hernández, U., & Riojas- Rodríguez, H. (2021). Asociación entre mortalidad por Covid-19 y contaminación atmosférica en ciudades mexicanas. *Salud Pública de México*, *63*(4), 1-8. https://doi.org/10.21149/12355

Carrillo, J. O. (2005). *Actualización del Plan de Manejo de la Calidad del Aire 2005 – 2010*.

EPA. (2011). Air Quality for Nitrogen Dioxide. *Unites States Environmental Protection Agency*. https://www3.epa.gov/airnow/no2.pdf

Fajardo, M. T. (2016). *Desarrollo De Un Sistema Sensor De No2 Y Biomaterial Apto Para Filtro De Contaminantes*. https://oatd.org/oatd/record?record=oai%5C%3Alocalhost%5C%3A1992%5C%2F3622

García, L., & Varela, J. (2007). *Contaminación Atmosférica* (Número May 2014).

Gibson, J. (2015). Air pollution, climate change, and health. *The Lancet. Oncology*, *16*(6), e269. https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70238-X

Hernández, M., Encalada, M., & Molina, S. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. *Ministerio del Medio Ambiente*, *1*(Reintegración Comunitaria), 5-90.

ISC. (2020). *INFORME DEL GRUPO DE ANALISIS CIENTÍFICO DE CORONAVIRUS DEL ISCIII (GACC-ISCIII). MANIFESTACIÓNES CLÍNICAS DE LA ENFERMEDAD COVID-19*. *2*, 1-5.

Martínez, M. A. C., Gil, J. E. R., & Monterrubio, R. L. F. (2015). Aerobiología: La Ciencia Que Estudía Los Granos De Polen. *Kuxulkab'*, *21*(41). http://www.revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/1429/1234

Ministerio del Ambiente Ecuador. (2011). Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. *Libro VI, Anexo 4*, 10.

http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf

Páez, C. (2012). Gestión de la contaminación atmosférica urbana: El caso de Quito. *Flacso*, 1-17. http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf

PCE Iberica S.L. (2020). *PCE - MPC 30 Particular Counter User manual*. 17.

Rodríguez, R. R., Yuleisy, R., & Blanco, P. N. (2016). *Nivel de exposición personal a material particulado inhalable PM 2.5 proveniente de vías de alto tráfico vehicular de la ciudad de Barranquilla*. 1-103.

Silva, Y. (2016). ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DÍARIA PROMEDIO DE PM2.5 Y BC DEBIDA A LA EXPOSICIÓN PERSONAL EN DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ. *Angewandte Chemie International Edition*, *6*(11), 951-952.

Ulloa, P., Kwiatkowska, M., & Lee, M. (2017). *MEASURING AIR QUALITY - A COMPUTER FRAMEWORK FOR DATA COLLECTION AND ANALYSIS*.

US EPA. (2012). The National Ambient Air Quality Standards for Particle Matter: Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI). *Environmental Protection Agency*, 1-5. http://www.epa.gov/pm/2012/decfsstandards.pdf

Wang, Y., Sibaii, F., Lee, K., J. Gill, M., & L. Hatch, J. (2021). Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States: A nationwide cross-sectional study. En Harvard (Ed.), *medRxiv* (Número 165).

World Health Organization, W. (2005). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005*. 1-21. https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90109-6

Yong, Z. (2016). *Plantower PMS5003 Data Manual*. 3. http://www.aqmd.gov/docs/default-source/aq-spec/resources-page/plantower-pms5003-manual_v2-3.pdf

Żak, M., Melaniuk-Wolny, E., & Widziewicz, K. (2017). The exposure of pedestrians, drivers and road transport passengers to nitrogen dioxide. *Atmospheric Pollution Research*, *8*(4), 781-790. https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.10.011

IHME. (2020). Health Effects Institute, 2020, State of Global Air 2020, Fuente de datos: Global Burden of Disease Study 2019,

Mikroe.(2021). NO2 2 CLIC, consultado el 19 de enero de 20222. https://www.mikroe.com/no2-2-click

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2017). Sistema de Indicadores Distritales, No, de desplazamientos (viajes) díarios en el Distrito Metropolitano de Quito de acuerdo con las diferentes modalidades de transporte.

Municipio del D.M.Q. (2009). «Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito», Archivado desde el original el 20 de septiembre de 2009, Consultado el 20 de

octubre de 2009.

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2010). Sistema de Indicadores Distritales, Número de habitantes del DMQ, en base al CPV 2010, en cada una de las parroquias y Administraciones Zonales del DMQ

Google Maps. (s.f). [Direcciones de Google Maps para manejar, caminar e ir en bus por las avenidas Mariscal sucre, Maldonado y teniente Hugo Ortiz]. Recuperado el 30 de octubre de 2021, de https://www.google.com.ec/maps/@-0.2752286,-78.5539364,13z/data=!5m1!1e1

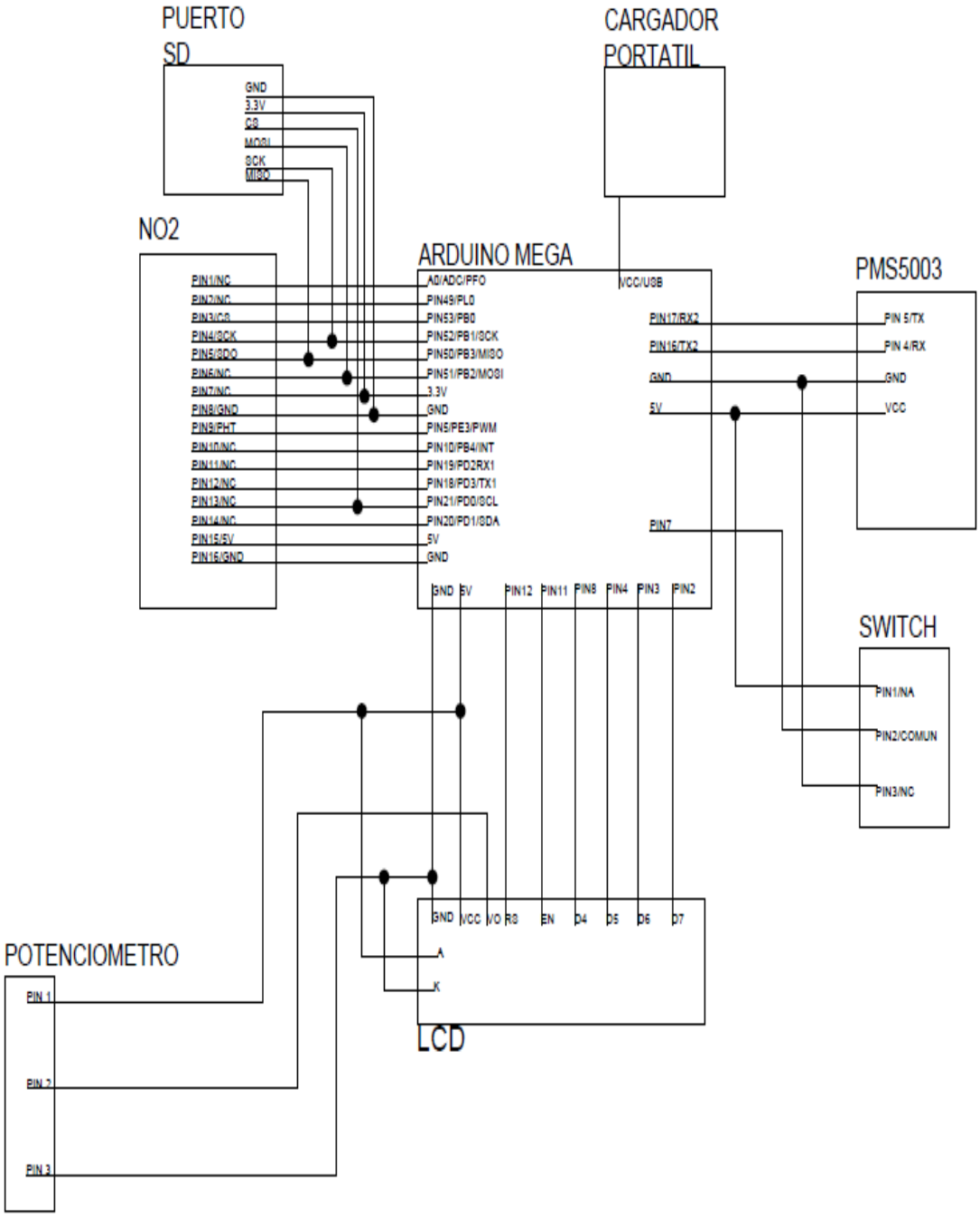
Google Traffic. (s.f). [Datos históricos de tráfico de Google traffic por las avenidas Mariscal sucre, Maldonado y teniente Hugo Ortiz]. Recuperado el 30 de octubre de 2021, de https://www.google.com.ec/maps/@-0.2752286,-78.5539364,13z/data=!5m1!1e1

Secretaría de Ambiente de Quito. (2021). Datos recolectados de la estación fija de monitoreo ambiental “El Camal”

ANEXO A. Cuadro Arduino Funcionalidad

PINES ARDUINO	PLACA	PINES	FUNCIONALIDAD
A0	NO2	PIN1/NC	Configuración de la placa
PIN49		PIN2/NC	Configuración de la placa
PIN53		PIN3/CS	Configuración de la placa
PIN52		PIN4/SCK	Reloj interno del Arduino
PIN50		PIN5/SCO	Conexión para modo esclavo
PIN51		PIN6/NC	Configuración de la placa
3,3V		PIN7/NC	Alimentación de la placa del sensor
GND		PIN8/GND	Tierra
PIN5		PIN8/PHT	Onda PWN para adecuación de la señal
PIN10		PIN10/NC	Configuración de la placa
PIN19		PIN11/NC	Recepción del mensaje
PIN18		PIN12/NC	Transmisión de mensaje
PIN21		PIN13/NC	Configuración de la placa
PIN20		PIN14/NC	Configuración de la placa
5V		PIN15/5V	Alimentación de la placa del sensor
GND		PIN16/GND	Tierra
PIN17	PMS5003	PIN5/TX	Transmisión de mensaje
PIN16		PIN4/RX	Recepción del mensaje
GND		PIN2/GND	Tierra
5V		PIN1/VCC	Alimentación de la placa del sensor
GND	LCD	GND	Tierra
5V		VCC	Alimentación de la placa del LCD
PIN12		RS	Modo escritura
PIN11		EN	Función Enable/Permitir
PIN8		D4	Primera ubicación binario
PIN4		D5	Segunda ubicación binario
PIN3		D6	Tercera ubicación binario
PIN2		D7	Cuarta ubicación binario
5V		VO	Intensidad de luz
5V		A	Alimentación a la luz de la pantalla
GND		K	Tierra de la pantalla
PIN7	SWITCH	PIN1	Pin común para control
5V		PIN2	Pin normalmente abierto
GND		PIN3	Pin normalmente cerrado
GND	SD	GND	Tierra
3V		3.3V	Alimentación de la placa
PIN53		MOSI	Configuración de la placa
PIN52		SCK	Configuración de la placa
PIN50		MISO	Configuración de la placa

Anexo 2. Esquema conexiones del equipo



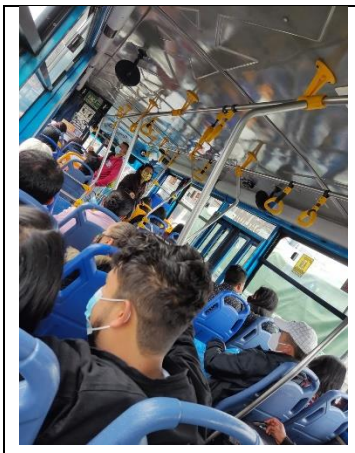
Anexo C. Programación en Arduino del equipo

```
#include <PMserial.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#define SS 53
const int rs = 12, en = 11, d4 = 8, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
SerialPM pms(PMSx003, Serial2);  // PMSx003, RX, TX
File myFile;
int cntPMS = 0;
int cntNO2 = 0;

void setup() {
  pms.init();
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("INICIALIZANDO...");
  pinMode(SS, OUTPUT);
  delay(1000);
  lcd.clear();
  pinMode(7, INPUT);

  lcd.print("Inicializando sd card...");
  if (!SD.begin(49))
  {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Fail");
    delay(2000);
    return;
  }
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("OK");
  lcd.clear();
  delay(2000);
  lcd.clear();
}

void loop() {
  lcd.clear();
  if (digitalRead(7) == HIGH) {
    cntPMS=1;
    PMS();
  }
  if (digitalRead(7) == LOW) {

    NO2();
  }
}
void PMS() {
```

```
void PMS() {

  pms.read();// read the PM sensor
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(("PM2.5 ")); lcd.print(pms.pm25);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(("PM10 ")) ; lcd.print(pms.pm10);
  lcd.setCursor(9, 1);
  lcd.println(("[ug/m3]"));
  myFile = SD.open("PMS.txt", FILE_WRITE);//abrimos  el archivo
  if (myFile) {
    myFile.print(cntPMS);
    myFile.print((" PM2.5 ")); myFile.print(pms.pm25);
    myFile.print((" PM10 ")) ; myFile.print(pms.pm10);myFile.println(("[ug/m3]"));
    myFile.close(); //cerramos el archivo

  } else {
    Serial.println("Error al abrir el archivo");
  }
  cntPMS = cntPMS + 1;
  delay(1000);
}

void NO2() {
  SPI.beginTransaction(SPISettings(14000000, MSBFIRST, SPI_MODE0));
  digitalWrite(SS, LOW);

  SPI.transfer(0);

    float recibido = SPI.transfer(0);
  recibido=recibido*1000/4095;
  Serial.println(recibido);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Midiendo NO2");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println(recibido);
  Serial.println(recibido);
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.println("[PPB]");
  digitalWrite(SS, HIGH);
  SPI.endTransaction();

  myFile = SD.open("NO2.txt", FILE_WRITE);//abrimos  el archivo
  if (myFile) {
    myFile.print(cntNO2); myFile.print(" "); myFile.print(recibido); myFile.println(" [ppb]");
    myFile.close(); //cerramos el archivo

  } else {
    Serial.println("Error al abrir el archivo");
  }
  cntNO2 = cntNO2 + 1;
  delay(1000);
  lcd.clear();
```

ANÁLISIS DE NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO $PM_{2,5}$ Y NO_2 AL SUR DE QUITO MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO.

Anexo D. Evidencia fotográfica

		
Corredor Sur Occidental	Trole	Ecovía