

**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL
PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO,
MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO
DE BAJO COSTO.**

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS
APLICADAS**

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM_{2,5} Y NO_x,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN
EQUIPO DE
BAJO COSTO”

Realizado por:

JOSELYN DALILA INLAGO CABASCANGO

Director del proyecto:

Ing. Jesús López Villada

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 24 de Febrero 2022

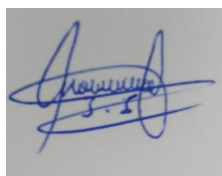
**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE
UN EQUIPO DE BAJO COSTO**

**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE
UN EQUIPO DE BAJO COSTO**

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, JOSELYN DALILA INLAGO CABASCANGO, con cédula de identidad # 172607241-4, 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.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Joselyn Dalila Inlago Cabascango', with a date '15-11' written below it.

FIRMA

172607241-4

**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE
UN EQUIPO DE BAJO COSTO**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5
Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y
CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO”**

Realizado por:

JOSELYN DALILA INLAGO CABASCANGO

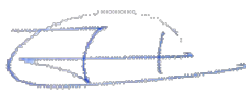
Como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el profesor

JESÚS LOPEZ VILLALBA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE
UN EQUIPO DE BAJO COSTO**

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

KATTY CORAL

MIGUEL MARTINEZ

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral

ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 24 de febrero de 2022

**NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX,
EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE
UN EQUIPO DE BAJO COSTO**

DEDICATORIA

A Dios y a mi Familia.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por la vida de mi madre Bertha Cabascango y mi padre Alfredo Inlago por el amor recibido, la paciencia y la dedicación durante todos los años de estudio y especialmente en la realización de mi proyecto de titulación.

A mi hermano, mi familia y amigos por el apoyo incondicional. Porque no es lo mismo caminar solo que acompañado.

A mi prestigiosa Universidad Internacional SEK, a mi tutor Jesús López, a mi amiga y compañera de tesis Lissette Acosta por su apoyo y colaboración en el desarrollo de este trabajo.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Para someter a:

To be submitted:

Niveles de exposición personal de material particulado Pm 2,5 y NOx, en la ciudad de Otavalo, mediante la construcción y calibración de un equipo de bajo costo.

Joselyn Dalila Inlago¹, Jesus Lopez², Katty Coral¹, Miguel
Martinez¹,

¹ Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito,

*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Jesús López Villalba, Universidad Internacional SEK,
Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, Quito, Ecuador.
Teléfono: (593 2) 3974800 Ext. Xx jesus.lopez@uisek.edu.ec

Título corto o Running title: Exposición personal de PM 2,5 y NOX en la ciudad de Otavalo.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Resumen.

La ciudad de Otavalo, en la actualidad está en constante crecimiento poblacional y demográfico, por ello está teniendo de varios problemas ambientales que se han ido generando con el pasar el tiempo, uno de ellos es la contaminación atmosférica por fuentes móviles causada por los vehículos que transitan la ciudad y el tráfico, esto ha generado emisiones de gases producto de la combustión interna de los motores, sumándose a ello que no todos los vehículos cumplen con la normativa vigente evitando la revisión vehicular, por ello se propuso una metodología para analizar los niveles de exposición personal de material particulado y dióxidos de nitrógeno PM2.5 y NOx mediante la utilización de un equipo de bajo costo, su funcionamiento radica en la composición de los sensores de NO2 y PM2.5 instalados en un solo componente que mide las concentraciones cada cierto tiempo y los datos los almacena en forma de bloc de notas, por ellos se propuso el objetivo de analizar los niveles de exposición personal para verificar cual es el impacto que está causando a los peatones, un vez analizados los datos, se notó que entre el NO2 y PM2.5 , el primero resulto ser el compuesto con las concentraciones más altas registradas a lo largo del estudio realizado.

Palabras clave: Tiempo de exposición, dióxidos de nitrógeno, material particulado, equipo de bajo costo.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Abstract

The city of Otavalo is currently experiencing constant population and demographic growth, which is why it is having several environmental problems that have been encountered over time, one of them is the contamination by mobile sources caused by the vehicles that travel through the city and the traffic, have generated gas emissions resulting from the internal combustion of the engines, adding to this that not all vehicles comply with current regulations preventing vehicle inspection, for this reason a methodology will be chosen to analyze the levels of personal exposure of particulate material and nitrogen dioxides PM_{2.5} and NO_x through the use of low-cost equipment, its operation lies in the composition of the NO₂ and PM_{2.5} sensors installed in a single component that measures the concentrations from time to time and the data is stored in the form of a notepad, for which the objective of analyzing the levels of personal exposure is desired in order to verify ar what is the impact that is causing pedestrians, once the data was analyzed, it was clearly noted that between NO₂ and PM_{2.5} the first result was the compound with the highest concentrations recorded throughout the study.

Keywords: Exposure time, nitrogen dioxides, particulate matter, low cost equipment.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Introducción.

En el Ecuador, uno de los problemas sobre contaminación atmosférica que más influye en la calidad del aire es causada por el transporte (City, 2020), actualmente las ciudades que más son afectadas por la emisión de gases emanados por los vehículos, son las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, sin embargo eso no significa que en las ciudades más pequeñas no exista contaminación de este tipo (2. *Estado Del Aire*, n.d.).

Otavaló siendo un cantón de 82,10 km² de superficie urbana y con 110.461 habitantes tanto del área urbana y rural, sufre de varios problemas ambientales, que al momento pueden ser catalogados como moderado - alto (*Actualización Del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Otavaló - Provincia de Imbabura*, 2015), por consiguiente la importancia de tratar esos impactos a tiempo antes que se conviertan en un problema mayor y afecte a la salud pública de los ciudadanos (*Otavaló*, 2021).

Esto se notó en la contaminación del río Jatunyacu de este cantón, el cual el año 2011 sufrió una amenaza por parte de sus pobladores quienes por su falta de conciencia y empatía por los recursos naturales han convertido la ladera del río en un botadero de desechos, destruyendo así la flora y fauna que había en el lugar, poniendo en riesgo la salud de los ciudadanos por la aparición de vectores y la propia contaminación del recurso agua, como investigó Marcela Coronel (*Otavaló*, 2011) , este ejemplo brindó una idea de lo que está pasando en la ciudad, que aunque no es una metrópoli o una urbe grande, sufre de problemas ambientales que pueden empeorar con el tiempo. (*Gobierno Autonomo Descentralizado de Otavaló*, n.d.)

Lo mismo ocurre con el problema del transporte en la ciudad de Otavaló, las vías cada vez son más abarrotadas por vehículos de todo tipo: camiones, camionetas, motos, vehículos livianos y pesados que causan la emisión de gases (LOMAS, 2018) estos están principalmente compuestos de combustibles fósiles, es decir derivados de hidrocarburos que al entrar en estado

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

de combustión ocurriendo la oxidación rápida, dando como consecuencia la generación de partículas, gases (derivados de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre) y calor (Ambiente, 2010).

Ahora bien. cuando se habla de ciudades pequeñas o bajo volumen de habitantes y áreas urbanizadas, se pensaría que la planificación y utilización de recursos es más viable así como la gestión de residuos y contaminantes, sin embargo en el Ecuador no está sucediendo esto (Moreno et al., 2015) , se puede adjudicar a la falta de conocimiento de la población o el poco interés por parte de los GADS (gobiernos autónomos descentralizados) para mejorar la calidad de los recursos suelo, aire y agua. Desde otra perspectiva, la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) ha creado un inventario que cubre el Distrito Metropolitano de Quito y sus alrededores entre ellos Otavalo, Antonio Ante y Urcuqui (Imbabura) monitoreando así las emisiones de cerca 12.323 km² (2. *Estado Del Aire*, n.d.).

Se comenzó por analizar el PM2.5 catalogado como material particulado fino debido a que su diámetro aerodinámico es igual o inferior a 2.5 micrómetros según (Andrea & Montero, 2019) para este compuesto la OMS ha determinado que el umbral de exposición es de $10 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ en una media anual y $25 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$ en una media diaria (Andrea & Montero, 2019).

A propósito de los contaminantes atmosféricos y el daño que causan al entorno, se determinó como afecta la población que está expuesta a ellos, por ende fue necesario conocer cómo se miden los niveles de exposición personal de estos compuestos : el primero PM 2.5 se determina por medio de la medición directa con aparatos tecnológicos compuestos y también matemáticamente (Sogamoso, n.d.), para este caso se optó por utilizar un equipo de medición in situ como se verá en la metodología. (Rafael et al., 2016).

Una vez visto la exposición personal del material particulado PM2.5 y la dosis que pone en peligro a la población, se determinó la importancia de cuidar que la ciudad de Otavalo vigile la concentración de este compuesto en el ambiente. Se sabe que estar expuesto a este

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

contaminante provoca un riesgo asociado a enfermedades graves respiratorias y carcinogénicas las cuales se cuantifican mediante el FPC (factor de potencia carcinogénica) (Rafael et al., 2016).

En cuanto a los NOx, es decir los óxidos de nitrógeno, dentro de la contaminación atmosférica causada en Otavalo, principalmente tienen su origen en el tráfico formado (catalogado como fuente móvil) en las principales vías de la ciudad, el peligro con este compuesto radica que por sus características gaseosas (*Qué Son , Cómo Son y Cómo Se Originan Las Partículas*, n.d.) suelen tener un tiempo de permanencia más alargado que otras sustancias por lo que la exposición que sufren los transeúntes es mayor. (Rafael et al., 2016).

Es necesario saber que la base legal que protege la correcta gestión de la calidad del aire es la constitución política de la república del Ecuador, en conjunto con las autoridades ambientales como el MAE cuya autoridad principal es el presidente de la República, adicional a este hecho, cabe mencionar a la ley de tránsito y transportes terrestre quien tiene la potestad de sancionar aquellos vehículos que no pasen la revisión vehicular, en la cual se controla el buen estado de los automotores para su buen funcionamiento y mitigar las emisiones cuyo ente sancionador es el Consejo Nacional De Tránsito (Otavalo, 2021)

El Ecuador es un país comprometido con el desarrollo sustentable y el control adecuado de emisiones, en este punto vale la pena señalar los convenios internacionales a los que el Ecuador voluntariamente se ha suscrito, por ejemplificar el Protocolo de Montreal en el cual se compromete a reducir y mitigar aquellas sustancias que agotan la capa de ozono (R. O. No. 420 del 12 de abril de 1990) mediante la creación de medidas de prevención por otra parte esta además el convenio sobre cambio climático (R. O. No.562 de 7 de noviembre de 1994) en el que el país se compromete, de igual manera, a mitigar y reducir los gases de efecto invernadero con el fin de disminuir la concentración de estos contaminantes en la atmósfera (Otavalo, 2021)

Según la OMS, actualmente se han modificado los valores y umbrales para considerar

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

los PM2.5 y NOx como contaminantes peligrosos, como consecuencia que se ha registrado un aumento en los ingresos hospitalarios de la ciudad de Madrid,(OMS, 2005) como anteriormente se vio, los PM2.5 y NOx al ser compuestos respirables la población que está más expuesta pueden presentar problemas como bronquitis, dolencias de tipo cardiovascular, asma y alergias, estas dos últimas con casos en la población infantil. (Gil & Epidemiología, 2008)

La OMS ha preparado frente a la necesidad de proteger la salud de la población guías de calidad del aire GCA, su aplicación es mundial y de libre acceso, sin olvidar que cada país también tiene la obligación de establecer sus propias normas basados en su política y gestión. Las guías para el PM2.5 en un tiempo de exposición prolongado, como ya se indicó, es de 10µg/m³ de concentración en una media anual, de mano de esta guía la OMS ha creado objetivos llamados intermedios para el material particulado PM2.5 para medias anuales (véase el anexo 1) (*Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado , El Ozono , El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre .*, 2005)

La metodología que se empleó para la investigación se basó en la utilización de un equipo de bajo costo, ensamblado y calibrado por la tesista, el cual midió y recogió datos de PM2.5 y NOx en una ruta previamente elegida en la ciudad de Otavalo, los datos se tomó durante una semana (siete días continuos), cada día se recogieron los datos en tres horas distintas 08:00am, 12:00pm, 16:00pm, una vez obtenida la base de datos, se utilizó Microsoft Excel para el procesamiento los datos, se obtuvieron medias, y se analizó el comportamiento de los datos mediante gráficas para tener una mejor visión al compararlos con otros estudios, y fuentes de sitios web entre ellos la NASA satélite Geovanny, estudios antes realizados, y datos de la tesis de la autora Lissette Acosta, los cuales brindaron datos de los dos contaminantes PM2.5 y NOx en tiempo real que posteriormente fueron comparados con los obtenidos en el muestreo con el equipo de bajo costo.

Por ello se propuso como objetivo general del estudio Analizar los niveles de exposición

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

personal de los contaminantes PM 2.5 y NOX mediante construcción y calibración de un equipo de bajo costo para obtener datos brutos y posterior mente procesarlos. Los objetivos específicos fueron los siguientes (1) Adquirir los componentes tecnológicos y sensores para ensamblar el equipo de bajo costo propuesto y una vez montado proceder a la correcta calibración para que los datos obtenidos sean confiables. (2) Establecer el área correcta de estudio mediante la observación, en la ciudad de Otavalo para así proceder a marcar las rutas de medición y muestreo. (3) Medir los niveles de exposición de los contaminantes PM 2.5 y NOX mediante el equipo de bajo costo para obtener datos brutos. (4) Comparar los datos obtenidos con estudios realizados anteriormente para establecer si estos están causando contaminación personal y afectando a la población que transita las rutas analizar.

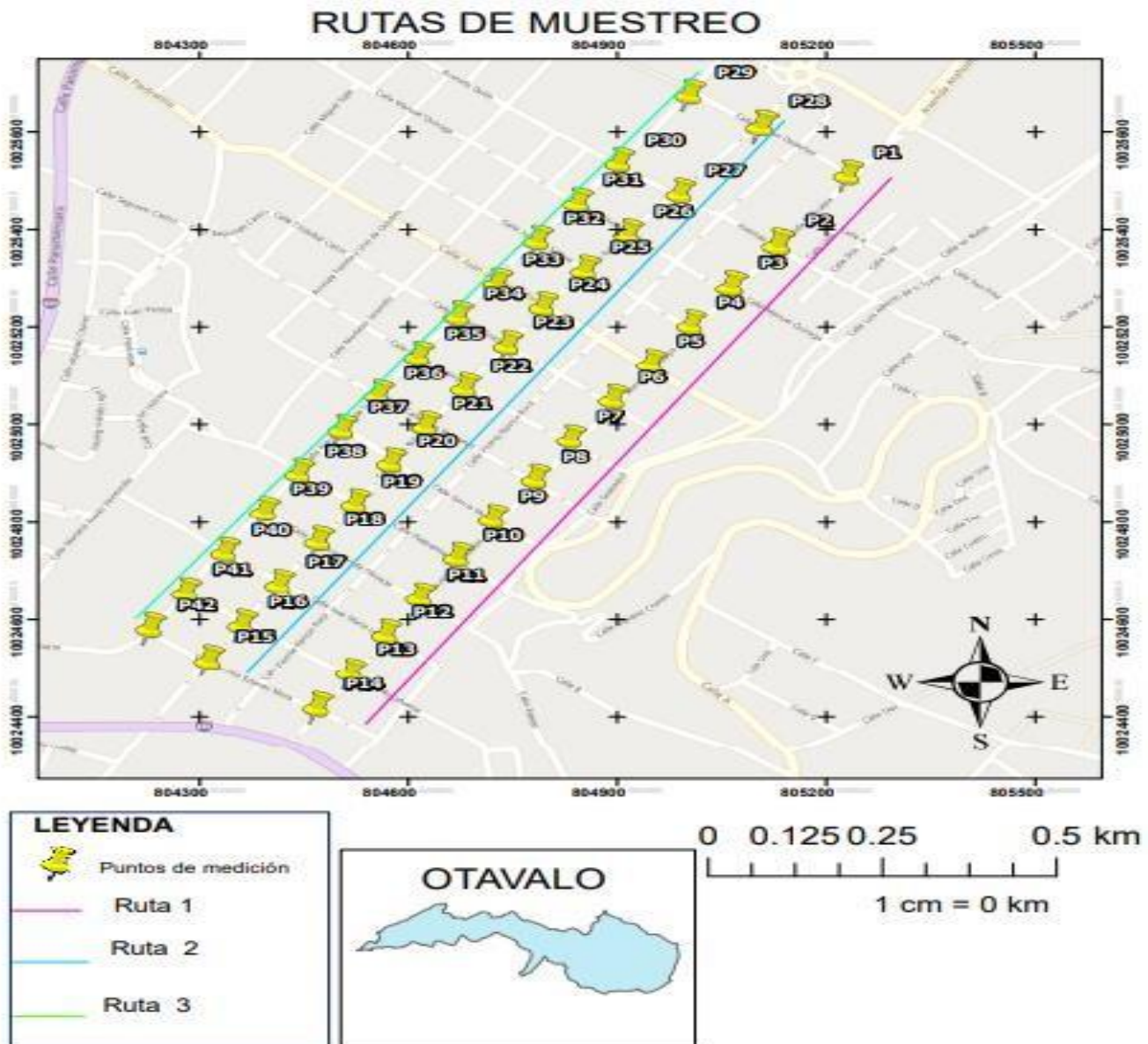
Materiales y Métodos.

Área de estudio

La población de Otavalo está ubicada al norte del país Ecuador pertenece a la provincia de Imbabura, sus límites son al sur Cayambe y Pedro Moncayo, al norte limita con Cotacachi y Antonio Ante, al este con Ibarra y Cayambe y por último al oeste con Quito y Cotacachi. . La ciudad está localizada en la regios del callejón interandino a 110 kilómetros de la ciudad de Quito con una altura de 2.565 msnm (metros sobre el nivel del mar) sus coordenadas son 78° 15' 49'' longitud oeste, 0° 13' 43'' latitud norte.

El total de habitantes del cantón de Otavalo es de 110.461 con una distribución de 44.536 de población urbana y 65.925 de población rural, la superficie total del cantón es 507.47 km² , el idioma oficial es el castellano y Kichwa, así mismo el clima se ve afectado por la diferencia de altitudes dándose un ecosistema único en la zona de Selva Alegre donde la temperatura promedio es de 14°C.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO



Mapa 1. Área de estudio y puntos de muestreo, Autor: Joselyn Inlago

- **Búsqueda y compra del equipo de medición.**

La obtención del equipo se realizó mediante la compra online de los componentes por separado primero el sensor de NO₂ modelo (The MiCS-2714 a compact MOS sensor) de la compañía SGX **Sensortech**, como segundo componente el sensor de PM_{2.5} (Plantower PMS5003 Air Quality Sensor)

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

- **Ensamblaje.**

El equipo está integrado principalmente por los siguientes componentes:

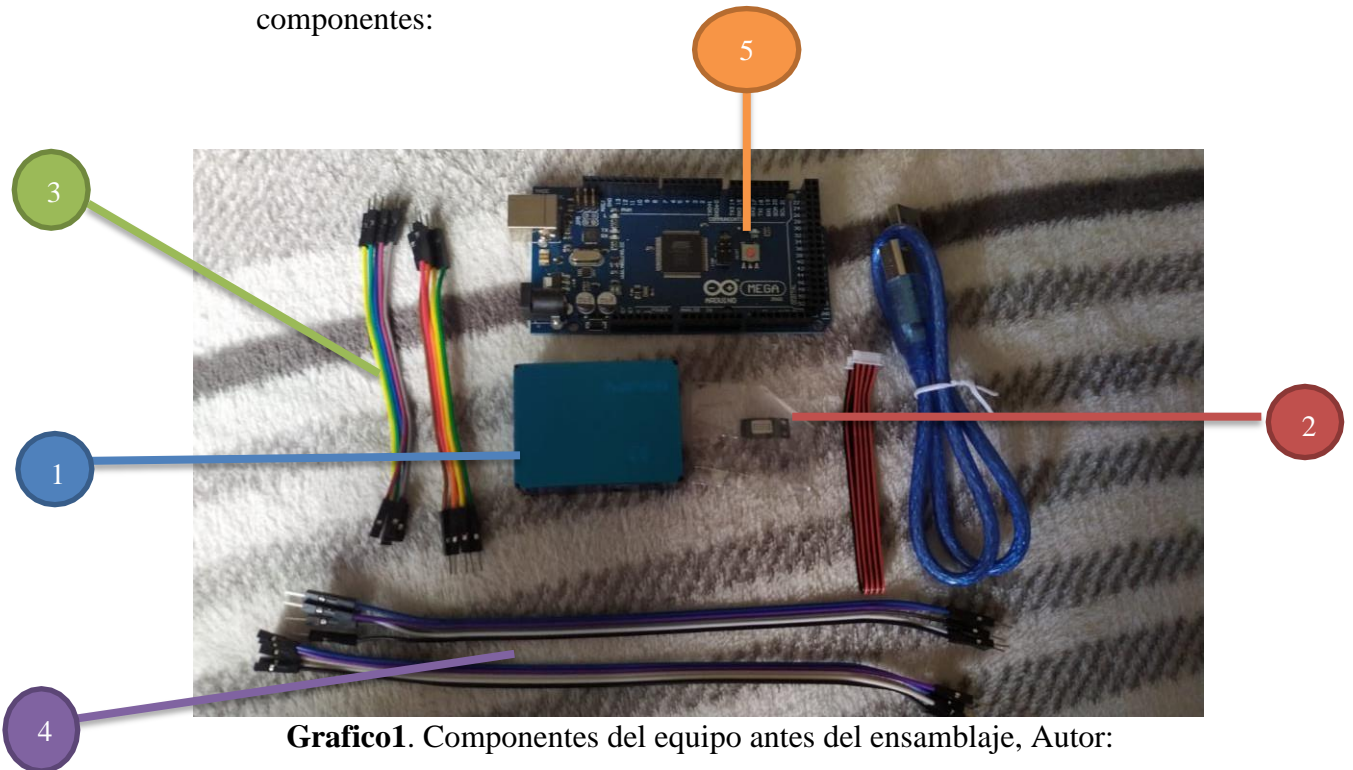
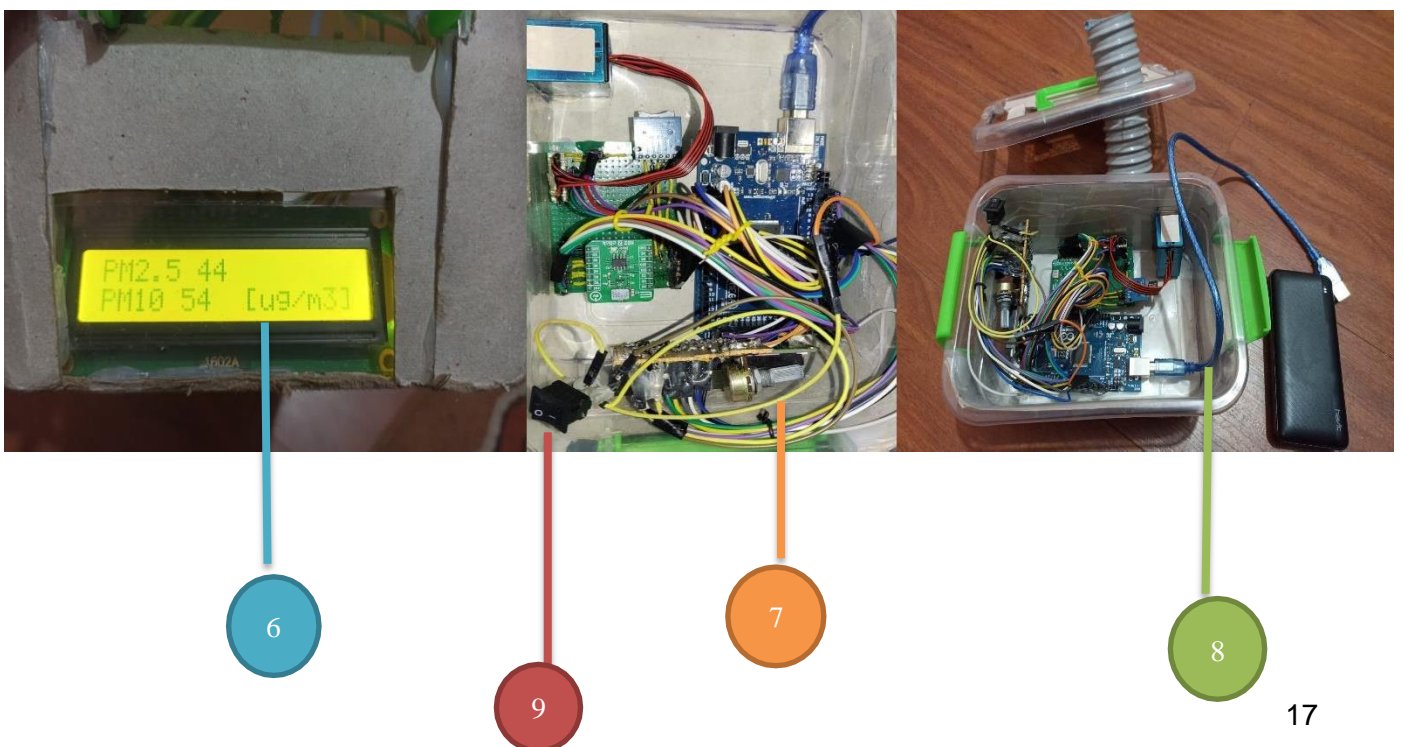


Grafico1. Componentes del equipo antes del ensamblaje, Autor:

Joselyn Inlago



NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

1. Sensor de PM2.5 (Plantower PMS5003 Air Quality Sensor).
2. sensor de NO2 modelo (The MiCS-2714 a compact MOS sensor) de la compañía **SGX Sensortech**
3. Pines
4. Pines
5. Arduino Mega
6. Pantalla LCD
7. Potenciómetro
8. Cargador Portátil
9. Switch

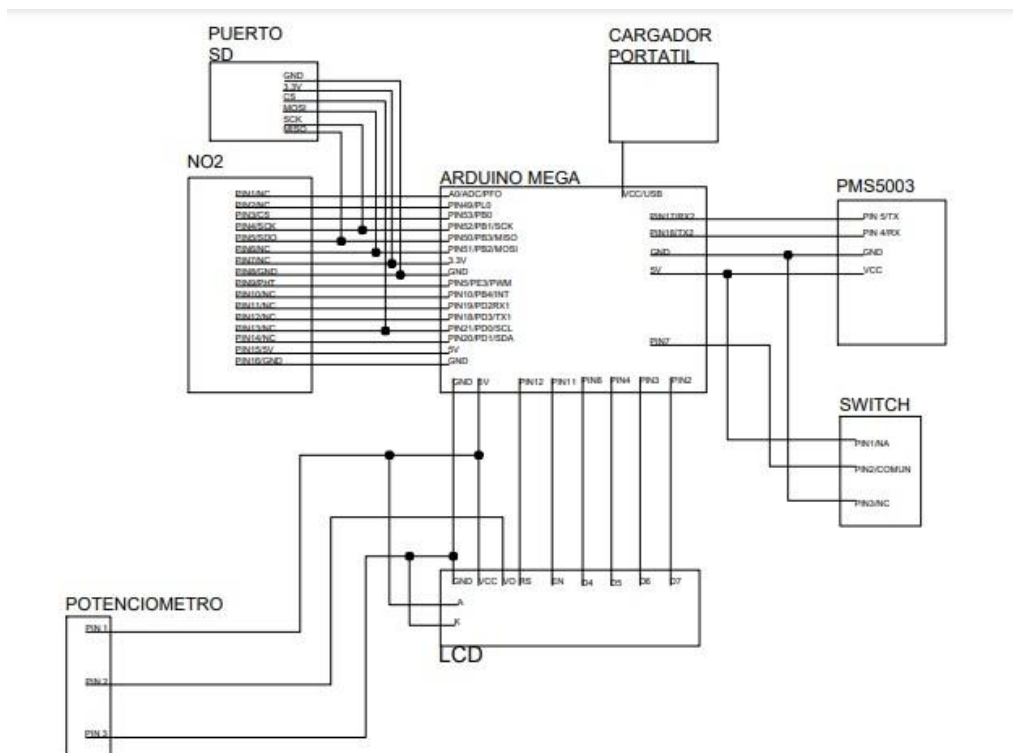


Gráfico 3. Esquema funcional del equipo, Autor: Joselyn Inlago

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

El equipo de bajo costo funciona de la siguiente manera:

Primero se debe conectar el cable portátil a una fuente de energía, el cable es de tipo USB, una vez conectado automáticamente se enciende y después de algunos segundos empieza a medir las concentraciones de los contaminantes y los registra en su base de datos, para cambiar la medición de un contaminante a otro el equipo cuenta con un swich, para apagarlo simplemente se desconecta de la fuente de energía. En el (anexo 2) consta el cuadro donde se especifican las conexiones realizadas a cada placa y sensor para que en conjunto tenga su funcionalidad.

- **Calibración.**

La calibración fue programada mediante la Secretaria del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, una vez obtenidos los permisos correspondientes se procedió a verificar el lugar para la calibración la cual fue en las instalaciones del Patronato San José ubicado en el sector del Recreo al sur de Quito para realizarse durante una semana completa (7 días), durante un lapso de tiempo de 4 horas, las cuales se redujeron a 3 por factores climáticos, La calibración duro seis días comenzando el 28 de octubre del 2021, los dos primeros días 28 y 29 de octubre se utilizó como días de prueba dado que sus valores fueron muy bajos, después los días 30 de octubre y 01 de noviembre ya se realizó la calibración para el compuesto PM2.5 y por último los días 03 y 04 de noviembre se completó la calibración con el compuesto NOx.

Tabla 1. Cronograma de calibración, Autor: Joselyn Inlago

FECHA	HORA	USO DE DATOS
28/10/2021	10:00am a 14:00pm	Día de prueba
29/10/2021	10:00am a 14:00pm	Día de prueba
30/10/2021	11:14am a 14:50pm	Calibración PM2.5
01/11/2021	11:32am a 14:32pm	Calibración PM2.5
03/11/2021	11:15am a 14:15pm	Calibración NOx
04/11/2021	11:09am a 14:09pm	Calibración NOx

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

- **Obtención de equipos adicionales para el muestreo.**

Los equipos adicionales para el estudio fueron un contador manual de partículas modelo (PARTICLE COUNTER PCE-MPC30) y un GPS dotados por el tutor de tesis Jesús López.



Grafico 4. Particle Counter pce-mpc30

- **Criterios de selección de calles y rutas de medición.**

Para la selección de calles y rutas se tomó en cuenta varios criterios como el flujo vehicular, el tráfico automovilístico, densidad peatonal y el tipo de topografía.

- **Cronograma de Muestreo**

Durante la semana del mes de diciembre y enero del año 2021 y 2022 se propuso el muestreo in situ en la ciudad de Otavalo – Ecuador donde durante una semana completa (7 días continuos), se recogió datos en tres horarios diferentes los cuales

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

fueron: 08:00am, 12:00pm, 16:00pm.

Tabla 2. Cronograma de muestreo

DIA \ HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
08:00am							
12:00pm							
16:00pm							

Resultados

Análisis de la concentración

En el presente estudio, luego de haber realizado el muestreo en cada punto seleccionado, por siete días, se elaboraron nueve gráficas que representan la situación por la que está atravesando la ciudad de Otavalo, con respecto a la contaminación atmosférica generada los contaminantes estudiados: PM2.5 y NOx.

Para lo cual se decidió formar en grupos de análisis de datos, eligiendo realizarlas de tal forma que muestren la asociación de la concentración con respecto a los puntos de muestreo (42 en total), siendo así cada línea un día de la semana de muestreo, empezando el día 28/12/2021 hasta la fecha 03/01/2022 (7 días en total).

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

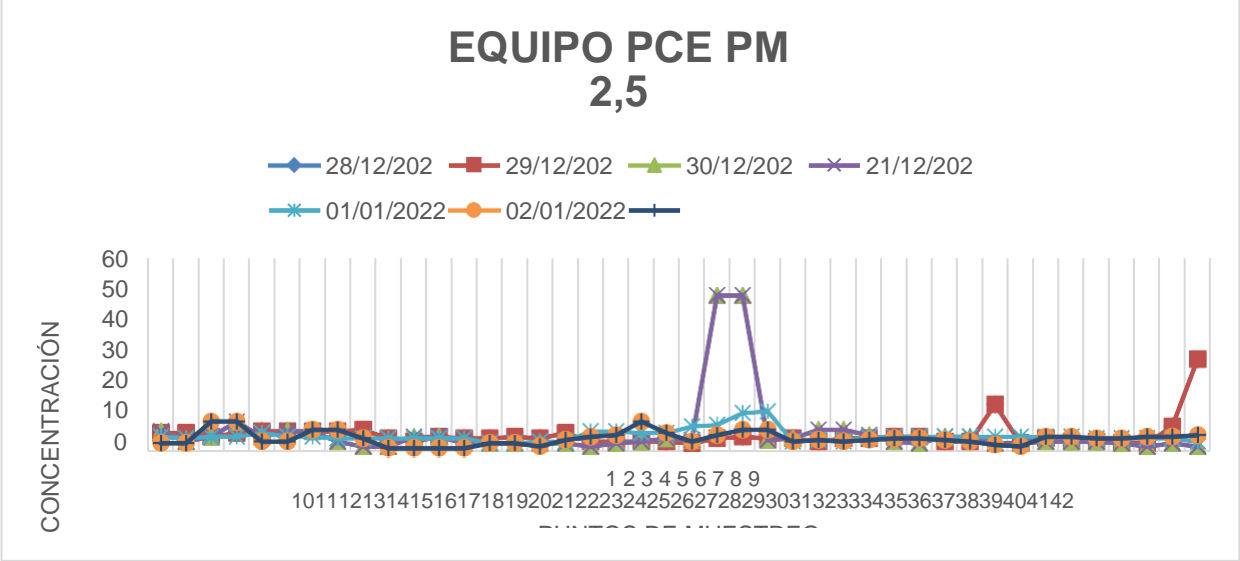


Figura 1. Concentración de PM2.5 con respecto a los puntos de muestreo, equipo PCE, hora 08:00am

Nota: En la siguiente gráfica, se entiende que desde el punto 1 hasta el punto 14, son datos que pertenecen a la zona de muestreo de la avenida Atahualpa, seguido de la calle Bolívar desde el punto 15 hasta el 28, por ultimo tenemos la calle Sucre sus puntos son desde el 29 hasta el 42.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

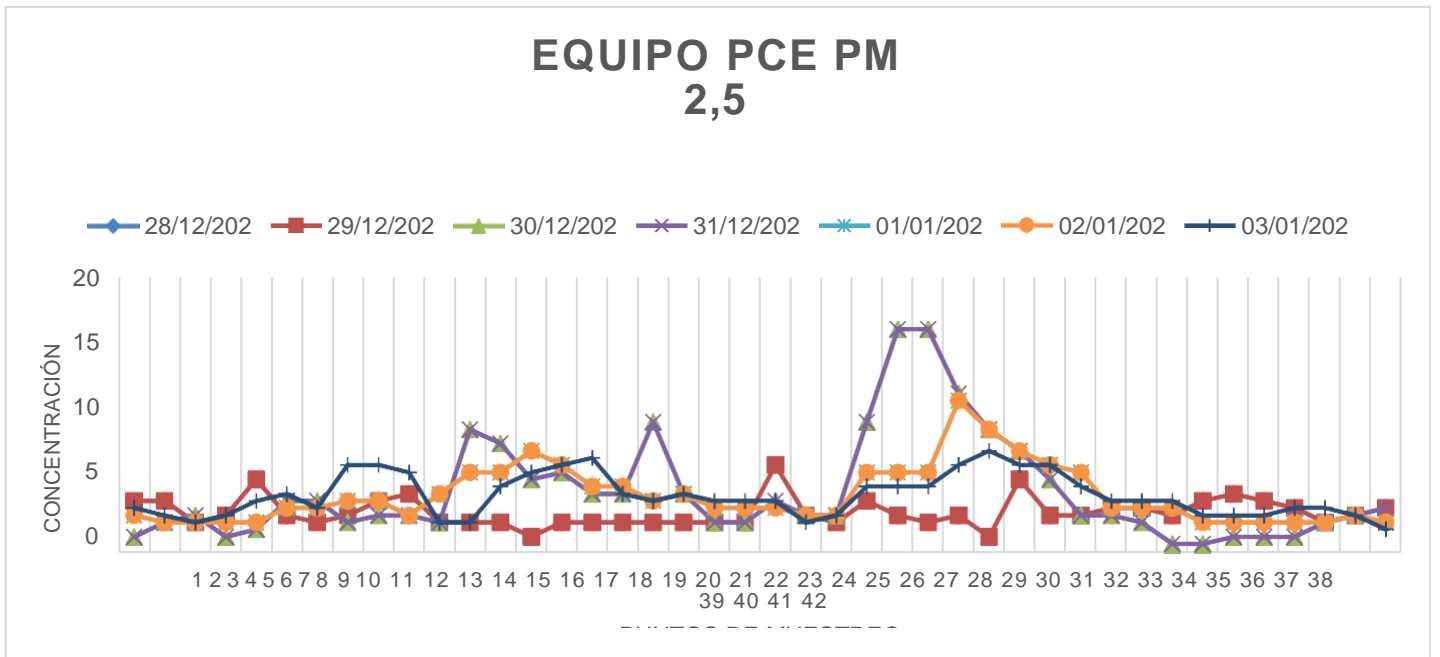


Figura 2. Concentración de PM2.5 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo PCE, hora 12:00pm

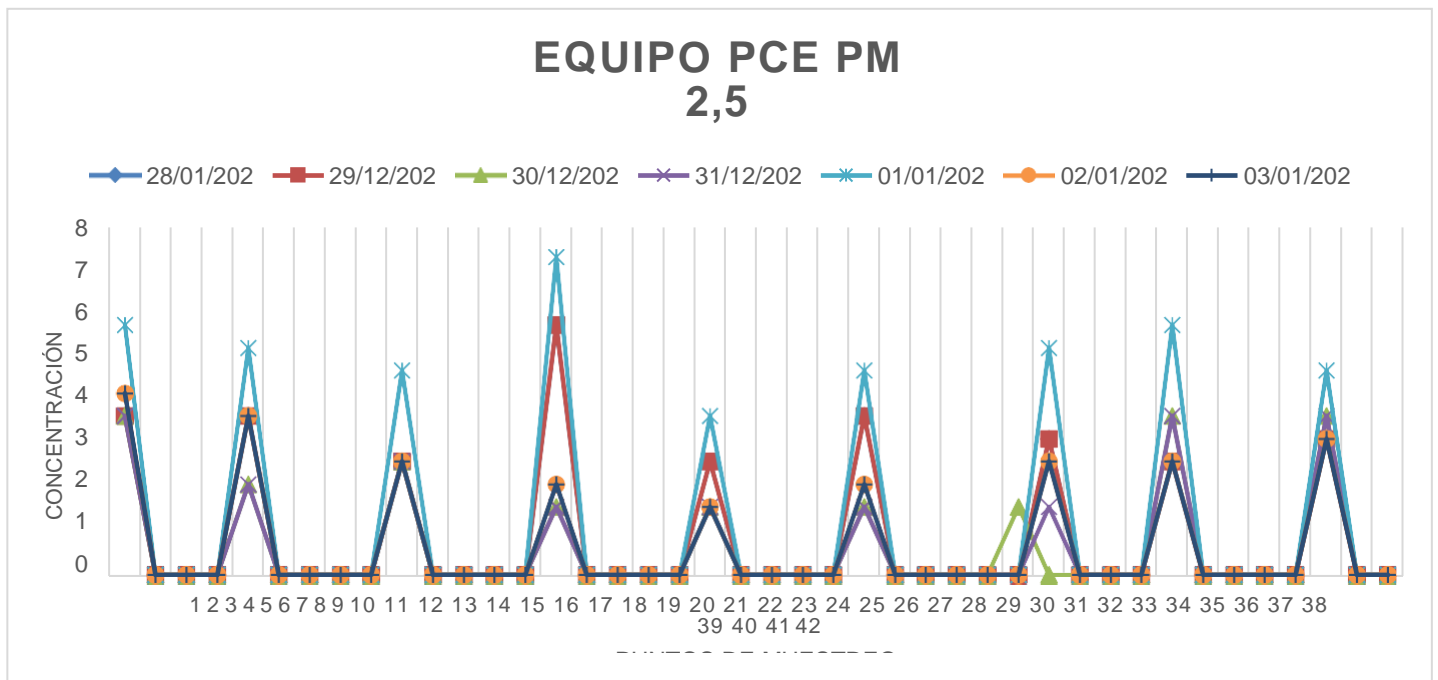


Figura 3. Concentración de PM2.5 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo PCE, hora 16:00pm

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

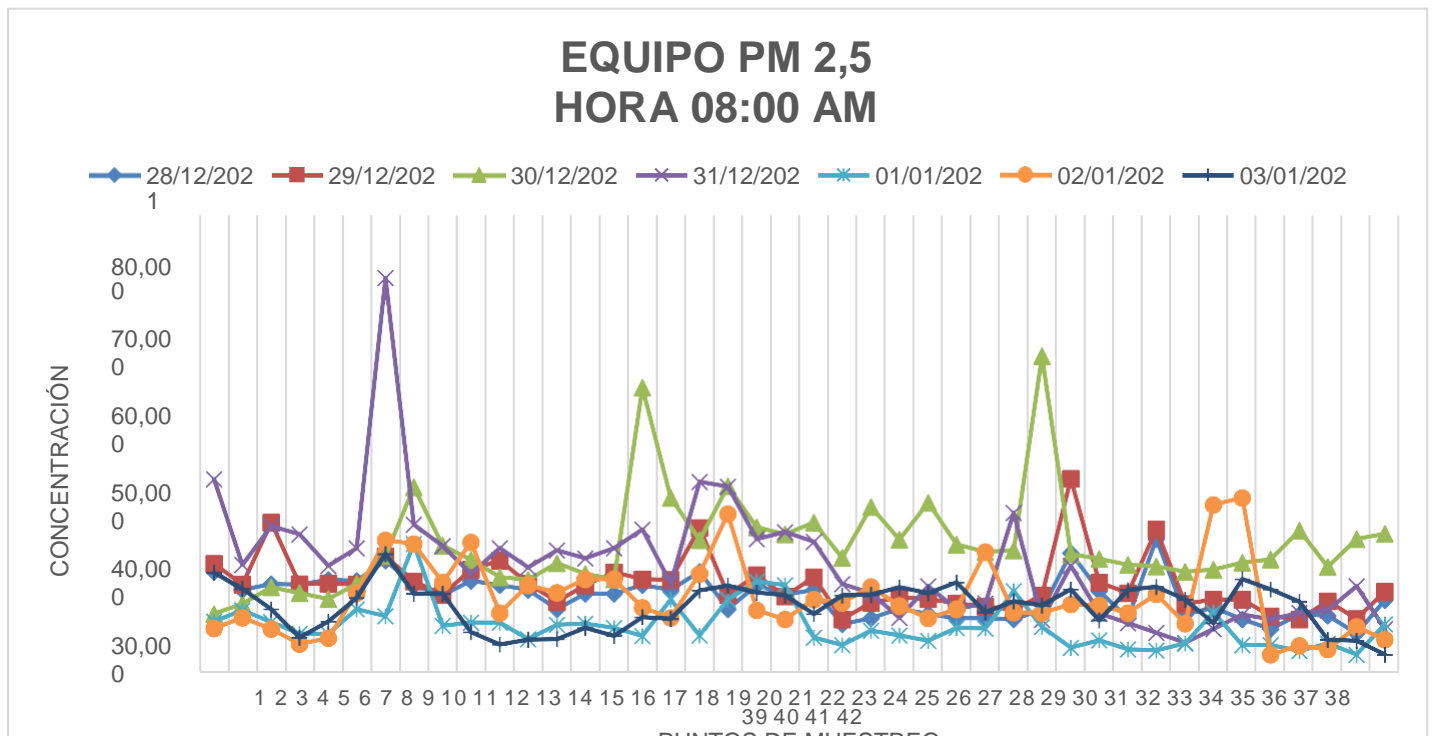


Figura 4. Concentración de PM2.5 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 08:00am

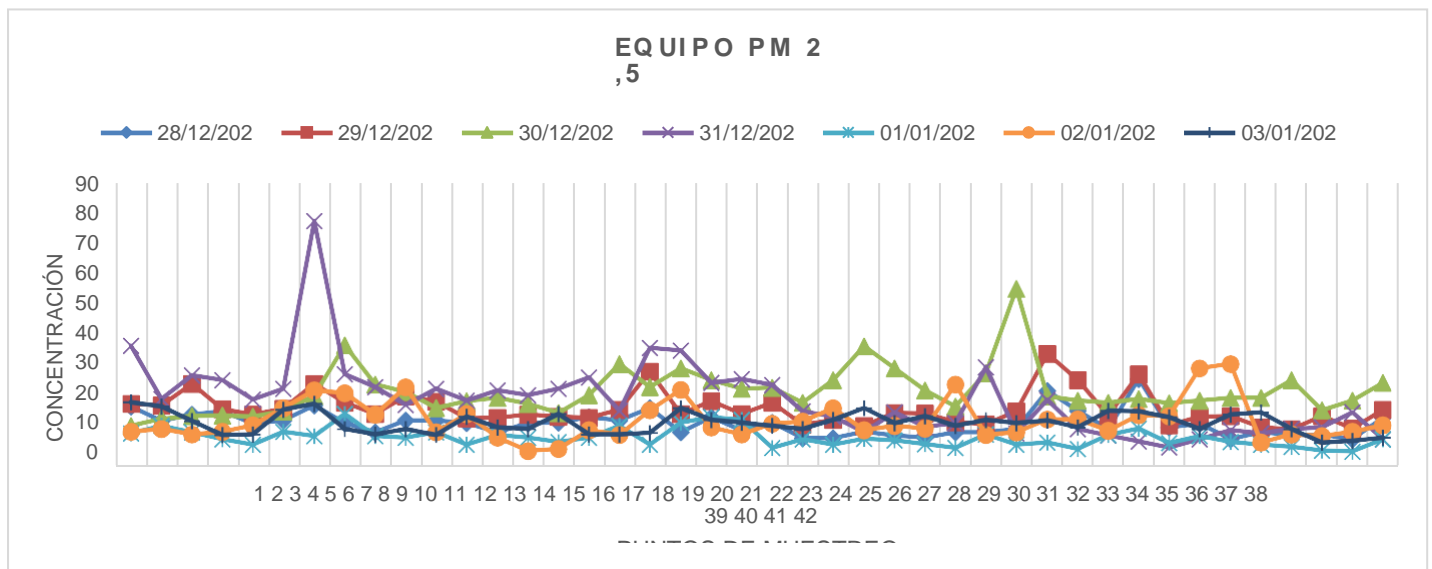


Figura 5. Concentración de PM2.5 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 12:00pm

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

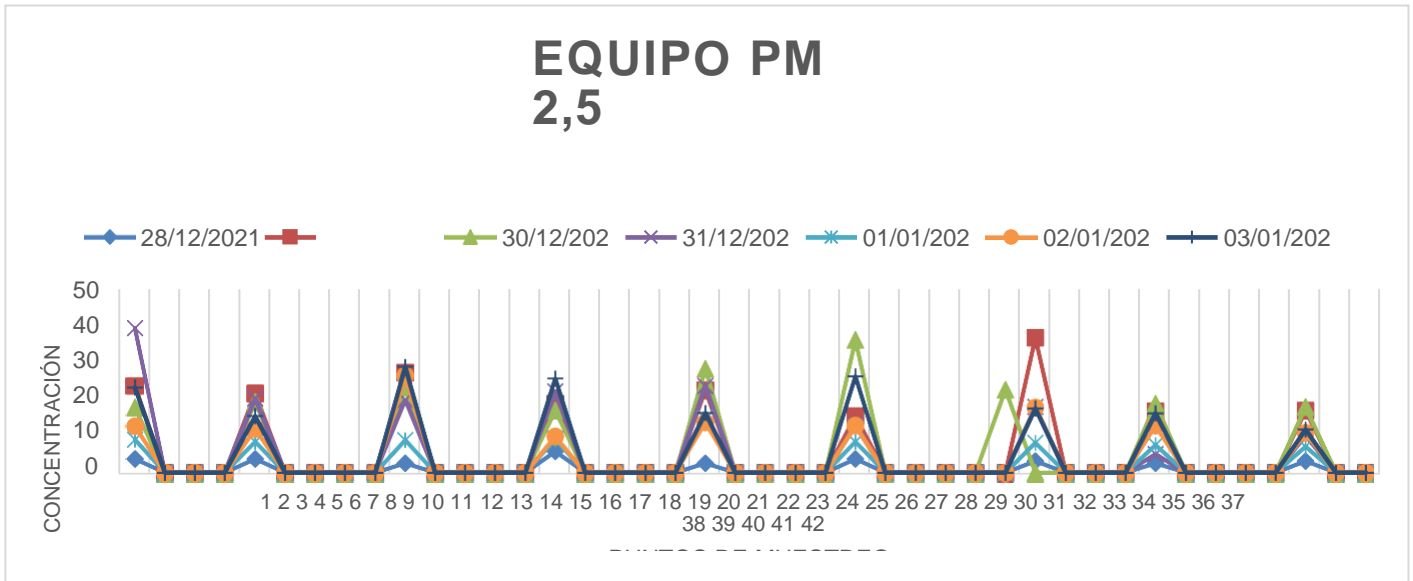


Figura 6. Concentración de PM2.5 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 16:00pm

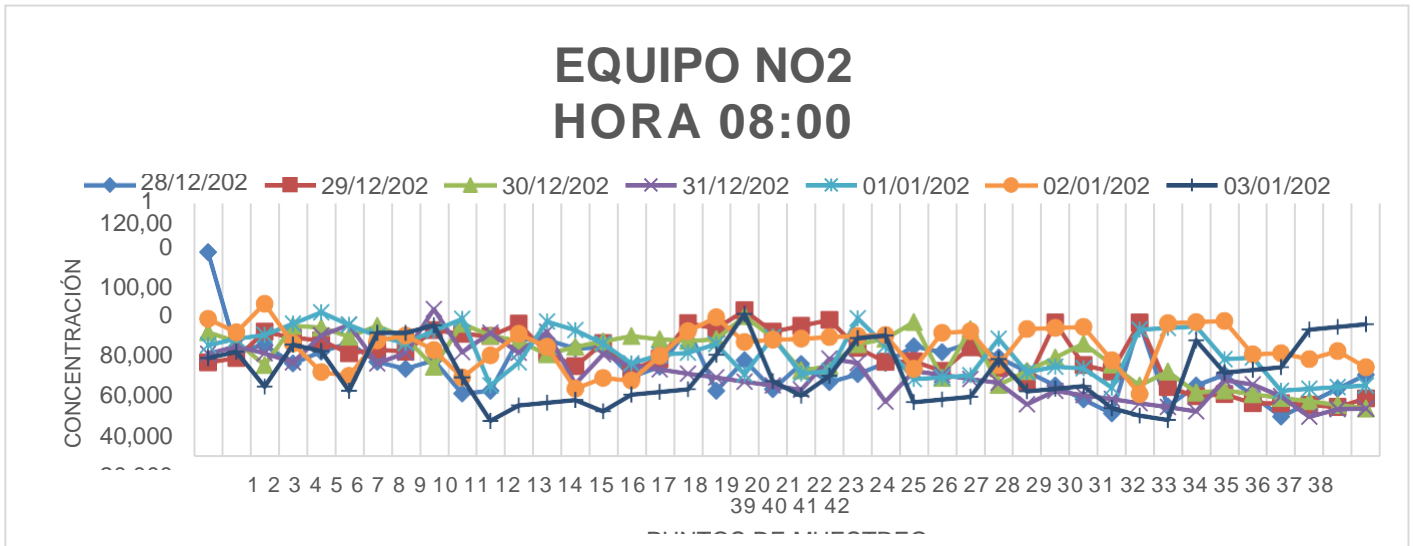


Figura 7. Concentración de NO2 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 08:00am

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

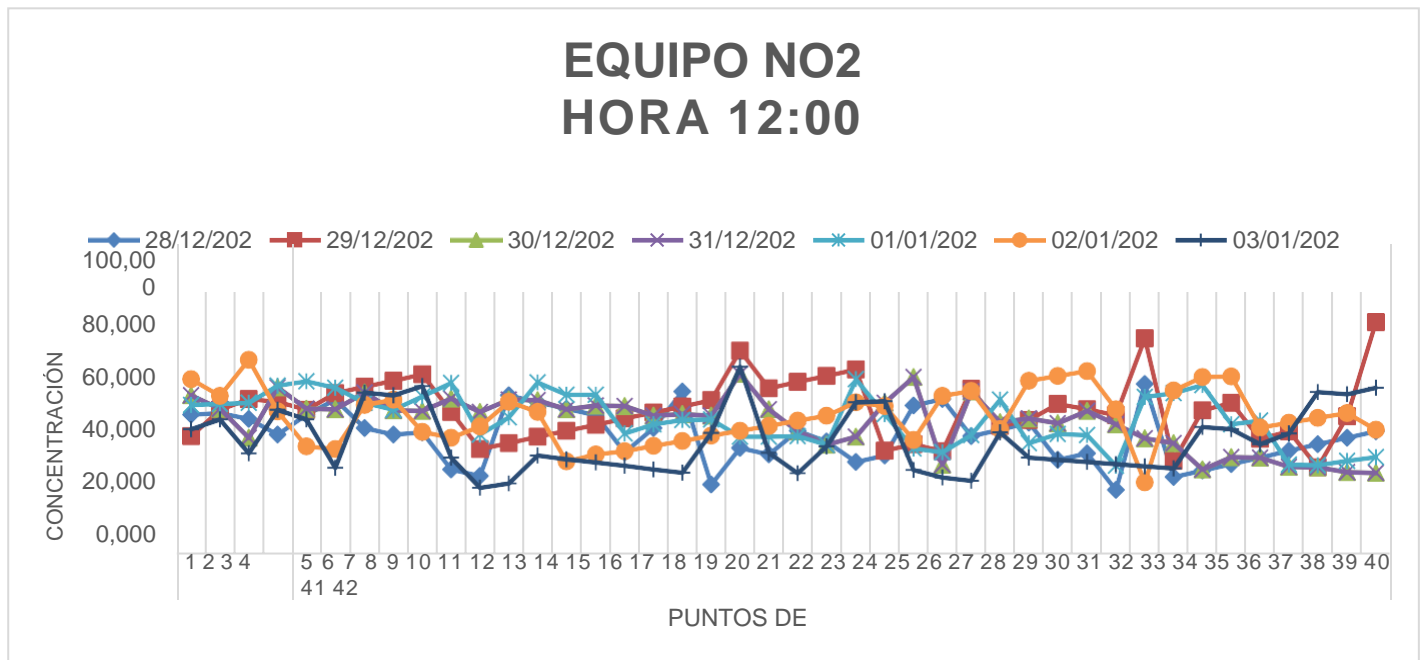


Figura 8. Concentración de NO2 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 12:00pm

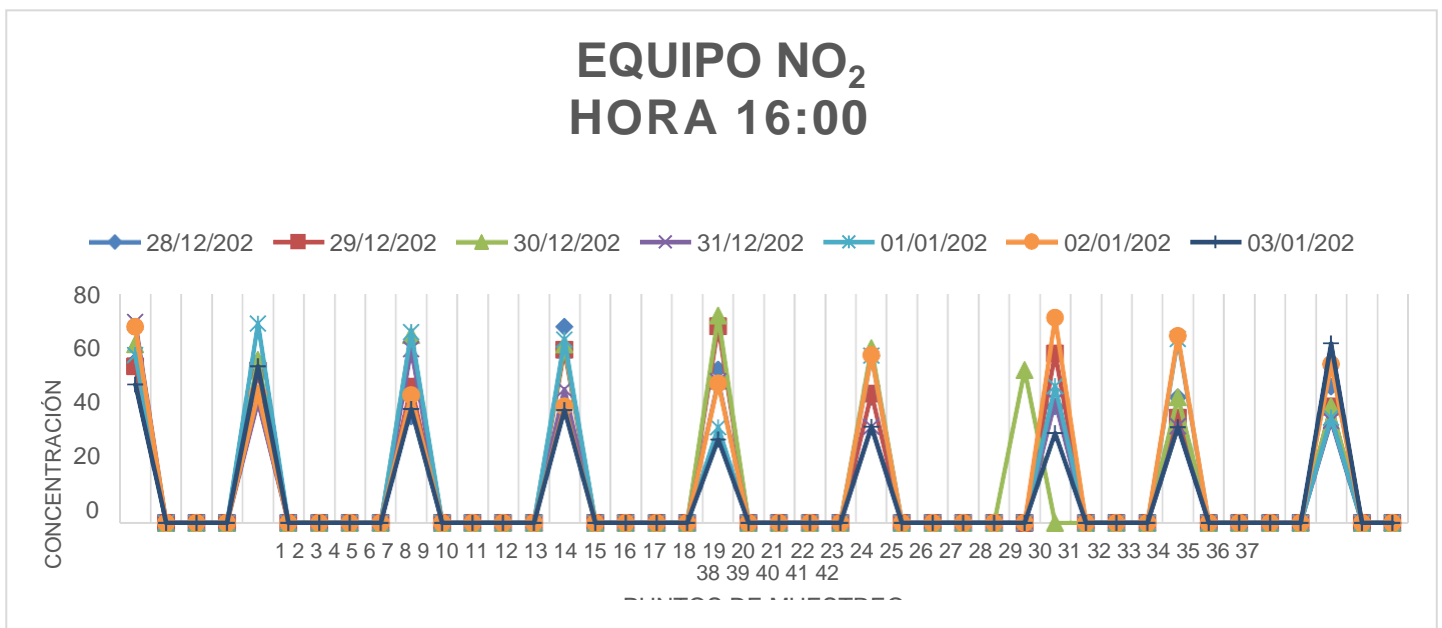


Figura 9. Concentración de NO2 (ug/m3) con respecto a los puntos de muestreo, equipo de bajo costo, hora 16:00pm

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Discusión

Una vez que se analizó los resultados generados, se tomó primeramente al contaminante de NO₂ para realizar la correspondiente comparación con los satélites que la NASA (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio) maneja para lo cual mediante el satélite en órbita GIOVANNI se extrajo datos en forma de mapa para los contaminantes PM_{2.5} y NO₂ en tiempo real, y desde la fecha 2021/12/28 hasta 2022/01/03, la misma en la que se realizó el estudio y monitoreo de la presente investigación.

Para el contaminante PM_{2.5} la fuente es MERRA-2 el cual toma la concentración de masa superficial total en unidades de (kg.m⁻³), la masa está conformada por BCSMASS, OCSMASS, SO₄SMASS, DUSMASS25 y SSSMASS25 siglas que corresponden a los siguientes contaminantes : masa superficial de carbono orgánico, carbono negro, polvo, iones de sulfato y por último la sal marina todos ellos con un diámetro inferior a 2,5 (ug) una vez obtenido el valor es multiplicado por el factor 132,14/ 96,06 que corresponde al ion sulfato en MERRA-2 (NASA, 2022)

Por otra parte para el contaminante NO₂ de igual manera se extrajo los datos del satélite GIOVANNI , viene dado por moléculas de NO₂ en columna troposférica es decir cuenta las moléculas del contaminante desde la superficie terrestre hasta la parte superior de la atmósfera , la relación que existe entre la contaminación en la columna es: primero obsérvese el **anexo 5**, (Ana Prados, 2020) donde se sabe que la mayor parte de la contaminación se da en la superficie terrestre causada por varios factores como: tráfico vehicular, centrales eléctricas, industrias y fábricas, (Aránguez et al., 1999) una vez generado el NO₂ tiene una vida útil corta, por lo que se deduce que la contaminación generada se evidencia mejor cerca de la superficie de la tierra, sin embargo las imágenes satelitales son una gran fuente de datos para el análisis complementario en estudios de impacto ambiental. (Perspectives, 2009)

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

El NO₂ resultó ser el contaminante con más altas concentraciones como muestra en la **figura 7** en la avenida Atahualpa las unidades de medición de los contaminantes son 96.51(ug/m³), dentro de la información que aportó la NASA este contaminante se mide en unidades de (1/cm²), la comparación se analizó visualmente como se ve en el **anexo 5** en el recuadro marcado de rojo es la zona de estudio Imbabura, Otavalo en la escala se mantiene bajo es decir no existe un riesgo significativo para la salud.

En el primera figura se encuentra la concentración de PM_{2.5} con respecto a los puntos de muestreo que fueron 42 en total, que cubren tres calles de las cuales la numero dos (calle Bolívar) fue la que tuvo una concentración más alta de PM_{2.5} específicamente en el punto 23 y 24 con una concentración de 47.81 (ug/m³) este hecho sucedió el día 31 de diciembre del 2021, y al ser el más alto se deduce que se debe al alto tráfico vehicular que acontece el fin de año, y cabe resaltar que es en el horario de la mañana (08:00am), la mayoría de datos se mantienen por debajo de los 15 (ug/m³) en todos los días de muestreo, excepto en el punto 42 el día 29 de diciembre del mismo año donde se obtuvo una concentración 28.06(ug/m³) siendo el segundo más alto para el contaminante PM_{2.5} en el equipo PCE en el horario de la mañana demás cabe destacar que el primer valor alto se realizó caminando, la calibración del equipo PCE fue indispensable y al analizar los resultados, se notó que se encuentra dentro del rango de medición por lo que la calibración previa fue correcta (Instruments, 2022)

En la segunda figura se analizó la misma concentración de PM_{2.5} en el horario de las 12:00pm, la concentración más alta que se encontró es para el día 31 de diciembre del 2021 donde hubo un valor de 16.11 (ug/m³) en el punto 26 y 27 los cuales corresponden a la calle Bolívar, los puntos que siguen posteriormente tienen una tendencia disminuir.

En la tercera figura el valor más alto se dio en el punto 15 con una concentración de 7.27 (ug/m³) sin embargo este hecho pasa el día 01 de enero del 2022, seguido de los puntos 1 y 35 con una concentración de 5.71, en esta figura los puntos no son continuos debido a que son menos puntos de muestreo, en estos abarcan de igual manera el mismo tramo de muestreo de principio a

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

fin y se lo realizaron en vehículo.

En la cuarta figura la concentración más alta es el punto 7 con una concentración de 77.42 (ug/m³) se da en la avenida Atahualpa el día 31 de diciembre del 2021 , seguido del punto 30 con una concentración de 62.04(ug/m³) en la fecha 30 de diciembre del 2021 , en la misma fecha otro hallazgo es el punto 16 con 55.88 (ug/m³) de ahí en adelante todos los puntos de muestreo están por debajo de los 25(ug/m³) para el horario de la mañana (08:00am) en el equipo de bajo costo.

En la quinta figura se encontró una concentración de 77.42 en el punto 7 en la fecha 31 de diciembre del año 2021 , el otro valor más alto es en el punto 30 con una concentración de 55.93(ug/m³) en la fecha 30 de diciembre del 2021 a partir de ahí los puntos de muestreo 1, 8, 16, 17,18, 31 y 37 están en un rango de 40 a 25 (ug/m³) los puntos sobrantes se encuentran por debajo de los 25 (ug/m³) , esto en el horario de tarde (12:00pm) y medido en el equipo de bajo costo.

En la sexta figura el valor más alto es en el punto 1 con 38.96 (ug/m³) en la fecha 31 de diciembre del 2021, por otra parte el punto 25 y 31 resultaron ser los próximos con concentraciones más altas siendo 35.75 y 36.35 (ug/m³) respectivamente, pero en diferentes fechas la primera se dio el día 30 de diciembre del 2021 , mientras que la segunda el día 29 de diciembre del mismo año mientras los puntos restantes se encuentran por debajo de los 28 (ug/m³) , esto para el horario de la tarde (16:00 pm) tomado por el equipo de bajo costo en vehículo.

Según el autor (ARIAS, 2016) en el estudio realizado sobre la “ *estimación distribución de la dosis diaria promedio de PM 2.5 y debida a la exposición personal en diferentes modos de transporte en la ciudad de Bogotá* ” la tasa de inhalación los peatones son los segundos en recibir una mayor exposición al contaminante PM2.5 en primer lugar están los usuarios de la bicicleta, en el estudio realizado no se optó por muestrear el nivel de exposición en bicicleta, sin embargo concuerda con la investigación que los peatones reciben una mayor tasa de exposición (ARIAS, 2016)

En la séptima figura se analizó el NO₂ en concentraciones iguales de (ug/m³), la gráfica muestra un comportamiento no lineal, se notó que en el punto 1 la concentración llego a 96.51

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

(ug/m³) en la fecha 28 de diciembre del año 2021 y a partir de ahí tuvo un descenso significativo a 72.36(ug/m³) en la fecha 02 de enero del año 2022 siendo el segundo punto más alto, los demás puntos se encuentra por debajo de los 70 (ug/m³), este hecho sucedió en el horario de la mañana (08:00 am), as muestras fueron tomadas por el equipo de bajo costo.

En la figura 8 la concentración de NO_{2.5} más alta se da en el punto 42 con 88.23(ug/m³) en la fecha 29 de diciembre del año 2021 seguido del punto 34 con 82.20 (ug/m³) en la misa fecha, a partir de ahí todos los puntos están por debajo de los 80(ug/m³) sin embargo ninguno disminuye hasta por debajo de los 20(ug/m³) , esto en el horario de la tarde (12:00pm) caminando y muestreado en el equipo de bajo costo.

La última figura es la novena en la cual se notó una concentración de 72.40 (ug/m³) en el punto 20 la fecha en la que se dio este evento fue el 30 de diciembre del 2021 y continuo el punto 31 con 71.64 (ug/m³) en la fecha 02 de enero del año 2022, esto en el horario de la tarde (16:00 pm) tomado las muestras en el equipo de bajo costo y en vehículo.

El nivel de exposición más alto es causado a peatones para el NO₂ tenemos que en la mañana los niveles son más altos que en la tarde, e muestreo se lo realizo caminando y se notó claramente la alta concentración de gases emitidos por los vehículos en la avenida Atahualpa concordando con el autor (Widziewicz et al., 2016)

Conclusiones

Se concluyó al final del estudio que los niveles de exposición personal de los contaminantes PM_{2.5} y NO₂ pueden inferir en la salud de los peatones de manera perjudicial, por la gran cantidad de gases a os que son expuestos causando enfermedades de tipo respiratorio, la población más vulnerable son niños y ancianos quienes tienen un sistema inmune sensible.

La calibración del equipo es un método para precisar los datos obtenidos por el equipo de bajo costo, en la relación precio/utilidad resulto conveniente, además que se obtuvo un equipo totalmente funcional con pocos recursos véase el **anexo 4**, el cual sirvió para estimar una

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

problemática ambiental importante para la salud humana y el control preventivo ambiental.

Se concluyó que la falta de monitoreo ambiental por parte de los entes de control, dificulta las investigaciones posteriores debido a que se centran en ciudades secundarias, sin embargo por ser una ciudad de menos área no significa que no exista problemas ambientales como la emisión de gases PM2.5 y NO2 por parte de los vehículos que circulan en la ciudad.

En la calibración se debe tener presente las condiciones ambientales, puesto que los primeros días de toma de datos hubo presencia de fuertes precipitaciones, en estas condiciones difíciles los datos tuvieron un comportamiento anormal (es decir rangos muy desiguales), cuando el clima mejoro a las condiciones normales los rangos se mantuvieron estables.

El control de los contaminantes PM2.5 y NO2 es necesario para obtener una población saludable, como se determinó anteriormente, exponerse a concentraciones altas de PM2.5 y NO2 a puede ocasionar a largo tiempo enfermedades respiratorias en adultos y en poblaciones más vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas los daños son aún mayores causando incluso afectaciones cardiacas y daños permanentes en el organismo.

Recomendaciones

Al ver uno de los resultados se recomienda el día 31 de diciembre que es fin de año evitar salir en la ciudad de Otavalo por la gran exposición a material particulado PM2.5, que posteriormente puede ocasionar afectaciones respiratorias

Otavalo al ser una ciudad secundaria, es decir no es de las principales del Ecuador carece de un sistema de monitoreo atmosférico permanente por lo que es indispensable seguir con el control de contaminantes PM2.5 y NO2, debido a que en la investigación se evidencio que si existe presencia de PM2.5 y NO2 causado por el tráfico vehicular.

Se recomienda a la ciudadanía evitar transitar en las llamadas horas pico por la gran

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

concentración de gases que se genera y podría afectar a la salud de los peatones.

A la autoridad ambiental competente para que se implemente un monitoreo en estas zonas de posible conflicto, con una red de monitoreo para tener una visión del comportamiento de estos contaminantes PM2.5 y NO2 porque al realizar esta investigación fue complicado la comparación debido a la falta de datos y estudios preexistentes en el tema de contaminación atmosférica.

A los entes de control vehicular se recomienda poner más énfasis en los filtros de revisión, puesto que se notó una gran cantidad de automóviles cuyo sistema de combustión tenía fallas de funcionamiento y no deberían estar circulando por la ciudad.

Se recomienda que los GAD'S se encarguen con la situación de contaminación ambiental de las pequeñas ciudades como se mostró en los mapas de la NASA no existe contaminación a un nivel preocupante, sin embargo al ser una ciudad en desarrollo con el tiempo puede variar la situación , y es mejor actuar con la prevención para en el futuro no tener problemas de salud pública.

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

Bibliografía

Ambiente, M. d. (2010). *Plan Nacional de la Calidad del Aire*. Quito. Obtenido de

<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/libro-calidad-aire-1-final.pdf>

Ana Prados, M. F.-C. (2020). *Monitoreando el Dióxido de Nitrógeno desde el Espacio*. Obtenido de

https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Inside_Look_AQ_Spanish.pdf

ARIAS, Y. A. (2016). *ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DIARIA PROMEDIO DE PM2.5 Y BC DEBIDA A LA EXPOSICIÓN PERSONAL EN DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*. Obtenido de

<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/17928/u729542.pdf?sequence=1>

2. *Estado del aire*. (n.d.).

Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo - Provincia de Imbabura. (2015).

Andrea, J., & Montero, T. (2019). *Estudio del nivel de exposicion a PM2.5 en la cicloinfraestructura*. 1–75.

Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosfericos y su vigilancia. *Revista Espanola de Salud Publica*, 73(2), 123–132. <https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200003>

ARIAS, Y. A. S. (2016). *ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DOSIS DIARIA PROMEDIO DE PM2.5 Y BC DEBIDA A LA EXPOSICIÓN PERSONAL EN DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ*.

City, A. (2020). *Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato* ,.

Gil, C. L., & Epidemiología, N. De. (2008). *Las PM 2,5 y su afección a la salud*. 46–50.

Gobierno autonomo descentralizado de otavalo. (n.d.).

Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado , el ozono , el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre . (2005).

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

- Instruments, P. (2022). Obtenido de https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-de-particulas-kat_71033.htm
- LOMAS, S. W. (2018). “*TRANSPORTE, MOVILIDAD, DESARROLLO URBANO Y MEDIO AMBIENTE*:. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15053/Tesis%20final%20disertacion%20Sebastian%20Lopez%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Moreno, P. J., Caranqui, I. R., Carlos, L., & Andrade, M. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE IMBABURA 2015-2035 i PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PROVINCIA DE IMBABURA 2015-2035*.
- NASA. (2022). *Particulate Matter*. Obtenido de <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/glossary?keywords=PM2.5&title=Giovanni%20Measurement%20Definitions:%20Particulate%20Matter>
- OMS. (2005). *Actualización mundial 2005*.
- OMS. (2021). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Otavaló, C. (2011). *DIPLOMADO SUPERIOR EN INVESTIGACIÓN*.
- Otavaló, M. d. (diciembre de 2021). <http://www.otavalogob.ec/>. Recuperado el 12 de diciembre de 2021, de <http://www.otavalogob.ec/web/datos-generales/>
- Perspectives, E. H. (2009). *El alcance global*. 51(2).
- Qué son , cómo son y cómo se originan las partículas*. (n.d.). x, 13–32.
- Rafael, R., Reales, R., Rafael, R., & Reales, R. (2016). *Nivel de exposición personal a material particulado inhalable PM 2.5 proveniente de vías de alto tráfico vehicular de la ciudad de Barranquilla Nivel de exposición personal a material particulado inhalable PM 2.5 proveniente de vías de alto tráfico ve.*
- Sogamoso, V. De. (n.d.). *Pm 2.5*.
- Widziewicz, K., Melaniuk-wolny, E., & Widziewicz, K. (2016). *Machine Translated by Google La exposición de los peatones , conductores y pasajeros del transporte por carretera al dióxido de*

NIVELES DE EXPOSICIÓN PERSONAL DE MATERIAL PARTICULADO PM 2,5 Y NOX, EN LA CIUDAD DE OTAVALO, MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN EQUIPO DE BAJO COSTO

nitrógeno Machine Translated by Google La exposición de los peatones , conductores y pasajeros

del transporte por carretera al . <https://doi.org/10.1016/j.abr.2016.10.011>

Anexos

Anexo 1. Objetivos intermedios para material particulado según la OMS

	MP₁₀ (µg/m³)	MP_{2,5} (µg/m³)	Fundamento del nivel elegido
Objetivo intermedio-1 (OI-1)	70	35	Estos niveles están asociados con un riesgo de mortalidad a largo plazo alrededor de un 15% mayor que con el nivel de las GCA.
Objetivo intermedio-2 (OI-2)	50	25	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad prematura en un 6% aproximadamente [2-11%] en comparación con el nivel del OI-1.
Objetivo intermedio-3 (OI-3)	30	15	Además de otros beneficios para la salud, estos niveles reducen el riesgo de mortalidad en un 6% [2-11%] aproximadamente en comparación con el nivel del OI-2.
Guía de calidad del aire (GCA)	20	10	Estos son los niveles más bajos con los cuales se ha demostrado, con más del 95% de confianza, que la mortalidad total, cardiopulmonar y por cáncer de pulmón, aumenta en respuesta a la exposición prolongada al MP _{2,5} .

Anexo 2. Máximos permisibles según la OMS

Contaminantes	Máximos permisibles	
PM_{2.5}	15 µg/ m3 de media diaria	5 µg/m3 de media anual
NO₂	25 µg/m3 de media diaria	10 µg/m3 de media anual

Fuente:OMS. (2021). *Contaminación del aire ambiente (exterior)*. Obtenido de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Anexo 3. Conexiones del equipo y funcionalidad

PINES ARDUINO	PLACA	PINES	FUNCIONALIDAD
A0	NO 2	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	LC D	GND	Tierra
5V		VC C	Alimentación de la placa del LCD
PIN12		RS	Modo escritura
PIN11		EN	Función Enable/Permitir
PIN8		D4	Primer 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

Anexo 3. Conexiones del equipo y funcionalidad

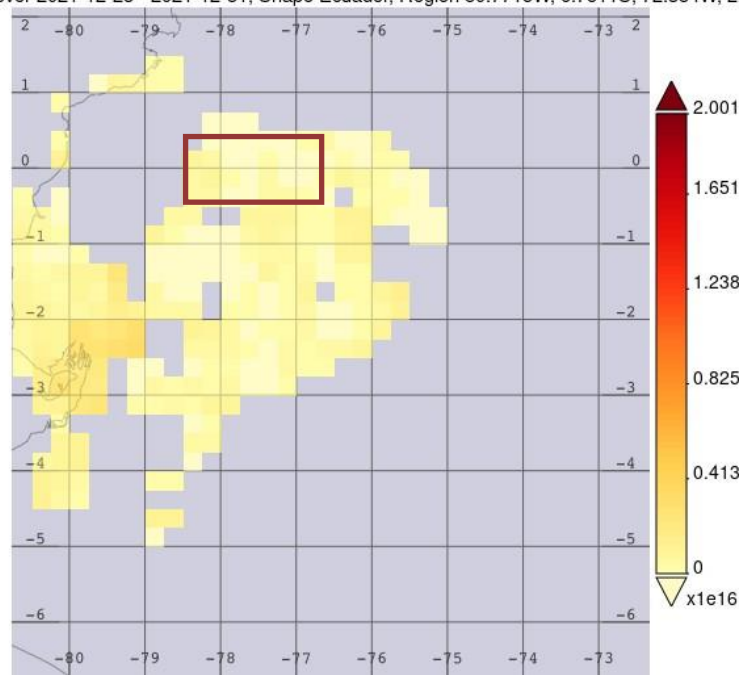
PIN52		SC K	Configuración de la placa
PIN50		MISO	Configuración de la placa

Anexo 4. Valores de la curva de calibración

		PM 2.5 (PCE - MPC30)	PM2.5 (PMS5003)	NO2 (MICS-2714)
COEFICIENTE DE CORRELACION		0.51970275	0.9322298	0.87309467
R^2 AJUSTADO		0.26887735	0.8637048	0.75952422
INTERVALO DE CONFIANZA	INFERIOR 95%	0.03028054	0.5102022	1.32832151
	SUPERIOR 95%	0.03795032	0.5707324	1.49128883

Anexo 5. Mapa de tiempo promediado para el contaminante NO₂, en columna troposférica para la región de Ecuador centrado en la provincia de Imbabura, unidades de (1/cm²) en el mes de diciembre del 28 al 31.

Time Averaged Map of NO2 Tropospheric Column (30% Cloud Screened) daily 0.25 deg. [OMI OMNO2d v003] 1/cm2 over 2021-12-28 - 2021-12-31, Shape Ecuador, Region 80.7715W, 6.7511S, 72.334W, 2.1259N



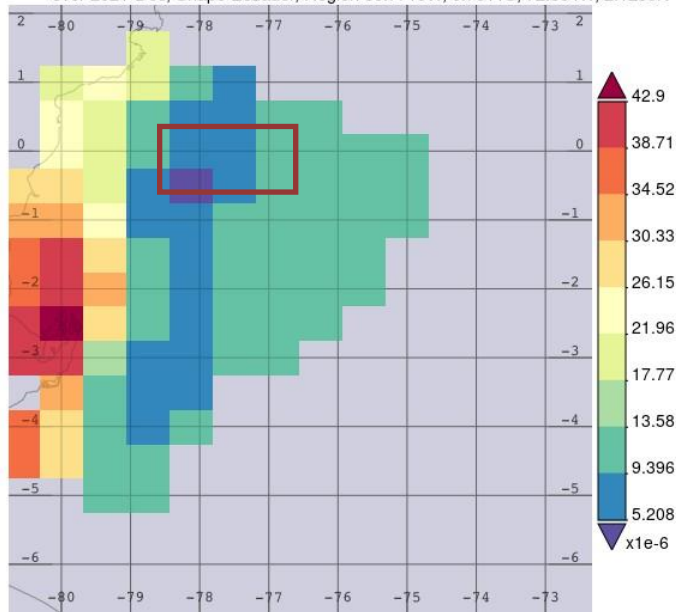
Fuente: NASA. (2022). *Particulate Matter*. Obtenido de <https://disc.gsfc.nasa.gov/information/glossary?keywords=PM2.5&title=Giovanni%20Measurements%20Definitions:%20Particulate%20Matter>

Anexo 4. Valores de la curva de calibración

Anexo 6. Mapa de tiempo promediado para el contaminante PM_{2.5} en densidad de masa para la

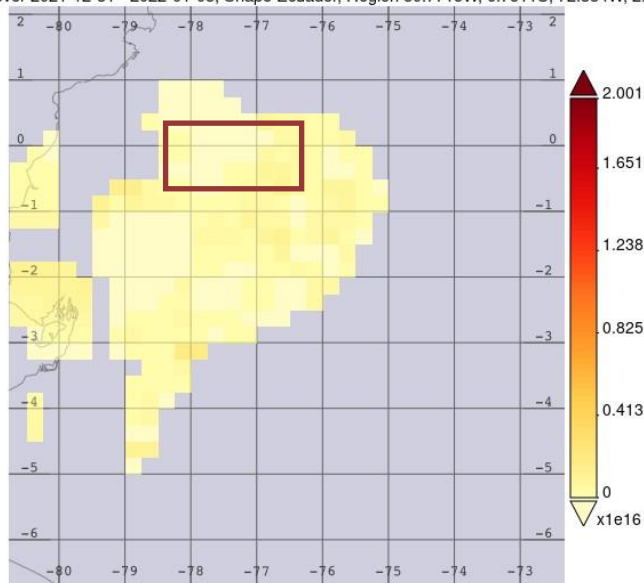
región de Ecuador centrado en la provincia de Imbabura, unidades de (kg m^2) en el mes de diciembre del 28 al 31.

Time Averaged Map of Total Column Mass Density - PM 2.5 monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXAER v5.12.4] kg m^{-2} over 2021-Dec, Shape Ecuador, Region 80.7715W, 6.7511S, 72.334W, 2.1259N



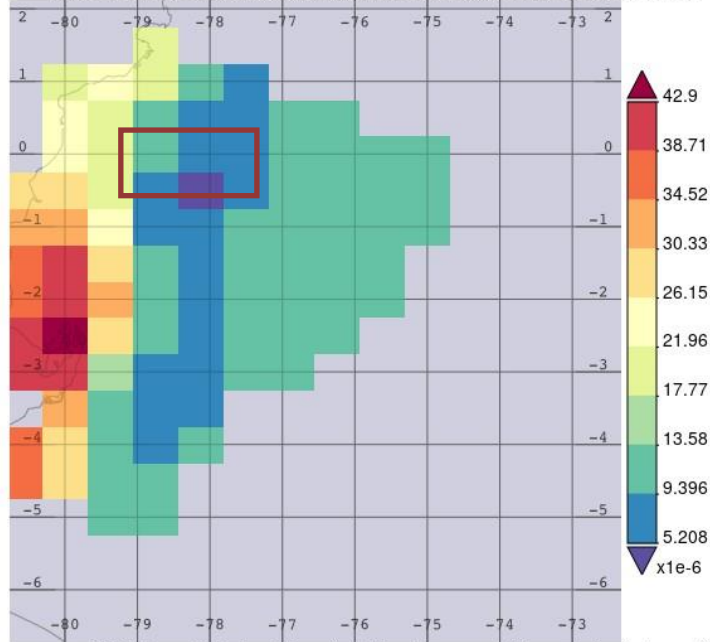
Anexo 7. Mapa de tiempo promediado para el contaminante NO_2 , en columna troposférica para la región de Ecuador centrado en la provincia de Imbabura, unidades de ($1/\text{cm}^2$) en el mes de enero del 1 al 3.

Time Averaged Map of NO_2 Tropospheric Column (30% Cloud Screened) daily 0.25 deg. [OMI OMNO2d v003] $1/\text{cm}^2$ over 2021-12-31 - 2022-01-03, Shape Ecuador, Region 80.7715W, 6.7511S, 72.334W, 2.1259N



Anexo 8. Mapa de tiempo promediado para el contaminante PM_{2.5} en densidad de masa para la región de Ecuador centrado en la provincia de Imbabura, unidades de (kg m²) en el mes de enero del 1 al 3.

Time Averaged Map of Total Column Mass Density - PM 2.5 monthly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2TMNXAER v5.12.4] kg m-2 over 2021-Dec, Shape Ecuador, Region 80.7715W, 6.7511S, 72.334W, 2.1259N



- Selected date range was 2021-Dec - 2022-Jan. Title reflects the date range of the granules that went into making this result.

Anexo 7. Relación entre la contaminación de NO₂ en la columna troposférica desde la superficie.



Fuente: Ana Prados, M. F.-C. (2020). *Monitoreando el Dióxido de Nitrógeno desde el Espacio*. Obtenido de https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/Inside_Look_AQ_Spanish.pdf

Anexo 10. Presupuesto de la investigación.

<i>Material / compuesto</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo unitario (USD)</i>
<i>Mikroelektronika</i>	1	38.45
<i>NO2 CLICK- MIKROE 3700</i>		
<i>PMS5003</i>	1	30.61
<i>Arduino Mega Uno</i>	1	21.55
<i>Pantalla LCD arduino dos líneas</i>	1	7
<i>Cables de 15 cm</i>	28	4.20
<i>Cables de 10cm</i>	6	0.60
<i>interruptor</i>	1	1
<i>potenciómetro</i>	1	1
<i>Tarjeta SD</i>	1	5
<i>Fuente externa de energía</i>	1	15
TOTAL		124.41
<i>Mano de obra</i>		20
<i>Transporte</i>		20
<i>Envió</i>		15
TOTAL FINAL		179.41