



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN CINCO INSTITUCIONES
EDUCATIVAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
CUENCA, MEDIANTE ESTACIONES MÓVILES, TENDIENTE A
VERIFICAR CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE**

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: YANDRY MICHAEL MORENO HERRERA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PH.D

CUENCA – ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

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

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN CINCO INSTITUCIONES
EDUCATIVAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE
CUENCA, MEDIANTE ESTACIONES MÓVILES, TENDIENTE A
VERIFICAR CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE**

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

AUTOR: YANDRY MICHAEL MORENO HERRERA

DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA, PH.D

CUENCA – ECUADOR

2025

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Yandry Michael Moreno Herrera portador de la cédula de ciudadanía N.º 1900608967. Declaro ser el autor de la obra: “ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN CINCO INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE CUENCA, MEDIANTE ESTACIONES MÓVILES, TENDIENTE A VERIFICAR CON LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 26 de noviembre de 2025



Yandry Michael Moreno Herrera

1900608967

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Yandry Michael Moreno Herrera, bajo mi supervisión.

Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera, Ph.D

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este proyecto con todo mi corazón a las personas que han sido mi fuerza, mi inspiración y mi razón de seguir adelante.

A ti, mi hija amada, que con tan solo 12 años te has convertido en mi mayor motivo de superación. Cada paso que he dado, cada noche de estudio y cada esfuerzo ha sido pensando en ti, en brindarte un mejor futuro, en ser un ejemplo de lucha, esfuerzo y perseverancia. Tus sonrisas han sido mi aliento y tu amor, mi impulso diario. Esta meta es también tuya, y espero que un día sientas orgullo de este logro que va dedicado a ti.

A mi madre, mujer valiente y fuerte, quien me enseñó con su ejemplo a no rendirme nunca. A ti dedico esta meta alcanzada, porque fuiste tú quien me dio las primeras herramientas para luchar en la vida. Gracias por tu amor incondicional, tus consejos sabios y tu apoyo constante en cada etapa de este proceso. No hay palabras que alcancen para expresar cuánto te debo.

A mi familia en general, por estar presentes, por confiar en mí y por apoyarme sin condiciones. Cada palabra de aliento y cada gesto de cariño ha sido vital para llegar hasta aquí.

A mi tutor académico, por creer en mi capacidad y guiarme con paciencia, profesionalismo y compromiso. Su apoyo ha sido una pieza clave para culminar este proyecto con éxito.

Y finalmente, dedico este trabajo a mí mismo, a ese joven que nunca dejó de soñar, que pese a los obstáculos decidió avanzar con fe y convicción. Hoy me abrazo con orgullo por no haberme rendido y por seguir caminando hacia la realización de mis metas.

Este logro no es solo un título, es el resultado de años de esfuerzo, sacrificios, lágrimas y esperanzas. Es la muestra de que, con determinación, amor y fe, todo es posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en todo momento. Su presencia en mi vida me ha dado la fe y esperanza necesarias para continuar, incluso en los momentos más difíciles. Sin Él, este logro no habría sido posible. Gracias, Padre celestial, por iluminar mi camino y brindarme cada día una nueva oportunidad para superarme.

A mi madre, por ser el pilar más fuerte en mi vida. Desde mis primeros pasos en el camino de los estudios has estado ahí, brindándome tu apoyo incondicional, tus consejos y tu amor. A ti, madre, te debo cada esfuerzo y sacrificio que me ha traído hasta este momento. Gracias por confiar en mí incluso cuando yo dudaba.

A mi hija, mi más grande motivo y fuente de inspiración. Verte crecer me ha dado el impulso necesario para seguir adelante, estudiar, trabajar y esforzarme cada día por brindarte un mejor futuro. Eres mi mayor orgullo y mi motor para no rendirme nunca.

A mi familia, por cada palabra de aliento, por estar presentes en cada etapa de este camino, y por su compañía constante que ha hecho este recorrido más llevadero y significativo

A mi tutor, quien desde el inicio me brindó su orientación, paciencia y confianza. Gracias por su apoyo constante, por compartir sus conocimientos, y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí. Su guía ha sido fundamental para la culminación exitosa de este proyecto.

A la Universidad Católica de Cuenca, por abrirme sus puertas y brindarme una formación académica de calidad. A sus docentes, profesionales comprometidos y apasionados por la enseñanza, les agradezco por compartir su sabiduría y por formar parte de este proceso de crecimiento personal y profesional.

De manera especial, expreso mi gratitud a Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca, por facilitar las estaciones móviles necesarias para el desarrollo de este proyecto, lo cual fue un aporte invaluable para alcanzar los objetivos propuestos.

Con humildad y profundo agradecimiento, dedico este proyecto a todos quienes han creído en mí y han hecho posible que hoy esté un paso más cerca de alcanzar mi sueño: ser Ingeniero Ambiental.

Con fe, todo se logra.

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en cinco instituciones educativas localizadas en el centro histórico de Cuenca, con el propósito de determinar el índice de calidad del aire analizando la concentración de contaminantes. Los contaminantes analizados fueron Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S), Ozono (O₃), Material Particulado Fino (PM2.5), Radiación Ultravioleta (UV) y Presión Atmosférica (hPa). El estudio responde a la necesidad de identificar los niveles de contaminación del aire en las instituciones para comparar si cumplen con los límites permisibles establecidos por las normas internacionales. La investigación se realizó en períodos definidos durante octubre, noviembre y diciembre del año 2024 empleando estaciones móviles de medición. Los resultados evidenciaron que la mayoría de los parámetros analizados están dentro de los rangos permisibles; Sin embargo, se identificaron concentraciones elevadas de CO₂ en interiores, así como niveles críticos de PM2.5 en exteriores. Estas condiciones influyen en la calidad del aire y en el bienestar de las personas. Se concluye que, los valores encontrados no superan los rangos permisibles de calidad de aire, pero en algunos casos como el CO₂, es necesario implementar medidas. Se recomienda mantener el monitoreo periódico de los parámetros ambientales para asegurar condiciones óptimas de bienestar dentro de las instituciones educativas.

Palabras clave: calidad del aire, monitoreo ambiental, dióxido de carbono, estaciones móviles de monitoreo, límites permisibles.

ABSTRACT

This study was carried out in five educational institutions located in the historic center of Cuenca, with the purpose of determining the air quality index by analyzing the concentration of pollutants. The pollutants analyzed were Carbon Monoxide (CO), Carbon Dioxide (CO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂), Hydrogen Sulfide (H₂S), Ozone (O₃), Fine Particulate Matter (PM_{2.5}), Ultraviolet Radiation (UV), and Atmospheric Pressure (hPa). The study responds to the need to identify air pollution levels in institutions to compare whether they comply with the permissible limits established by international standards. The research was carried out during defined periods during October, November, and December 2024 using mobile measuring stations. The results showed that most of the parameters analyzed are within permissible ranges. However, high concentrations of CO₂ were identified indoors, as well as critical levels of PM_{2.5} outdoors. These conditions influence air quality and human well-being. It is concluded that the values found do not exceed permissible air quality ranges, but in some cases, such as that of CO₂, measures are necessary. Periodic monitoring of environmental parameters is recommended to ensure optimal well-being conditions in educational institutions.

Keywords: air quality, environmental monitoring, carbon dioxide, mobile monitoring stations, permissible limits.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD.....	I
CERTIFICACIÓN	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABLAS	XIII
LISTA DE ANEXOS.....	XV
CAPÍTULO I.....	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1.1 OBJETIVOS.....	- 4 -
1.1.1 <i>Objetivo general</i>	- 4 -
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	- 4 -
CAPÍTULO II.....	- 5 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA	- 5 -
2.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE.....	- 5 -
2.1.1 <i>Principales fuentes de los contaminantes atmosféricos</i>	- 7 -
2.1.2 <i>Principales contaminantes atmosféricos</i>	- 9 -
2.1.3 <i>Definición de contaminación del aire en interiores</i>	- 11 -
2.2 CALIDAD DEL AIRE.....	- 12 -
2.2.1 <i>Definición del índice de calidad del aire (ICA)</i>	- 13 -
2.2.2 <i>Calidad del aire en Ecuador</i>	- 16 -
2.2.3 <i>Características y aplicaciones del ICA</i>	- 17 -
2.3 PROBLEMAS DE SALUD ASOCIADOS A LA MALA CALIDAD DEL AIRE.....	- 20 -
2.4 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y RENDIMIENTO ACADÉMICO	- 25 -
2.5 ESTACIONES MÓVILES DE MONITOREO DE AIRE.....	- 28 -
2.6 INSTITUCIONES EDUCATIVAS SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO.....	- 29 -
2.6.1 <i>Unidad Educativa San Francisco</i>	- 29 -
2.6.2 <i>Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales (Universidad Católica de Cuenca)</i>	- 30 -

2.6.3 Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica (Universidad Católica de Cuenca).....	- 31 -
2.6.4 Unidad Académica de Salud y Bienestar (Universidad Católica de Cuenca)	- 31 -
2.6.5 Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción (Universidad Católica de Cuenca).....	- 32 -
2.7 NORMATIVA AMBIENTAL	- 32 -
CAPÍTULO III.....	- 37 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 37 -
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	- 37 -
3.2 TRABAJO DE CAMPO.....	- 38 -
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	- 43 -
3.4 MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	- 43 -
3.5 ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS.....	- 45 -
3.6 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE (ICA)	- 45 -
3.7 NORMATIVA UTILIZADA PARA COMPARACIÓN.....	- 46 -
CAPÍTULO IV.....	- 47 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	- 47 -
4.1 CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES	- 47 -
4.1.1 Concentración de monóxido de carbono	- 47 -
4.1.2 Concentración de dióxido de carbono	- 49 -
4.1.3 Concentración de sulfuro de hidrógeno.....	- 52 -
4.1.4 Concentración de ozono.....	- 55 -
4.1.5 Concentración de dióxido de nitrógeno	- 58 -
4.1.6 Concentración de material particulado fino (PM 2.5).....	- 61 -
4.1.7 Concentración de radiación UV.....	- 64 -
4.1.8 Concentración de presión atmosférica	- 67 -
4.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE EN CENTROS EDUCATIVOS DEL CENTRO HISTÓRICOS DE CUENCA ..-	70 -
4.2.1 Índice de calidad del aire en la Unidad Educativa San Francisco	- 73 -
4.2.2 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales	- 73 -
4.2.3 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica.....	- 74 -
4.2.4 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Salud y Bienestar	- 74 -
4.2.5 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción	- 75 -

4.3	COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE CONTAMINANTES CON LOS VALORES PERMISIBLES ESTABLECIDOS POR LA NORMATIVA AMBIENTAL VIGENTE	- 75 -
4.3.1	<i>Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Educativa San Francisco con la normativa ambiental ecuatoriana.....</i>	<i>- 76 -</i>
4.3.2	<i>Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales con la normativa ambiental ecuatoriana.....</i>	<i>- 76 -</i>
4.3.3	<i>Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica con la normativa ambiental ecuatoriana.....</i>	<i>- 77 -</i>
4.3.4	<i>Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Salud y Bienestar con la normativa ambiental ecuatoriana.....</i>	<i>- 77 -</i>
4.3.5	<i>Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción con la normativa ambiental ecuatoriana.....</i>	<i>- 78 -</i>
CAPÍTULO V	- 81 -
5.	CONCLUSIONES.....	- 81 -
6.	RECOMENDACIONES	- 82 -
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 83 -
8.	ANEXOS	- 91 -

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Contaminantes, colores y criterios relacionados al índice de calidad del aire _____ - 15 -
- Figura 2:** Calidad del aire en Ecuador _____ - 16 -
- Figura 3:** Ejemplo de mediciones en tiempo real sobre el Índice de Calidad del aire _____ - 19 -
- Figura 4:** Estación móvil de monitoreo/muestreo de aire _____ - 29 -
- Figura 5:** Fotografías de la Unidad Educativa San Francisco, área externa e interna _____ - 30 -
- Figura 6:** Fotografías de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales, a) área externa, b) área interna _____ - 30 -
- Figura 7:** Fotografías de la Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica, a) área externa, b) área interna _____ - 31 -
- Figura 8:** Fotografías de la Unidad Académica de Salud y Bienestar, a) área externa, b) área interna _____ - 32 -
- Figura 9:** Fotografías de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, a) área externa, b) área interna _____ - 32 -
- Figura 10:** Ilustración de los puntos de muestreo dentro de la zona de estudio. _____ - 38 -
- Figura 11:** Dispositivo instalado para la medición y registro de parámetros de calidad del aire en la calle Tarqui y Mariscal Lamar _____ - 44 -
- Figura 12:** Estación móvil 6: Dispositivo instalado para la medición y registro de parámetros de calidad del aire _____ - 44 -
- Figura 13:** Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre. _____ - 47 -
- Figura 14:** Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre. _____ - 48 -
- Figura 15:** Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre. _____ - 49 -
- Figura 16:** Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre. _____ - 50 -
- Figura 17:** Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre. _____ - 51 -
- Figura 18:** Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre. _____ - 52 -
- Figura 19:** Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H₂S) en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre. _____ - 53 -
- Figura 20:** Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H₂S) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre. _____ - 54 -
- Figura 21:** Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H₂S) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre. _____ - 55 -
- Figura 22:** Niveles de concentración de ozono (O₃) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre. _____ - 56 -

Figura 23: Niveles de concentración de ozono (O_3) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.	- 57 -
Figura 24: Niveles de concentración de ozono (O_3) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.	- 58 -
Figura 25: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.	- 59 -
Figura 26: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.	- 60 -
Figura 27: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.	- 61 -
Figura 28: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.	- 62 -
Figura 29: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.	- 63 -
Figura 30: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.	- 64 -
Figura 31: Niveles de concentración de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.	- 65 -
Figura 32: Niveles de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.	- 66 -
Figura 33: Niveles de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.	- 67 -
Figura 34: Niveles de concentración de hPa en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.	- 68 -
Figura 35: Niveles de concentración de presión atmosférica en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.	- 69 -
Figura 36: Niveles de concentración de presión atmosférica en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.	- 70 -
Figura 39: Instalación de estaciones móviles. a) Instalación de la estación móvil. b) Estación de monitoreo móvil.	- 91 -
Figura 40: Fotografía de la estación móvil en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales (externa)	- 91 -
Figura 41: Fotografía de la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica (externa)	- 92 -
Figura 42: Fotografía de la estación móvil en la Unidad Académica de Salud y Bienestar, Que se encuentra dentro del comedor de dicha institución (interna)	- 92 -
Figura 43: Ilustración del Excel, datos que se recolecto en la unidad de Salud y Bienestar	- 93 -
Figura 44: Ilustración del Excel, datos que se recolecto en la Unidad Educativa San Francisco-	93 -
Figura 45: Ilustración del procesamiento de los datos obtenidos durante el monitoreo para evidenciar las concentraciones de gases en "ThingSpeak for lot projects"	- 94 -

Figura 46: Ilustración de “ThingSpeak for IoT projects” de los datos que se encontró en la estación - 94 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Principales fuentes de los contaminantes atmosféricos.....	- 8 -
Tabla 2: Niveles de referencia de concentración de contaminantes atmosféricos según las guías de calidad del aire (AQG 2024) de la OMS y sus objetivos intermedios por tiempo de exposición	- 14 -
Tabla 3: Efectos cognitivos y conductuales, de aprendizaje asociados al material particulado (PM)	- 24 -
Tabla 4: Promedio por contaminante en la norma de calidad del aire ambiente	- 35 -
Tabla 5: Concentraciones de contaminantes: alerta, alarma y emergencia, medido en ug/m3	- 36 -
Tabla 6: Descripción de las instituciones educativas seleccionadas como unidades de estudio-	40 -
Tabla 7: Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Educativa San Francisco	- 70 -
Tabla 8: Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Educativa Ciencias Económicas y Empresariales	- 71 -
Tabla 9: Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica.....	- 71 -
Tabla 10: Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Salud y Bienestar.....	- 71 -
Tabla 11: Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción	- 72 -
Tabla 12: Rangos de la OMS por contaminante	- 72 -
Tabla 13: Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de la Unidad Educativa San Francisco	- 73 -
Tabla 14: Índice de calidad del aire por contaminante la estación móvil de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales	- 73 -
Tabla 15: Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica.....	- 74 -
Tabla 16: Índice de calidad del aire por contaminante la estación móvil de la Unidad Académica de Salud y Bienestar	- 74 -
Tabla 17: Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción	- 75 -
Tabla 18: Índice de calidad del aire y valores permisibles en la Unidad Educativa San Francisco .	- 76 -
Tabla 19: Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales	- 76 -
Tabla 20: Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica	- 77 -
Tabla 21: Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Salud y Bienestar.....	- 77 -
Tabla 22: Índice de calidad de aire y valor permisible en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.....	- 78 -

Tabla 23: Comparativa de resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (octubre)- 95

-

Tabla 24: Comparativa de los resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (noviembre)

..... - 96 -

Tabla 25: Comparativa de los resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (diciembre)

..... - 97 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Fotografía de la colocación de las estaciones fijas en la zona de estudio para el monitoreo.	- 91 -
Anexo 2: Fotografías de estaciones móviles utilizadas en el estudio.....	- 91 -
Anexo 3: Fotografía de Manejo de los programas “Excel” y “ThingSpeak for lot projects”	- 93 -
Anexo 4: Resultados de equipos de muestreo.....	- 95 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Según el estudio de la Carga Mundial de Enfermedades (CME), se estima que aproximadamente 4,2 millones de muertes son atribuibles a la contaminación del aire ambiental (Institute for Health Metrics and Evaluation [IHME], 2024). A nivel global, las muertes asociadas con la contaminación atmosférica superan incluso a las causadas por otros factores de riesgo ambiental, como la contaminación del agua, del suelo y los riesgos ocupacionales (Téllez, et al., 2023). En este contexto, la contaminación del aire en interiores se posiciona como el segundo factor de riesgo más importante para la salud ambiental a nivel mundial, mientras que la contaminación del aire exterior ocupa el tercer lugar, evidenciando así la gravedad del problema y su impacto significativo en la salud pública global (Maji et al., 2023).

En cuanto al impacto en la salud, la evidencia demuestra que la inhalación de contaminantes atmosféricos puede provocar diversos problemas respiratorios, como agravamiento del asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), bronquitis, infecciones respiratorias y mortalidad infantil (Rebolledo et al., 2021). Además, las partículas finas (PM_{2.5}), el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O₃) a nivel del suelo son particularmente preocupantes en este sentido (Manisalidis et al., 2020).

Los contaminantes atmosféricos pueden ser peligrosos en especial en la población infantil, que es más vulnerable a la contaminación atmosférica que los adultos debido a varias características fisiológicas, dado que las vías respiratorias son más estrechas, lo que aumenta la probabilidad de obstrucciones e irritaciones. Además, tienen una frecuencia respiratoria más alta y, en proporción a su peso corporal, inhalan una mayor cantidad de aire contaminado. A esto se suma que su sistema inmunológico aún está en desarrollo, lo que reduce su capacidad para defenderse de los agentes nocivos presentes en el ambiente (Yang et al., 2020). Esta situación es particularmente preocupante en entornos escolares, donde los niños, debido a su desarrollo fisiológico, son más

susceptibles a los efectos nocivos de la contaminación del aire, destacando que, la exposición a contaminantes atmosféricos en niños puede tener efectos a largo plazo en su desarrollo físico y cognitivo (Organización Mundial de la Salud, 2021).

Los contaminantes más propensos a afectar el desarrollo cognitivo infantil incluyen el material particulado (PM), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃) y el monóxido de carbono (CO), los cuales pueden dañar el cerebro y el sistema nervioso, además de interferir con el desarrollo de habilidades cognitivas como la atención, la memoria y el aprendizaje (Sayara y Sánchez, 2020).

En este marco, se ha determinado que la exposición a la contaminación del aire puede afectar negativamente el desarrollo y el funcionamiento cognitivo en los niños. Sin embargo, la evidencia disponible sobre este impacto es limitada en países de ingresos bajos y medianos (PIBM), a pesar de que en estas regiones los niveles de contaminación suelen ser más elevados (Carneiro, Cole, & Strobl, 2021). No obstante, en el estudio de Odo et al. (2023), se analizó la asociación entre la exposición a material particulado fino ambiental ($\leq 2,5 \mu\text{m}$ [PM_{2.5}]) e indicadores de desarrollo cognitivo, en un análisis transversal de niños (de 3 a 4 años) en 12 PIBM, obteniendo que, un aumento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{2.5} anual de toda composición, se asoció con mayores probabilidades de retraso cognitivo y un aumento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{2.5} antropogénico, también se asoció con mayores probabilidades de retraso cognitivo, concluyendo que los niños que viven en zonas urbanas tuvieron mayores probabilidades de retraso cognitivo que los niños que viven en zonas rurales.

En el estudio de Milojevic et al. (2021), se evidenció que la exposición a contaminantes atmosféricos se asocia negativamente con el desarrollo cognitivo infantil. De forma tal que, a los cinco años, la presencia de partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el dióxido de azufre (SO₂) y el monóxido de carbono (CO) está relacionada con calificaciones más bajas en pruebas de vocabulario, mientras

que a los siete años la exposición a PM_{2.5}, PM₁₀ y NO₂ se asocia con una menor capacidad en habilidades tales como la construcción de patrones y el razonamiento numérico. Resultados que también demostró Alter et al. (2024), quien a su vez evidenció que los niños expuestos a altos niveles de contaminación del aire obtienen calificaciones más bajas en pruebas cognitivas, lo cual puede repercutir en un menor desempeño escolar y un mayor absentismo escolar.

En este contexto, uno de los factores más estrechamente relacionados con la contaminación ambiental es el tráfico vehicular, el cual representa una fuente significativa de emisiones contaminantes. Según Parra y Espinoza (2020), en la ciudad de Cuenca en Ecuador, esta problemática es especialmente evidente en el centro histórico, donde el tránsito constituye la principal fuente de contaminación del aire, es importante destacando que estos autores señalan que los autobuses que funcionan con diésel generan elevadas emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado fino (PM_{2.5}), representando el 71,2 % y el 42,2 % del total de estos contaminantes, respectivamente.

A pesar de que la normativa ambiental vigente establece límites claros para la concentración de diversos contaminantes atmosféricos, su aplicación y monitoreo en espacios sensibles, como las instituciones educativas, suele ser limitada. En este sentido, la instalación de estaciones móviles de medición representa una alternativa eficaz, ya que permite obtener datos precisos y en tiempo real sobre la calidad del aire en entornos escolares. No obstante, los grandes volúmenes de datos recolectados mediante estaciones de medición muchas veces no son fácilmente interpretables para actores clave como la comunidad científica, los formuladores de políticas, las autoridades regulatorias y, especialmente, el público general (Kerckhoffs et al., 2025).

Como respuesta a esta limitación, se recurre al Índice de Calidad del Aire (ICA), una herramienta útil que traduce las concentraciones de contaminantes en una escala comprensible, permitiendo informar de manera clara y accesible sobre el estado del aire

(Horn y Dasgupta, 2024). Además, esta información puede compararse directamente con los estándares establecidos, facilitando así decisiones fundamentadas por parte de las autoridades y la comunidad educativa (Rosser et al., 2022).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Determinar el índice de calidad del aire en cinco instituciones educativas del centro histórico de la ciudad de Cuenca, mediante estaciones móviles, tendiente a verificar con la normativa ambiental vigente.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Verificar la concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, ozono, PM 2.5, presión atmosférica, UV, mediante estaciones móviles ubicadas en los centros educativos, con la finalidad de establecer el índice de la calidad del aire en las instituciones de educación.
- b) Establecer el índice de la calidad del aire en las escuelas, utilizando la concentración de contaminantes registrada con estaciones móviles para comparar la normativa ambiental vigente, con los centros educativos del centro histórico de Cuenca.
- c) Evaluar la variabilidad temporal de los contaminantes atmosféricos (monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, ozono y PM 2.5) en el entorno de los centros educativos del centro histórico de Cuenca, a través del análisis de datos recolectados por estaciones móviles, para identificar patrones de contaminación y su relación con la calidad del aire, comparando estos resultados con la normativa ambiental vigente y proponiendo recomendaciones para mejorar la calidad del aire en estas instituciones.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

La calidad del aire es una inquietud en aumento a escala mundial, particularmente en zonas urbanas donde las actividades humanas y los procesos industriales producen emisiones contaminantes que perjudican la salud pública y el medio ambiente. De acuerdo con la OMS (2024) cerca de 7 millones de fallecimientos prematuras se atribuyen cada año a la contaminación atmosférica. La valoración constante de la calidad del aire se torna esencial en áreas de gran población, como es el centro histórico de Cuenca, donde se encuentran tráfico de vehículos, actividad comercial, centros educativos y turismo (Tenecota Quezada et al., 2024).

El seguimiento convencional se lleva a cabo a través de estaciones permanentes; no obstante, el empleo de estaciones móviles ha cobrado importancia debido a su versatilidad y habilidad para abarcar áreas más extensas en un periodo de tiempo reducido. Estas estaciones emplean sensores portátiles, ajustados conforme a estándares internacionales, que registran las concentraciones de contaminantes en tiempo real (Salvador-Adriano et al., 2024).

Beneficios del seguimiento móvil:

- a) Acceso activo en sectores concretos como escuelas o mercados.
- b) Mayor disponibilidad y reducido costo en comparación con estaciones permanentes.
- c) Componente perfecto para campañas de sensibilización y educación ecológica.

2.1 Contaminación del aire

La contaminación atmosférica se produce cuando la presencia de sustancias en la atmósfera alcanza concentraciones adversas para la salud humana y el medio ambiente. Los contaminantes atmosféricos pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa, y se originan tanto en procesos naturales como antropogénicos (Wang et al., 2022). La

contaminación atmosférica natural proviene de incendios forestales, erosión eólica, erupciones volcánicas, evaporación de compuestos orgánicos, dispersión de polen y radiactividad natural, mientras que la contaminación atmosférica antropogénica se relaciona principalmente con la quema de combustibles fósiles, procesos industriales, transporte, actividades urbanas, actividades agrícolas y eliminación de residuos (Nuyen et al., 2023).

La contaminación atmosférica constituye un riesgo significativo para la salud humana, a la par que perjudica al medio ambiente, debido a la afectación por la disminución de la visibilidad y la intercepción de la luz solar. La producción de lluvia ácida y el agotamiento de la capa de ozono, el deterioro de los bosques, la agricultura y la vida silvestre, así como la inducción del cambio climático (Ivanova, 2020).

Las investigaciones de análisis cualitativo sobre los factores que afectan la calidad del aire desde la perspectiva del medio ambiente, la sociedad y la actividad económica, consideran diversos factores, como la incineración de residuos, las emisiones de gases de escape de vehículos, el crecimiento poblacional, la combustión de carbón, la emisión de gases industriales de desecho y el polvo de gases de chimeneas industriales (Lu et al., 2020).

Matilla et al. (2023) señala que, la información disponible confirma que la contaminación del aire es consecuencia de la degradación ambiental, provocada principalmente por el crecimiento de la población urbana, las actividades industriales y el parque automotor. Por lo que, la emisión de gases industriales es la principal causa de la contaminación del aire en los países en desarrollo. Según Liu et al. (2022) entre las principales emisoras de contaminantes del aire están las plantas termoeléctricas y las industrias manufactureras son las mayores fuentes de contaminación del aire urbano.

Durante la última década ha habido desarrollos significativos en el campo de la investigación sobre la calidad del aire que abarcan mejoras en la caracterización de fuentes

y emisiones de contaminación del aire, nuevas tecnologías de medición que ofrecen la posibilidad de sensores de bajo costo, avances en predicción y pronóstico de la calidad del aire, comprensión de las interacciones con la meteorología y el clima, y evaluación y gestión de la exposición. Sin embargo, no ha habido una revisión más amplia y completa de los desarrollos recientes que impulsen los límites de la investigación en calidad del aire. Esto se reconoció como una gran brecha en la literatura en la última Conferencia Internacional sobre Calidad del Aire – Ciencia y Aplicación celebrada en línea debido a las restricciones por la COVID-19 durante el 18–26 de mayo de 2020 (Sokhi et al., 2022).

2.1.1 Principales fuentes de los contaminantes atmosféricos

De acuerdo con Manisalidis et al. (2020), la contaminación atmosférica de origen antropogénico constituye una fuente perjudicial para la salud pública a nivel mundial, responsable de aproximadamente 9 millones de muertes anuales y la misma se clasifica en función de las fuentes que los generan. En este sentido, los autores destacan que las fuentes principales son la emisión de contaminantes desde centrales eléctricas, refinerías y petroquímicas, industrias químicas y de fertilizantes, plantas metalúrgicas y otras industrias, y finalmente, incineración municipal; clasificados de la siguiente manera:

- a) Fuentes de área: incluyen actividades domésticas de limpieza, tintorerías, imprentas y estaciones de servicio.
- b) Fuentes móviles: incluyen automóviles, coches, ferrocarriles, aviones y otros tipos de vehículos.
- c) Fuentes naturales: incluyen, como se mencionó anteriormente, desastres físicos como incendios forestales, erupciones volcánicas, tormentas de polvo y quemadas agrícolas.

En la tabla 1, se presentan las contribuciones naturales y antropogénicas a las emisiones de contaminantes atmosféricos:

Tabla 1:
Principales fuentes de los contaminantes atmosféricos

Fuentes de los contaminantes atmosféricos	Entorno de exposición	Descripción general
Uso de energía doméstica	Residencial y doméstico	Uso de leña, queroseno u otros combustibles para cocinar, calefaccionar o iluminar los hogares, especialmente en zonas rurales o con acceso limitado a energía limpia.
Quema de residuos sólidos al aire libre	Residencial y comunitario	Eliminación de residuos mediante quema en espacios abiertos, a menudo sin separación adecuada de materiales contaminantes como papel, alimentos o plásticos.
Procesos industriales y ocupacionales contaminantes	Industrial y ocupacional	Actividades como incineración, generación eléctrica, trabajos con maquinaria, fundición, reciclaje y construcción que generan emisiones de gases, polvo y metales pesados.
Transporte terrestre y marítimo	Urbano y costero	Emisión de contaminantes por vehículos motorizados y barcos, así como suspensión de polvo y partículas contaminantes por el tránsito y la actividad en puertos y carreteras.
Prácticas agrícolas contaminantes	Rural y agrícola	Quema planificada de residuos de cultivos, como hojas de caña, para facilitar la cosecha o reducir el volumen de materiales.
Manejo de residuos institucionales	Institucional (escuelas, hospitales, oficinas públicas)	Incineración de residuos médicos, materiales en cuarentena y basura institucional mediante sistemas alimentados con diésel u otras fuentes de energía contaminantes.

Fuente: Hilly et al. (2024)

Un requisito fundamental para el éxito de las estrategias de reducción de la contaminación atmosférica es comprender el papel de las fuentes de contaminación atmosférica en cuanto a su intensidad, caracterización química, distribución espacial y

variación temporal, así como de su transporte y procesamiento atmosférico (Noël et al., 2021). En los datos de la contaminación atmosférica, se observa típicamente una compleja combinación de contribuciones de diferentes fuentes de contaminación. Es necesario desentrañar estas contribuciones de las fuentes antes de poder establecer estrategias de reducción eficaces dirigidas a fuentes específicas. Por consiguiente, el análisis debe estructurarse en dos temas principales: (i) inventarios de emisiones y preprocesamiento de emisiones para aplicaciones de modelos, y (ii) métodos y estudios de distribución de fuentes (Zhang et al., 2022). Según la NASA, durante el confinamiento por la COVID-19, el nivel de ICA fue inferior al normal y la concentración de contaminantes como el dióxido de nitrógeno en el aire atmosférico fue menor (Sokhi et al., 2022).

2.1.2 Principales contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos son sustancias presentes en el aire en concentraciones que pueden dañar a los seres humanos, las plantas y el medio ambiente (Castro, 2022). Algunos contaminantes tienen orígenes tanto naturales como antropogénicos. Las emisiones antropogénicas provienen del transporte, las actividades industriales, la agricultura y la producción de energía (Zeeshan et al., 2024).

Los principales contaminantes atmosféricos son:

- a) Material Particulado (MP): La contaminación por material particulado consiste en partículas muy pequeñas líquidas y sólidas suspendidas en el aire, que pueden incluir humo, hollín, polvo, sales, ácidos y metales (Faherty et al., 2025). Este material particulado puede formarse cuando los gases emitidos por industrias y vehículos motorizados sufren reacciones químicas en la atmósfera (Khajeamiri et al., 2021). La clasificación del material particulado es en PM_{2.5} y PM₁₀, en el caso del primero consiste en partículas de 10 micrones o menos de diámetro, aproximadamente 1/7 del grosor de un cabello humano (Abidin et al., 2025). Entre las principales fuentes de PM₁₀ incluyen operaciones de trituración o molienda;

polvo levantado por vehículos en caminos; estufas de leña y chimeneas; polvo de construcciones, vertederos y agricultura; incendios forestales y quema de desechos; fuentes industriales; polvo arrastrado por el viento de tierras abiertas; y reacciones químicas y fotoquímicas atmosféricas (Meo et al., 2024). En el caso del material particulado fino (PM_{2.5}) tiene 2.5 micrones o menos de diámetro, lo que equivale a aproximadamente 1/28 del diámetro de un cabello humano (Chen et al., 2022). El PM_{2.5} se origina en la combustión de combustibles (por ejemplo, de vehículos, generación eléctrica e instalaciones industriales), chimeneas residenciales y estufas de leña. También puede formarse en la atmósfera a partir de gases como óxidos de azufre, NO_x y VOCs (Sangkham et al., 2024).

- b) Dióxido de azufre (SO₂): es un gas incoloro y picante formado principalmente por la combustión incompleta de combustibles fósiles que contienen azufre. Las principales fuentes de SO₂ son el carbón y el petróleo utilizados en plantas de energía e industrias; por lo tanto, los niveles más altos se encuentran generalmente cerca de grandes complejos industriales. En años recientes, las concentraciones de SO₂ han disminuido debido a controles más estrictos sobre emisiones de fuentes estacionarias y límites al contenido de azufre en los combustibles.
- c) Monóxido de carbono (CO): es un gas incoloro e inodoro formado por la combustión incompleta de hidrocarburos o combustibles fósiles. Se emite casi exclusivamente por vehículos motorizados, plantas eléctricas, refinerías, calderas industriales, barcos, aviones y trenes. En áreas urbanas, como la ubicación de la acción propuesta, el escape de automóviles representa la mayor parte de las emisiones de CO y es un contaminante poco reactivo que se disipa relativamente rápido; por ello, sus concentraciones dependen del tráfico y las condiciones meteorológicas locales, como la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica. Las concentraciones más altas ocurren durante los meses fríos debido a las inversiones térmicas.
- d) Dióxido de nitrógeno (NO₂): es un gas marrón muy reactivo presente en todas las atmósferas urbanas. Se forma por la oxidación del óxido nítrico (NO), que es

incolore e inodoro. Los NOx juegan un papel importante junto con los VOCs en la formación del ozono (O₃) y son precursores de la lluvia ácida. Las principales fuentes son el transporte y la combustión de combustibles en instalaciones estacionarias.

- e) Ozono (O₃): es un gas reactivo, tóxico y de olor fuerte compuesto por tres átomos de oxígeno. Es un contaminante secundario que se forma por la acción de la luz solar sobre precursores como NOx y VOCs. Se forma especialmente en verano y principios de otoño con baja velocidad del viento, altas temperaturas y cielos despejados. Hay dos tipos de ozono: el estratosférico ("bueno"), que protege contra la radiación ultravioleta, y el troposférico ("malo"), que se encuentra a nivel del suelo y es dañino.
- f) Contaminantes peligrosos del aire (CPA): Una sustancia se considera tóxica si tiene el potencial de causar efectos adversos para la salud humana, incluyendo el aumento del riesgo de cáncer o efectos agudos y/o crónicos no cancerígenos. Ejemplos de CPA incluyen ciertos hidrocarburos aromáticos y clorados, ciertos metales, compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y asbesto y se generan por numerosas fuentes, incluyendo fuentes estacionarias como tintorerías, estaciones de servicio, fuentes de combustión y laboratorios; fuentes móviles como automóviles; y fuentes de área como vertederos e instalaciones de petróleo y gas.

2.1.3 Definición de contaminación del aire en interiores

La contaminación del aire en interiores se refiere a la presencia de sustancias nocivas en espacios cerrados como viviendas, oficinas, escuelas y hospitales (Gibson, et al., 2025). A diferencia de la contaminación atmosférica exterior, esta forma de polución ocurre en ambientes donde las personas pasan entre el 80 y el 90% de su tiempo, lo que la convierte en un riesgo significativo para la salud pública (Yang, et al., 2025).

Los contaminantes del aire interior provienen de múltiples fuentes, entre las que se puede mencionar a la combustión doméstica debido a estufas, chimeneas y tabaco (Awad & Jung, 2021). Los materiales de construcción y mobiliario en los que se encuentra las pinturas barnices, adhesivos, alfombras y muebles que liberan compuestos orgánicos volátiles (COV). Los productos de limpieza y desinfección como aerosoles, detergentes y ambientadores, así como la actividad humana en la cocción de alimentos y la presencia de mascotas. La ventilación deficiente agrava el problema, al impedir la renovación del aire y favorecer la acumulación de contaminantes (Oyarzún & Valdivia, 2021).

La exposición prolongada a contaminantes interiores puede desencadenar o agravar diversas patologías, especialmente en grupos vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares (Cantú, 2023). Los efectos ocasionados por este tipo de contaminación son la irritación de ojos, nariz, garganta, síntomas respiratorios como tos, asma o bronquitis, trastornos cardiovasculares, impactos neurológicos y riesgo carcinogénico (Oyarzún & Valdivia, 2021).

2.2 Calidad del aire

La calidad del aire se refiere al grado en que el aire está libre de contaminantes que puedan afectar la salud humana y el medio ambiente y se evalúa mediante el Índice de Calidad del Aire (ICA), que clasifica la concentración de diversos contaminantes en una escala que va desde "buena" hasta "peligrosa" (Sokhi et al., 2022).

Cuando se monitorea la contaminación atmosférica ambiental en un sitio específico durante un período predeterminado (por ejemplo, 1 o 24 horas), los resultados reportados internacionalmente se presentan como ICA; con una escala de calificación que va desde bueno hasta muy crítico y estos criterios permiten calificar el nivel de riesgo con el fin de implementar medidas regulatorias obligatorias e informar y advertir a la población sobre los peligros asociados con la exposición diaria a niveles de contaminación (Agüera et al., 2022). La calidad del aire puede monitorearse y gestionarse mediante el mapeo de la

contaminación atmosférica basado en SIG (interpolación), que ha demostrado ser una herramienta de visualización eficaz que puede ayudar a localizar focos de contaminación y posibles fuentes (Zeeshan et al., 2024).

Dado que los límites establecidos de contaminación del aire se superan regularmente en muchas zonas urbanas del mundo, los problemas de calidad del aire están hoy fuertemente centrados en fenómenos de proximidad a emisores como el tráfico, o ciertas actividades industriales presentes en zonas urbanas (Salas, 2023). No obstante, la complejidad del tema exige también una mejor comprensión de las fuentes regionales y de largo alcance, incluyendo aquellas más difusas o locales específicos, como la combustión de leña en viviendas o el tráfico marítimo, que contribuyen de manera significativa a la exposición diaria de los habitantes urbanos (Patil et al., 2020).

En este sentido, el enfoque aplicado no debe limitarse a lo local, pues la gestión de la calidad del aire en entornos urbanos implica la consideración de escalas múltiples que trascienden los límites de la ciudad. Dichas escalas abarcan factores económicos, sociales y logísticos, así como la interacción entre las distintas fuentes de contaminantes y su transporte a nivel regional e incluso global (Sokhi et al., 2022).

Es así que una estación de monitoreo es una herramienta fundamental para evaluar la calidad del aire, dado que permiten realizar un seguimiento temporal y espacial en diferentes puntos de muestreo y las cuales están equipadas con sensores calibrados, registran datos en tiempo real y son clave en zonas donde las estaciones fijas no alcanzan una cobertura suficiente (Choi et al., 2022).

2.2.1 Definición del índice de calidad del aire (ICA)

El ICA es un número indicador que se utiliza para informar sobre la calidad del aire en una zona o localidad, ya sea por hora o diariamente y su principal propósito es proteger la salud pública, especialmente la de las personas sensibles como los ancianos, los niños y los asmáticos (Agüera et al., 2022). Este índice es empleado por agencias regulatorias

para informar a la población sobre cuán limpio o contaminado está el aire en su entorno y los efectos que esto puede tener en la salud y es utilizado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) para informar diariamente sobre las condiciones del aire, permitiendo que las poblaciones sensibles puedan tomar medidas preventivas (Pons-Jiménez et al., 2011).

Las directrices mundiales de la OMS (2024), sobre la calidad del aire ofrecen orientación global sobre los umbrales y límites para los principales contaminantes atmosféricos que suponen riesgos para la salud por ello establecen los niveles AQG (*Air Quality Guidelines*). Estas directrices son de alta calidad metodológica y se desarrollan mediante un proceso de toma de decisiones transparente y basado en la evidencia. Además de los valores de referencia, las directrices mundiales de la OMS, establece objetivos provisionales para promover una transición gradual de concentraciones altas a bajas y sus beneficios para la salud, los niveles AQG se presentan en la tabla 2:

Tabla 2:

Niveles de referencia de concentración de contaminantes atmosféricos según las guías de calidad del aire (AQG 2024) de la OMS y sus objetivos intermedios por tiempo de exposición

Contaminante	Tiempo de promediado	Objetivo Intermedio 1	Objetivo Intermedio 2	Objetivo Intermedio 3	Objetivo Intermedio 4	Nivel AQG
PM _{2.5} , µg/m ³	Anual	35	25,0	15,0	10,0	5
PM _{2.5} , µg/m ³	24 horas	75	50,0	37,5	25,0	15
PM ₁₀ , µg/m ³	Anual	70	50,0	30,0	20,0	15
PM ₁₀ , µg/m ³	24 horas	150	100,0	75,0	50,0	45
O ₃ , µg/m ³	Temporada	100	70,0			60
O ₃ , µg/m ³	8 horas	160	120,0			100
NO ₂ , µg/m ³	Anual	40	30,0	20,0		10
SO ₂ , µg/m ³	24 horas	125	50,0			40
CO, mg/m ³	24 horas	7				4

Fuente: OMS (2024).

El ICA se calcula utilizando 12 parámetros (contaminantes atmosféricos), a saber, NO₂ (dióxido de nitrógeno), SO₂ (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono), O₃ (ozono), PM₁ (partículas con un diámetro de 10 micras o menos), PM₂ (partículas con un diámetro de 2,5 micras o menos), NH₃ (amoníaco), Pb (plomo), Ni₂ (níquel), As (arsénico), benzo(a) pireno y benceno y generalmente, se basa en los contaminantes criterio (es decir, PM₁, PM₂, SO₂, NO₂, CO y O₃), sin embargo, la selección de contaminantes depende de los objetivos del ICA, el periodo promedio, la disponibilidad de datos, la frecuencia de monitoreo y los métodos de medición (Patil et al., 2020).

El índice refleja el impacto potencial de la calidad del aire sobre la salud. Por este motivo, se le asigna la peor categoría en términos de calidad del aire de cualquiera de los contaminantes que se tienen en consideración para su estimación. Dentro de la Figura 1, se puede observar la categoría de cada índice, así como los valores referenciales medios en µg/m³ para cada contaminante atmosférico.

SO ₂		PM _{2,5}		PM ₁₀		O ₃		NO ₂		CATEGORÍA DEL ÍNDICE
0	100	0	10	0	20	0	50	0	40	BUENA
101	200	11	20	21	40	51	100	41	90	RAZONABLEMENTE BUENA
201	350	21	25	41	50	101	130	91	120	REGULAR
351	500	26	50	51	100	131	240	121	230	DESFAVORABLE
501	750	51	75	101	150	241	380	231	340	MUY DESFAVORABLE
751-1250		76-800		151-1200		381-800		341-1000		EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE

Figura 1: Contaminantes, colores y criterios relacionados al índice de calidad del aire

Fuente: Eurofins Environment Testing (2024)

2.2.3 Características y aplicaciones del ICA

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es una herramienta fundamental para evaluar el estado del ambiente y su repercusión en la salud humana y generalmente, niveles iguales o inferiores a 100 se consideran aceptables (Warthon, et al., 2023). Por encima de los tiempos establecidos, el aire empieza a representar un riesgo, afectando primero a los grupos más vulnerables y luego, conforme aumentan los valores, a la población en general (Tarazona-Ocampo et al., 2020).

Según Priti y Kumar, (2022) los principales índices de calidad del aire son:

- a) Índices de contaminante único (Single-pollutant / PSI estilo EE.UU.): Estos índices se basan en el sub-índice más alto de entre varios contaminantes (por ejemplo, SO_2 , CO , $\text{PM}_{2,5}$, O_3), destacando el contaminante dominante en un momento dado. Su simplicidad favorece la prontitud en la comunicación, pero ocultan la exposición combinada a múltiples contaminantes y pueden subestimar la calidad del aire restante.
- b) Índices de agregación de múltiples contaminantes (Multi-pollutant): Integran aportes de todos los contaminantes considerados (PM , NO_2 , SO_2 , CO , O_3) usando agregación matemática (suma, raíz de suma de cuadrados, funciones lineales/no lineales), proporcionando una visión más completa de la calidad del aire. Sin embargo, pueden ser complejos y presentar efectos de “eclipsing” o “ambigüedad” en los resultados.
- c) Índices basados en salud (health-based AQHI, RAQI, API-estadísticos): Ejemplos son el AQHI de Canadá o RAQI, que incorporan datos epidemiológicos (riesgo de mortalidad, años de vida perdidos) y ponderan contaminantes según impacto en la salud. Estos modelos suelen superar al AQI tradicional en la predicción de efectos sanitarios, pero requieren datos complejos y modelos más sofisticados.

- d) Índices agrupados espacialmente (spatial-aggregated AQI): Diseñados para integrar información de múltiples estaciones en una misma zona, ponderando según población o área. Así reflejan mejor la calidad del aire a nivel comunitario, aunque necesitan una red representativa de monitoreo.
- e) Índices basados en episodios / valores extremos: Modelos como EVI o DAQI están diseñados para reflejar tanto niveles diarios como eventos de contaminación agudos, utilizando agregación de valores extremos y métricas de depreciación. Son útiles para capturar efectos a corto plazo, aunque implican mayor complejidad.

El ICA se divide en seis categorías de calidad, cada una asociada a un nivel de preocupación para la salud (Aguera et al., 2022). A cada categoría se le asigna un color específico, lo que permite a la ciudadanía identificar fácilmente si la calidad del aire en su entorno ha alcanzado niveles perjudiciales (Salvador-Adriano et al., 2024):

- a) Bueno (0–50): Calidad del aire satisfactoria.
- b) Moderado (51–100): Calidad aceptable; puede haber riesgo para personas sensibles.
- c) No saludable para grupos sensibles (101–150): Riesgo para personas con enfermedades respiratorias o cardiovasculares.
- d) No saludable (151–200): Riesgo para toda la población.
- e) Muy no saludable (201–300): Riesgo significativo para la salud.
- f) Peligroso (>300): Emergencia sanitaria.

Estas categorías permiten a las autoridades emitir alertas sanitarias y diseñar políticas públicas relacionadas con la exposición a contaminantes, destacando que, para predecir la calidad del aire de manera eficiente es fundamental para la planificación de la salud pública, especialmente en países en desarrollo con recursos de monitoreo limitados. Los modelos tradicionales de pronóstico del ICA a menudo se basan en una amplia gama

de contaminantes y parámetros meteorológicos, lo que aumenta la complejidad y el costo (Abdelmalek et al., 2025).

Como menciona Elbestar et al. (2024), las estaciones móviles pueden usarse para monitorear la calidad del aire en exteriores e interiores, muchos también pueden usarse para monitorear la exposición personal de una persona que los use; La exposición de cada persona a la contaminación atmosférica será única para cada una y dependerá de numerosos factores, como su ubicación geográfica, patrones de tiempo-actividad, ocupación, género y nivel socioeconómico.

Según Sokhi et al. (2022) la recopilación colectiva de mediciones en tiempo sobre el Índice de Calidad del aire por medio de sensores es útil para obtener información acerca de la distribución de contaminantes (Figura 3) a la contaminación del aire y para apoyar decisiones relacionadas con medidas de protección de la salud personal, como información sobre las zonas menos contaminadas para actividades al aire libre. A través de esta información basada en datos, los ciudadanos pueden reconocer áreas altamente contaminadas, lo cual es especialmente importante para los grupos sensibles.

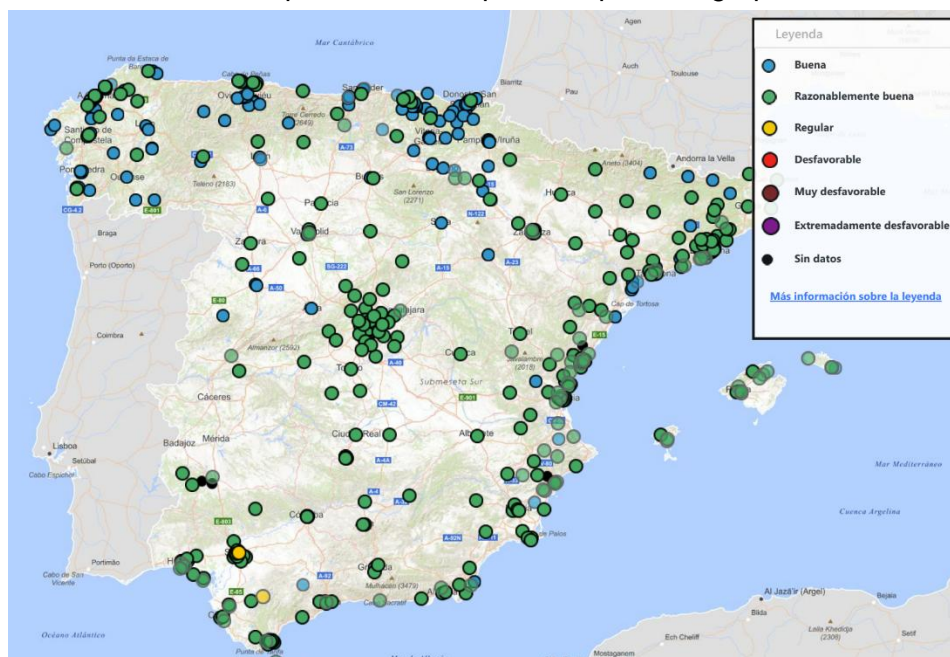


Figura 3: Ejemplo de mediciones en tiempo real sobre el Índice de Calidad del aire

Fuente: Junta de Andalucía (2022)

2.3 Problemas de salud asociados a la mala calidad del aire

La exposición a contaminantes atmosféricos tiene efectos adversos significativos en la salud humana, destacando que la contaminación del aire es responsable de millones de muertes prematuras cada año (Hilly, et al., 2024). En niños, la exposición a aire contaminado está asociada con un mayor riesgo de desarrollar asma, infecciones respiratorias y reducción del desarrollo pulmonar (Milojevic et al., 2021). Además, estudios han vinculado la contaminación del aire con problemas cognitivos y de comportamiento en la infancia.

La evidencia epidemiológica muestra que la exposición a la contaminación del aire ambiental, incluyendo material particulado (PM) con un diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$ y $\leq 2,5 \mu\text{m}$ (PM10 y PM2.5, respectivamente), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y dióxido de azufre (SO₂), está asociada con una variedad de enfermedades no transmisibles (ENT) (Medrano et al., 2022). Entre estos contaminantes, el PM ambiental ha sido clasificado como un riesgo humano, para el cáncer de pulmón y en general, la contaminación del aire por PM se clasifica como el principal factor de riesgo global para la enfermedad, resultando en un estimado del 8% del total de años de vida ajustados por discapacidad, y está asociada con presión arterial sistólica alta, riesgos exacerbados por fumar, bajo peso al nacer y gestación corta (Huang et al., 2024).

La contaminación del aire exterior es una mezcla de sustancias tóxicas con efectos conocidos sobre la salud cardiovascular y respiratoria (Miller, 2022). En este sentido, evidencia emergente sugiere que la contaminación del aire también puede afectar directamente (por ejemplo, mediante la translocación de partículas ultrafinas contaminantes a través del nervio olfativo nasal) o indirectamente (por ejemplo, a través de señales inflamatorias desde otros sistemas del cuerpo, particularmente los pulmones) al sistema nervioso central (SNC) (Castro, 2022). La exposición a la contaminación del aire, por tanto, se ha implicado en diversos daños al sistema respiratorio y, en el caso de los

niños, afectaciones globales en la integridad estructural cerebral, la proliferación neuronal y las cascadas de señalización neuronales (Chandra et al., 2022).

En lo concerniente con las variables meteorológicas, el viento actúa como un agente de dispersión de contaminantes, reduciendo su concentración en áreas emisoras, pero también puede transportarlos a regiones lejanas, afectando a poblaciones no expuestas directamente a las fuentes de emisión (Awad & Jung, 2021). En condiciones de calma atmosférica o vientos débiles, especialmente en zonas urbanas o valles, los contaminantes tienden a acumularse, generando episodios de mala calidad del aire que incrementan el riesgo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Por su parte, la temperatura influye tanto en la formación como en la retención de contaminantes. Las altas temperaturas favorecen la formación de ozono troposférico, un contaminante secundario que se intensifica con la radiación solar y que puede agravar afecciones como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (Cantú, 2023).

En el caso de la salud infantil, la mala calidad del aire representa una amenaza crítica, debido a que los niños son vulnerables debido a su fisiología y mayor tasa de inhalación (EPA, 2021). La exposición a contaminantes como el material particulado (PM_{25} y PM_{10}), dióxido de nitrógeno (NO_2) y ozono troposférico (O_3) se ha vinculado con un aumento en la incidencia de infecciones respiratorias agudas, asma infantil y exacerbaciones de enfermedades como la bronquitis y la EPOC (Warthon, et al., 2023). Además, estudios recientes han evidenciado que la exposición prenatal y postnatal a estos contaminantes puede afectar el desarrollo neurológico, provocando alteraciones cognitivas, déficit de atención e incluso trastornos del espectro autista (Rebolledo et al., 2021). La Organización Mundial de la Salud estima que más de 230.000 muertes anuales en menores de cinco años están relacionadas con la exposición a aire contaminado, lo que subraya la urgencia de implementar políticas de mitigación y protección ambiental centradas en la infancia (OMS, 2018).

Han sido la evidencia científica la que ha demostrado que la mala calidad del aire cambió el rendimiento cognitivo, sobre todo para niños y adolescentes que pasan varias horas al día en colegios. Los contaminantes atmosféricos más presentes en las áreas urbanas (material particulado fino, PM2.5 y PM10, dióxido de nitrógeno, NO₂, monóxido de carbono, CO u ozono troposférico, O₃) entran en el organismo a través del tracto respiratorio y podrán llegar al cerebro mediante el sistema circulatorio, produciendo así inflamación sistémica, estrés oxidativo, menor oxigenación del cerebro, factores estos que modifican las funciones neurocognitivas. (Cantú, 2023)

La exposición prolongada a estos compuestos ha sido informada en múltiples trabajos de investigación que también asocian los déficits de memoria de trabajo, de atención mantenida, de velocidad de procesamiento, de capacidad de resolver problemas, así como de tomar decisiones. Para el caso escolar estos déficits significan un rendimiento académico disminuido, una dificultad en concentrarse y una mayor fatiga mental en las actividades escolares. Las publicaciones más recientes incluso han descrito que exposiciones cortas a niveles de contaminantes moderados dan lugar a disminuciones medibles en la eficiencia cognitiva en la población infantil, dando cuenta de la sensibilidad del pensamiento para las variaciones de calidad del aire (Castro, 2022).

En el caso de las instituciones escolares situadas en centros históricos o zonas de gran densidad de tráfico, la situación se hace perentoria, ya que dichas zonas suelen tener altas concentraciones de gases y material particulado (grande y fino) como consecuencia del tráfico, lo que proporciona un mayor riesgo para que el alumnado y el profesorado puedan sufrir de déficits en el pensamiento. Por esa razón, realizar una evaluación de la calidad del aire en el contexto escolar a partir de estaciones móviles y del cumplimiento de la normativa ambiental, se convierte en un objetivo esencial para poder garantizar contextos saludables y oportunos para el aprendizaje (Lozano et al., 2025).

La mala calidad del aire consiste en un elemento fundamental que incide de lleno en el crecimiento del desarrollo pulmonar, especialmente en niños y adolescentes, dado que su estructura respiratoria todavía está en plena realización de su crecimiento y maduración. La exposición continua a ciertos contaminantes como el material particulado (PM2.5 y PM10), el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂), los cuales forman parte de los compuestos orgánicos volátiles, etc., porque pueden alterar los procesos que conducen a la creación y la expansión de la estructura alveolar (Cantú, 2023). Durante la infancia, los pulmones recorren etapas de crecimiento específicas que incluyen la proliferación alveolar, el desarrollo de la capacidad vital, el desarrollo y maduración de la respuesta inmunitaria respiratoria, entre otras.

En contraposición, la inhalación de aire contaminado representa una limitación de estas etapas y se vincula a los efectos derivados de la inflamación crónica de la vía aérea, al estrés oxidativo de la vía aérea y a la inflamación de la vía aérea. Estos efectos no sólo afectan la salud respiratoria a corto plazo, sino que también generan situaciones de carácter perdurable en la etapa adulta (mayor riesgo de enfermedades respiratorias crónicas, menor rendimiento físico, etc.) (Palacios & Espinoza, 2014). Una de las tantas enfermedades, que causa la mala calidad del aire es el asma, arrojando ciertos síntomas como son los episodios de dificultad respiratoria, tos persistente, y presión torácica, la misma que se puede agravar lo que se requiere atención médica urgente para lograr controlar los cuadros críticos que pueden presentarse sin previo aviso.

Por lo tanto, la contaminación tiene efectos cognitivos y conductuales, de aprendizaje, los cuales se describen en la Tabla 3:

Tabla 3:

Efectos cognitivos y conductuales, de aprendizaje asociados al material particulado (PM)

Área Afectada	Efecto Identificado	Relación con Material Particulado (PM)
Desarrollo cerebral	Daño en el desarrollo del SNC, aumento de marcadores neuro inflamatorios	Asociado a TRAP con alta presencia de PM2.5
Estructura cerebral	Alteraciones en estructura, función y metabolismo cerebral	Relacionadas con PM2.5, según revisiones sistemáticas
Rendimiento académico	Bajo GPA, menor capacidad de resolución de problemas, peor desempeño general	Vinculado a exposición crónica a PM2.5 en escuela y hogar
Memoria y funciones ejecutivas	Reducción en crecimiento de memoria de trabajo y habilidades ejecutivas	PM2.5 durante trayectos escolares y exposiciones prolongadas
Atención y aprendizaje	Déficit atencional, problemas de aprendizaje	PM2.5 asociado a mayores efectos en niños, PM1 y PM10 también implicados
Salud mental	Síntomas de depresión, ansiedad, trastornos psicóticos	PM2.5 y otras fracciones finas vinculadas a estos síntomas
Diferencias por sexo	Afectaciones más fuertes en niños (memoria/aprendizaje) y niñas (atención)	PM2.5 mostró efectos diferenciados según el sexo

Fuente: Roche et al. (2024)

Es así que en función a los problemas de salud asociados con una mala calidad de aire, se presentan, los siguientes contaminantes y sus efectos (Ministerio del Ambiente, 2011; OMS, 2021):

- Monóxido de carbono (CO): El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce por combustión incompleta. Al inhalarse, se une a la hemoglobina formando carboxihemoglobina, lo que reduce la capacidad de transporte de oxígeno en

sangre. Según la OMS, exposiciones superiores a 25 ppm por 8 horas pueden causar cefaleas, mareos, confusión y, en casos extremos, pérdida de conciencia

- Dióxido de carbono (CO₂): Aunque no es tóxico en concentraciones ambientales normales, niveles superiores a 1000 ppm en interiores afectan el confort y la función cognitiva. Exposiciones superiores a 2500 ppm pueden reducir significativamente la toma de decisiones y la concentración en estudiantes.
- Dióxido de nitrógeno (NO₂): El NO₂ es un irritante respiratorio que puede provocar inflamación bronquial, aumento de la reactividad pulmonar y exacerbación de enfermedades como el asma. Exposiciones crónicas incluso por debajo de los límites normativos pueden generar efectos acumulativos en niños.
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S): Este gas, caracterizado por su olor a huevo podrido, puede causar irritación ocular, cefaleas y alteraciones neurológicas en concentraciones superiores a 10 ppm. Aunque en ambientes escolares suele estar por debajo de este umbral, su presencia puede indicar problemas de saneamiento o ventilación.
- Ozono (O₃): El ozono troposférico es un oxidante potente que afecta las vías respiratorias. La exposición a concentraciones superiores a 100 µg/m³ puede provocar tos, dificultad respiratoria y disminución de la función pulmonar, especialmente en niños y personas con enfermedades respiratorias.
- Partículas finas (PM2.5): Las PM2.5 penetran profundamente en los pulmones y pueden ingresar al torrente sanguíneo. Están asociadas con enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón y reducción de la función cognitiva.
- Presión atmosférica: Aunque no es un contaminante per se, la presión atmosférica influye en la dispersión de contaminantes y en la oxigenación. Cambios bruscos pueden afectar a personas con enfermedades cardiovasculares o respiratorias.
- Radiación ultravioleta (UV): La exposición excesiva a radiación UV puede causar quemaduras solares, envejecimiento prematuro de la piel y cáncer cutáneo. La OMS clasifica valores superiores a 11 en el índice UV como “extremos”, recomendando protección solar, ropa adecuada y evitar la exposición directa en horas pico.

2.4 Contaminación ambiental y rendimiento académico

El propósito principal de una escuela es brindar a los niños un entorno óptimo para su aprendizaje y desarrollo. Las escuelas siempre han sido un segundo hogar para los alumnos, quienes pasan la mayor parte de su tiempo en interiores mientras asisten a la

escuela, aproximadamente el 12% de su tiempo dentro de las aulas (Zagatti et al., 2020). Las escuelas se encuentran entre las infraestructuras sociales críticas de la sociedad que a menudo, son el foco de la actividad social de los niños (Carneiro et al., 2021). Las aulas están más congestionadas que otros lugares de trabajo, con una densidad de ocupación aproximadamente cuatro veces mayor que la de los edificios de oficinas (Sadrizadeh et al., 2022; Zagatti et al., 2020).

Existe una cantidad creciente de investigaciones epidemiológicas que han estudiado la asociación entre la contaminación del aire, incluyendo PM2.5 y dióxido de nitrógeno (NO₂) y el rendimiento académico como una medida del desarrollo neurológico (Hurtado-Díaz et al., 2021). Algunos estudios encontraron que los puntajes en matemáticas, lenguaje y ciencias estaban negativamente asociados con una mayor exposición anual a PM2.5 y NO₂ (Alter et al., 2024; Martino et al., 2025). Sin embargo, los resultados de algunos estudios fueron inconclusos o revelaron asociaciones positivas inesperadas entre los contaminantes del aire y el rendimiento académico (Manisalidis, Stavropoulou, Stavropoulos, & Bezirtzoglou, 2020). Estos hallazgos adversos son motivo de preocupación, ya que el éxito académico de los niños podría determinar su nivel de logro educativo infantil, un factor social ampliamente reconocido que determina la salud, y que podría influir en los ingresos futuros (Claesen et al., 2021).

La calidad del aire en las escuelas es una preocupación emergente, que podría representar incluso mayores riesgos para la salud que la contaminación exterior. La exposición durante esta etapa crítica del desarrollo puede afectar negativamente los sistemas respiratorio, cardiovascular y cognitivo de los niños, con estudios que reportan puntajes más bajos en pruebas neuroconductuales y de coeficiente intelectual, así como alteraciones neurológicas entre los niños expuestos (Parra et al., 2024).

El material particulado fino (PM2.5) puede penetrar profundamente en los pulmones, entrar en la circulación sistémica y atravesar la barrera hematoencefálica, produciendo

efectos neurotóxicos durante la infancia (Silva et al., 2023). La exposición crónica se ha asociado con neuroinflamación y estrés oxidativo, particularmente en el hipocampo y la corteza prefrontal, regiones críticas para la memoria y el aprendizaje. Estudios en humanos y en animales han demostrado que la exposición al PM2.5 altera la función y morfología neuronal mediante mecanismos como la activación de microglía y el metabolismo alterado en áreas clave del cerebro (Magloire et al., 2022).

Según González et al. (2025) la neuroinflamación persistente y la alteración de la homeostasis neuronal debido a la exposición al PM2.5 pueden dañar los circuitos sinápticos, afectando negativamente habilidades cognitivas como la memoria de trabajo, el razonamiento y la concentración, habilidades clave para el rendimiento académico. Estos efectos se han vinculado a puntuaciones más bajas en lenguaje y matemáticas entre escolares expuestos a altos niveles de PM2.5, como se observó en estudiantes de tercer grado y en entornos escolares más amplios. Un mecanismo crítico detrás de esta neurotoxicidad es la capacidad del PM2.5 para transportar metales pesados (por ejemplo, plomo, mercurio, cadmio) y compuestos orgánicos persistentes, lo que mejora su absorción en el sistema nervioso central. Investigaciones en ratas demuestran que estos metales pueden acumularse en la corteza cerebral mediante el transporte con PM2.5, aumentando la toxicidad neuronal y contribuyendo a procesos neurodegenerativos y al deterioro cognitivo en niños.

La infancia es una fase fundamental en el desarrollo humano, caracterizada por una alta sensibilidad a las influencias ambientales que a menudo moldean la salud y el desarrollo a lo largo de la vida (Heissel, Persico, & Simon, 2022). Esta etapa temprana es particularmente marcada durante el período prenatal y los primeros años de la infancia, los cuales forman una base importante para el crecimiento y desarrollo cognitivo, emocional y conductual de los niños (Tooley et al., 2021). En esta fase del desarrollo humano existe vulnerabilidad frente a experiencias y exposiciones ambientales. Por tanto, la exposición a factores ambientales como la contaminación del aire puede ejercer efectos significativos y

duraderos sobre la salud, el desarrollo y las oportunidades de vida de una persona joven durante este tiempo (Reuben et al., 2021). La evidencia emergente apoya un posible vínculo etiológico biológicamente plausible entre la contaminación del aire y una variedad de resultados cognitivos, educativos y de salud mental en la infancia y adolescencia (Likhar et al., 2022). De hecho, hay cada vez más evidencia de varios mecanismos verosímiles por los cuales la contaminación del aire podría afectar el riesgo de múltiples resultados de salud mental y cognición en general (Lim et al., 2024).

Los mecanismos potenciales relacionados con el impacto en el desarrollo cognitivo, el rendimiento académico y el desempeño escolar no se comprenden completamente, pero se plantea que podrían incluir disrupciones en el neurodesarrollo (Carneiro et al., 2021). Por ejemplo, aunque se requiere más investigación, se sugiere que la contaminación del aire podría afectar negativamente la conectividad neuronal en redes cerebrales implicadas en el lenguaje, el funcionamiento ejecutivo, el aprendizaje y la creatividad (Lim et al., 2024).

2.5 Estaciones móviles de monitoreo de aire

Las estaciones móviles de monitoreo de aire son unidades portátiles instaladas generalmente en vehículos o estructuras móviles, equipadas con sensores de alta precisión que permiten medir en tiempo real contaminantes como material particulado (PM10 y PM2.5), óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles. Estas unidades, al desplazarse o ubicarse temporalmente en diferentes puntos, facilitan la obtención de datos con alta resolución espacial y temporal, permitiendo identificar zonas críticas de contaminación, evaluar la calidad del aire en áreas donde no existen estaciones fijas y comparar las condiciones ambientales entre espacios internos y externos (Arciniegas, 2012). Los equipos para medir material particulado funcionan aspirando un volumen conocido de aire hacia una caja de muestreo con un filtro, generalmente durante 24 horas (Figura 4). El filtro se pesa antes y después para determinar la masa de partículas retenidas. La concentración se obtiene dividiendo la masa

recolectada entre el volumen de aire muestreado, ajustado a condiciones de referencia. Estos equipos pueden usar controladores de flujo másico (MFC) o volumétrico (VFC). Existen también bombas de muestreo personal, que se colocan directamente en las personas y permiten medir de forma continua y registrar electrónicamente la concentración de partículas PM10 en suspensión (Arciniegas, 2012).

En la Figura 4 se ilustra una estación móvil de monitoreo/muestreo de aire. Este dispositivo, conocido como cabezal de muestreo, incluye componentes como la boquilla de aceleración, la zona de fraccionamiento y el contenedor del filtro, que permiten separar las partículas según su tamaño (PM10 o PM2.5) y garantizar que sean depositadas en el filtro para su posterior análisis.



Figura 4: Estación móvil de monitoreo/muestreo de aire

Fuente: Arciniegas (2012)

2.6 Instituciones educativas seleccionadas para el estudio

2.6.1 Unidad Educativa San Francisco

Ubicada en Calle Tarqui y Gran Colombia (Figura 5), esta institución escolar está expuesta a un alto flujo vehicular que genera emisiones contaminantes permanentes. Según su sitio institucional, sus aulas albergan un máximo de 15 estudiantes por aula, y al

menos 14 de ellas cuentan con pizarras virtuales, con un promedio de 22 alumnos por salón (Unidad Educativa San Francisco, 2025)

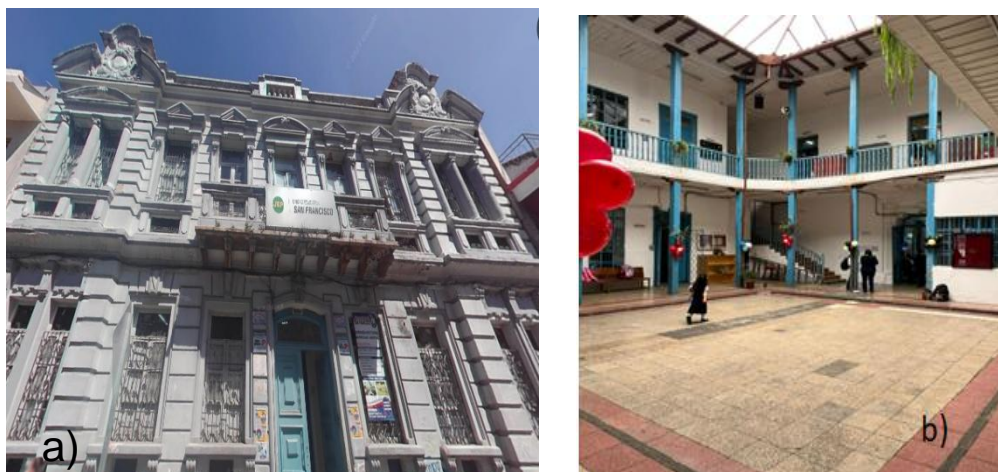


Figura 5: Fotografías de la Unidad Educativa San Francisco, área externa e interna

2.6.2 Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales (Universidad Católica de Cuenca)

Ubicada en las calles Simón Bolívar y Tomas Ordoñez, muy cerca de la Prefectura del Azuay y de Placacentro (industria de madera), lo que puede generar emisiones y polvo (Figura 6). Esta Unidad Académica ofrece carreras como Administración de Empresas, Contabilidad y Auditoría, Economía, Marketing y Negocios Internacionales y pertenece a la Universidad Católica de Cuenca, que cuenta con aproximadamente 14 000 estudiantes en total. (UCACUE, 2025).



Figura 6: Fotografías de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales, a) área externa, b) área interna

2.6.3 Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica (Universidad Católica de Cuenca)

Situada en Vargas Machuca 6-50 y Juan Jaramillo (Figura 7). En esta zona, al encontrarse cerca del centro de la ciudad, se registra una alta afluencia vehicular, lo que genera contaminación asociada al tráfico. Ofrece carreras como Software, Sistemas de la Información, Robótica e Inteligencia Artificial y Realidad Virtual y Videojuegos bajo un enfoque de innovación tecnológica. Forma parte de la Universidad Católica de Cuenca y comparte la misma población estudiantil general (UCACUE, 2025).



Figura 7: Fotografías de la Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica, a) área externa, b) área interna

2.6.4 Unidad Académica de Salud y Bienestar (Universidad Católica de Cuenca)

Ubicada en la Pío Bravo y Manuel Vega, cercana a un taller de pintura se encuentra la unidad académica (Figura 8), esta unidad reúne carreras como Medicina, Odontología, Enfermería, Psicología Clínica, Bioquímica y Farmacia y Nutrición. Forma parte de la Universidad Católica de Cuenca (14 000 estudiantes) (UCACUE, 2025).



Figura 8: Fotografías de la Unidad Académica de Salud y Bienestar, a) área externa, b) área interna

2.6.5 Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción (Universidad Católica de Cuenca)

Ubicada en la Av. de la Américas y General Torres (Esquina), una zona con alta circulación vehicular (Figura 9). En estas instalaciones se imparten clases para las carreras de Ingeniería Civil, Ingeniería Industrial, Arquitectura, Ingeniería Ambiental, Ingeniería Eléctrica, Diseño de Interiores y otras que forman parte de la oferta académica de la Universidad Católica de Cuenca (UCACUE, 2025).



Figura 9: Fotografías de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción, a) área externa, b) área interna

2.7 Normativa ambiental

La Constitución de la República del Ecuador, (2008) y el Código Orgánico del Ambiente, (2017) establecen disposiciones para garantizar un ambiente sano y equilibrado.

En la constitución, en el artículo 14 se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente ecológicamente equilibrado que asegure la sostenibilidad y el buen vivir (sumak kawsay). Se declara de interés público la conservación del ambiente, la protección de los ecosistemas y la biodiversidad, la prevención del daño ambiental y la restauración de los espacios naturales que hayan sido afectados (Constitución de la República del Ecuador, 2008). En cuanto a los derechos de la naturaleza, el artículo 74 del Código Orgánico del Ambiente indica que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tienen el derecho de aprovechar el ambiente y los recursos naturales que favorezcan el buen vivir, pero aclara que los servicios ambientales no podrán ser objeto de apropiación; su uso, producción y aprovechamiento será regulado por el Estado (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

En el artículo 152 del COA, referente al manejo responsable del arbolado urbano, se establece que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos o Municipales deberán incluir dentro de su planificación territorial acciones que reduzcan la contaminación del aire y del ruido, favorezcan el microclima, fortalezcan el paisaje y el equilibrio ecológico, apoyen la prevención de inundaciones, mitiguen el impacto del cambio climático y contribuyan a la adaptación al mismo. Además, estas medidas deben mejorar la estética urbana, promover la educación ambiental y la salud física y mental de los habitantes (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

El artículo 191 del COA señala que la Autoridad Ambiental Nacional o los Gobiernos Autónomos Descentralizados competentes, en coordinación con otras entidades, deben realizar el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, con base en normas técnicas y reglamentarias. Estas instituciones deben incentivar la generación de información e investigación sobre la contaminación ambiental con el fin de identificar sus causas, efectos y soluciones.

Por otra parte, el artículo 193 del COA dispone que se realicen evaluaciones adicionales a las establecidas por la norma para las fuentes que generen olores ofensivos o contaminantes atmosféricos peligrosos. Dichas evaluaciones estarán orientadas a reducir o eliminar las emisiones en su origen, siguiendo métodos y procedimientos establecidos en la norma técnica.

El numeral 4 del artículo 276 de la Constitución de la República del Ecuador establece como objetivo principal recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sostenible que permita a las personas acceder de manera equitativa a los recursos de agua, aire y suelo, así como a los beneficios del subsuelo y del patrimonio natural.

En el artículo 397 de la Constitución de la República del Ecuador dispone que, ante daños ambientales, el Estado actuará de forma inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de sancionar al causante del daño, el Estado repetirá contra este los gastos de reparación integral. Esta responsabilidad también recae en los funcionarios encargados del control ambiental. Se establece la regulación de producción, importación y uso de materiales peligrosos.

El artículo 399 del COA señala que la gestión ambiental estará a cargo de un sistema nacional descentralizado, el cual tendrá la responsabilidad de proteger el ambiente y la naturaleza.

Finalmente, el artículo 414 del COA establece que el Estado deberá adoptar medidas adecuadas para mitigar el cambio climático limitando las emisiones de gases de efecto invernadero, controlando la deforestación y reduciendo la contaminación del aire, a la vez que protege a la población vulnerable (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

En la Tabla 4 se presenta la concentración promedio establecida por la Empresa Pública de Movilidad (2020) para diferentes contaminantes atmosféricos, tales como dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, material particulado (PM10 y PM2.5), monóxido de

carbono y ozono. Estos parámetros fijan los niveles de exposición aceptables en distintos periodos de tiempo (anual, diario, horario o en intervalos más cortos), sirviendo como referencia para evaluar la calidad del aire en entornos urbanos e industriales

Tabla 4:

Promedio por contaminante en la norma de calidad del aire ambiente

Contaminante	Concentración
Dióxido de nitrógeno	Promedio anual: 40 µg/m ³
	Promedio en 1 hora: 200 µg/m ³
Dióxido de azufre	Promedio anual: 60 µg/m ³
	Promedio en 24 horas: 125 µg/m ³
	Promedio en 10 min: 500 µg/m ³
Material particulado <10 µm	Promedio anual: 50 µg/m ³
	Promedio en 24 horas: 100 µg/m ³
Material particulado <2.5 µm	Promedio anual: 15 µg/m ³
	Promedio en 24 horas: 50 µg/m ³
Monóxido de Carbono	Promedio en 8 horas: 10000 µg/m ³
	Promedio en 1 hora: 30000 µg/m ³
Ozono	Promedio en 8 horas: 100 µg/m ³

Fuente: Empresa Pública de Movilidad (2020)

La Autoridad Ambiental debe también establecer planes de alerta, alarma y emergencia para situaciones críticas de contaminación del aire. Estos planes se basan en tres niveles de concentración de contaminantes y su declaración depende de que las concentraciones no excedan los valores establecidos para cada contaminante (Tabla 5) o de condiciones atmosféricas adversas que puedan producir contaminación grave (Empresa Pública de Movilidad, 2020).

Tabla 5:

Concentraciones de contaminantes: alerta, alarma y emergencia, medido en ug/m3

Contaminante y periodo de tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Monóxido de carbono (8h)	15000 ug/m3	30000 ug/m3	40000 ug/m3
Ozono (8h)	200 ug/m3	400 ug/m3	600 ug/m3
Dióxido de nitrógeno (1h)	1000 ug/m3	2000 ug/m3	3000 ug/m3
Dióxido de azufre (24h)	200 ug/m3	1000 ug/m3	1800 ug/m3
PM10 (24h)	250 ug/m3	400 ug/m3	500 ug/m3
PM2.5 (24h)	150 ug/m3	250 ug/m3	350 ug/m3

Fuente: Empresa Pública de Movilidad (2020)

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se desarrolló en el área circundante al centro histórico de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, Ecuador (Figura 10) caracterizado por su densa actividad comercial y administrativa, así como por el elevado flujo vehicular que circula por sus principales arterias viales. La ciudad se encuentra a una altitud aproximada de 2560 m.s.n.m, con una temperatura promedio anual de 14 a 16 °C y estaciones lluviosas que se concentran entre los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre (Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca, 2020).

En esta área se identificaron puntos estratégicos para el monitoreo de la calidad del aire en cinco instituciones educativas representativas (Figura 10), debido a su ubicación en zonas con influencia de emisiones contaminantes provenientes del tráfico, actividades comerciales e industriales de pequeña escala. La elección de estas instituciones respondió a la necesidad de evaluar la exposición a contaminantes atmosféricos en entornos escolares, considerando que las condiciones ambientales urbanas pueden afectar directamente la salud y el bienestar de la población estudiantil.

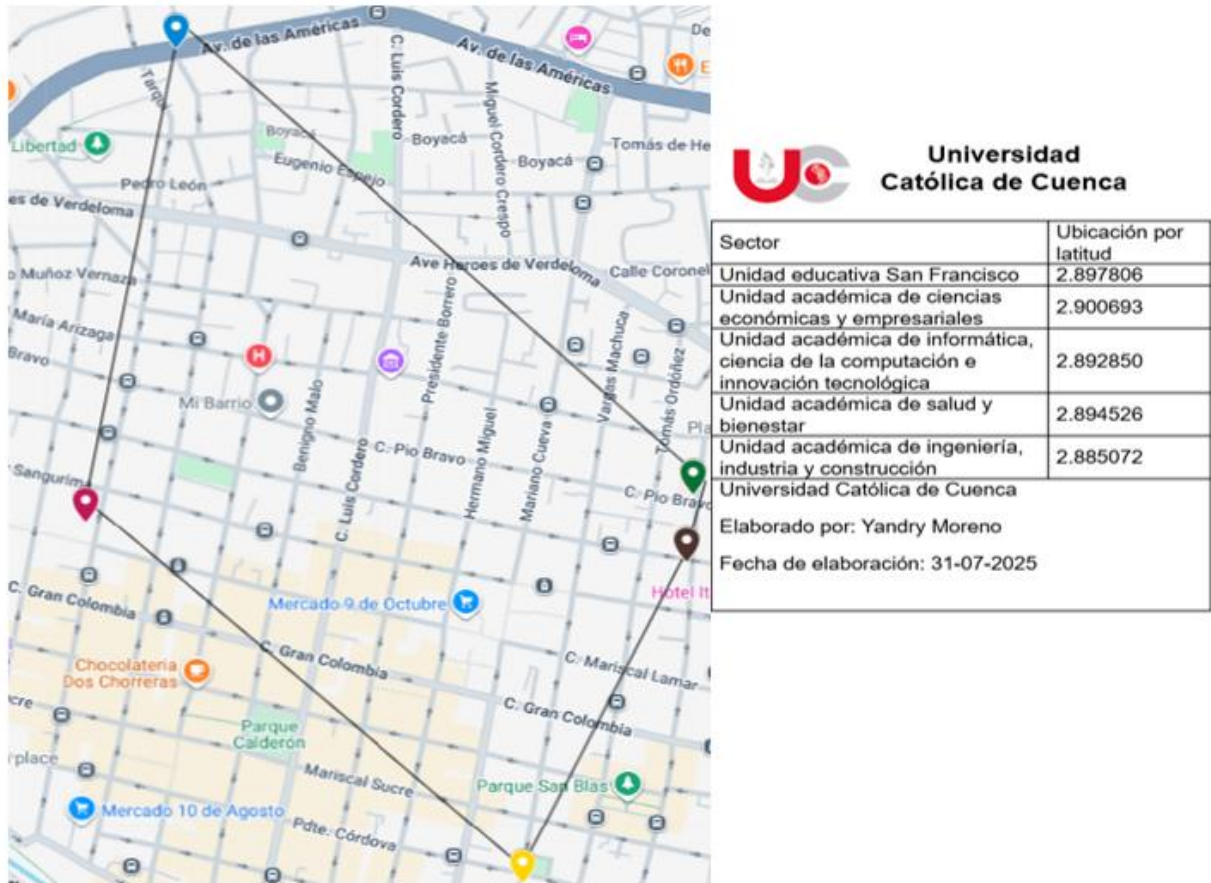


Figura 10: Ilustración de los puntos de muestreo dentro de la zona de estudio.

3.2 Trabajo de campo

Durante la investigación de campo se llevaron a cabo tareas de instalación de estaciones móviles para la medición de contaminantes en el aire (Tabla 6); además se verificó su funcionamiento continuado junto al monitoreo constante de los niveles de contaminación atmosférica presentes en diferentes localizaciones. Se efectuaron mediciones a lo largo de un período de tres meses comprendidos en octubre, noviembre y diciembre de 2024, contribuyendo así al análisis del comportamiento temporal de los contaminantes atmosféricos. Los contaminantes que fueron analizadas son los siguientes:

- a) Monóxido de carbono (CO)
- b) Dióxido de carbono (CO₂)
- c) Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- d) Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

e) Ozono (O₃)



f) Material particulado (PM2.5)

Además, se determinó la presión atmosférica (hPa) y la radiación ultravioleta (UV).

En la siguiente Tabla 6, se detalla cada una de las instituciones educativas, su dirección, la proximidad a fuentes contaminantes y la ubicación.

Tabla 6:

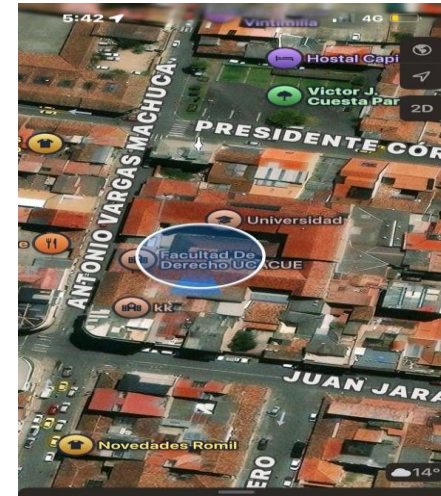
Descripción de las instituciones educativas seleccionadas como unidades de estudio

Institución Educativa	Dirección	Proximidad a Fuentes Contaminantes	Ubicación	Estación móvil
<p>Unidad Educativa San Francisco</p>	<p>Tarqui 10-63 Gran Colombia y Mariscal Lamar</p>	<p>Se encuentra ubicada por la calle Tarqui, con mayor flujo vehicular en la ciudad de Cuenca, lo que la expone constantemente a emisiones contaminantes provenientes del tráfico.</p>		<p>Estación móvil 1 (externa) Estación móvil 2 (interna)</p>
<p>Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales</p>	<p>Simón Bolívar 3-28 y Tomás Ordoñez (Frente a la Prefectura del Azuay)</p>	<p>Se localiza aproximadamente a 25 metros de la empresa Placa centro. Además, frente a la institución se encuentra la Prefectura del Azuay, lo que incrementa el flujo vehicular en la zona y, por ende, la posible de contaminación del entorno.</p>		<p>Estación móvil 3 (externa) Estación móvil 4 (interna)</p>

Unidad Académica de
Informática, Ciencia de la
Computación e Innovación
Tecnológica

Vargas Machuca 6-50
y Juan Jaramillo.

Está situada en una zona libre de
actividades comerciales o industriales. El
aumento del flujo vehicular en la zona
genera, a su vez, una mayor posibilidad de
contaminación en el entorno.



Estación móvil 5
(externa)

Estación móvil 6
(interna)

Unidad Académica de
Salud y Bienestar

Manuel Vega y Pío
Bravo (Hospital
Universitario Católico)

Con tráfico vehicular muy alto. Tiene en
sus alrededores un taller de pintura.
Adicionalmente, a unos 100 metros, se
ubica un local de venta y corte de planchas
de 'Madera', actividad que genera polvo y
residuos que podrían impactar
negativamente el ambiente cercano.



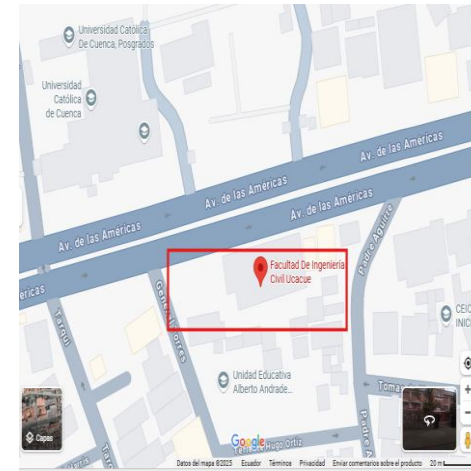
Estación móvil 7
(externa)

Estación móvil 8
(interna)

Unidad Académica de
Ingeniería, Industria y
Construcción

Av. de la Américas y
General Torres
(Esquina).

Se encuentra en la Avenida de las Américas, lo que la expone a un alto nivel de contaminación atmosférica debido al constante tránsito vehicular en esta importante vía de Cuenca.



Estación móvil 9
(externa)

Estación móvil 10
(interna)

3.3 Población y muestra

La población objeto de estudio está constituida por las cinco instituciones educativas. Al tratarse de un universo pequeño y accesible, se trabajó con la totalidad de la población, sin aplicar muestreo probabilístico.

3.4 Medición de la concentración de contaminantes atmosféricos

Para la medición de la concentración de los contaminantes atmosféricos, se realizó un monitoreo ambiental utilizando estaciones móviles calibradas. Cada estación cuenta con sensores capaces de registrar concentraciones de CO₂, CO, NO₂, H₂S, O₃, PM_{2.5} y variables ambientales como presión atmosférica y radiación UV con una frecuencia de muestreo mensual (octubre, noviembre y diciembre). Las actividades necesarias se explican a continuación:

- a) Selección de centros educativos: dentro de la zona de estudio se identificaron cinco centros educativos representativas en la ciudad de Cuenca con base en el alto flujo vehicular.
- b) Instalación de estaciones móviles: se ubicaron las estaciones móviles en zonas estratégicas dentro de cada centro educativo (interno y externo) y permanecieron registrando información las 24 horas del día recolectando información durante los tres meses consecutivos.
- c) Calibración y verificación técnica: se aseguró que las estaciones móviles estén calibradas bajo protocolo OMS y EPA.
- d) Registro de datos: la información se registró en tiempo real por medio de la plataforma de Internet de las Cosas (IoT), ThingSpeak. Es así que para cada estación se configuró una cuenta de usuario con credenciales de email y contraseña dentro de un canal individual en ThingSpeak (Anexo 1 – Fotografía 44).
- e) Variables registradas: concentración de CO, CO₂, NO₂, H₂S, O₃, PM_{2.5}, presión atmosférica y radiación UV.

- f) Duración y frecuencia del muestreo: el muestreo se realizó durante los meses de octubre, noviembre y diciembre (90 días naturales).

En la Figura 11 y 12 se observan las estaciones móviles instaladas. En la Figura 11 se observa un dispositivo electrónico de monitoreo instalado sobre un tablero eléctrico, el cual se encuentra encerrado en una caja metálica. Su ubicación estratégica en la parte superior del tablero permite integrarlo con la infraestructura eléctrica existente, facilitando el suministro de energía y la transmisión de datos hacia el sistema de gestión.



Figura 11: Dispositivo instalado para la medición y registro de parámetros de calidad del aire en la calle Tarqui y Mariscal Lamar

De acuerdo con la Figura 12, se observa la estación móvil 6 colocada en las calles Vargas Machuca 6-50 y Juan Jaramillo. Esta estación se colocó en una parte interna, elevada y abierta.



Figura 12: Estación móvil 6: Dispositivo instalado para la medición y registro de parámetros de calidad del aire

3.5 Análisis de la concentración de los contaminantes atmosféricos

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, se registró toda la información de la concentración de contaminantes atmosféricos en los centros educativos del centro histórico de Cuenca, utilizando estaciones móviles de monitoreo de calidad del aire. Toda la información recolectada fue organizada diariamente en hojas de cálculo de Excel, separando los datos por mes para facilitar su análisis temporal. Cada hoja mensual contenía columnas específicas para cada contaminante, y las filas correspondían a los registros horarios obtenidos por las estaciones móviles. Esta estructura permitió una visualización clara y ordenada de los datos, facilitando su procesamiento estadístico.

En Excel se aplicaron funciones estadísticas descriptivas para cada contaminante, obteniendo valores de mínimo, máximo y media mensual. Estos indicadores permitieron identificar variaciones significativas en la calidad del aire, detectar picos de contaminación y establecer comparaciones entre instituciones y periodos. Estas estaciones registraron en tiempo real los niveles de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), ozono (O₃), partículas finas (PM2.5), presión atmosférica y radiación UV.

3.6 Determinación del índice de calidad del aire (ICA)

Cálculo del ICA (Índice de Calidad del Aire): Se utilizó la fórmula oficial de la EPA, adaptada al contexto ecuatoriano, para calcular el ICA por contaminante:

$$Cc = Co * \frac{760mmHg}{PblmmHg} * \frac{(273 + t^{\circ}C)^{\circ}K}{298^{\circ}K}$$

Donde:

- a. Cc = concentración corregida
- b. Co = concentración observada
- c. Pbl = presión atmosférica local (mmHg)

- d. $t^{\circ}\text{C}$ = temperatura local ($^{\circ}\text{C}$)

Clasificación del ICA: Se empleó la escala de colores oficial (verde, amarillo, naranja, rojo, púrpura y marrón) para facilitar la interpretación pública.

3.7 Normativa utilizada para comparación

Los valores obtenidos fueron comparados con los límites establecidos por la norma ambiental ecuatoriana vigente (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) y los estándares de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021).

Norma Ambiental Ecuatoriana Vigente Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), en su Libro VI sobre Calidad Ambiental, se establecen los siguientes límites máximos permisibles para la calidad del aire ambiente:

- a. PM_{2.5}: 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h)
- b. PM₁₀: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h)
- c. SO₂: 20 ppb o 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h)
- d. NO₂: 100 ppb (promedio de 24 h)
- e. CO: 9 ppm (promedio de 24 h)
- f. O₃: 70 ppb (promedio de 24 h)

Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021). Las Guías de Calidad del Aire publicadas por la OMS establecen estándares más estrictos, con base en evidencia científica actualizada sobre efectos en salud:

- a. PM_{2.5}: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h)
- b. PM₁₀: 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h)
- c. SO₂: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (promedio de 24 h) similar a 15 partes por billón.
- d. NO₂: 25 ppb (promedio de 24 h)
- e. CO: 4 mg/m^3 (promedio de 24 h) similar a 3.5 partes por millón.
- f. O₃: 50 ppb (promedio de 24 h)

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Concentración de contaminantes

Dentro del Anexo 4, se encuentra la información recopilada y con la cual se obtuvo resultados. En primer lugar, se procesó los datos del mes de octubre, luego de noviembre y finalmente diciembre, con lo cual se identificó el comportamiento de los parámetros en cada punto de muestreo. A continuación, se presentan gráficas por contaminante.

4.1.1 Concentración de monóxido de carbono

Durante el mes de octubre (Figura 13), las concentraciones de CO oscilaron entre 0,2 ppm y 18 ppm, siendo los valores más altos registrados en las estaciones exteriores cercanas a zonas de tránsito vehicular. Estos niveles se encuentran muy por debajo del límite permitido por el Código Orgánico del Ambiente, (25 ppm/8h), indicado que no existe riesgo de intoxicación ni acumulación peligrosa de monóxido de carbono en las instituciones evaluadas. Las variaciones están asociadas a fuentes externas como el tráfico y no a fuentes internas.

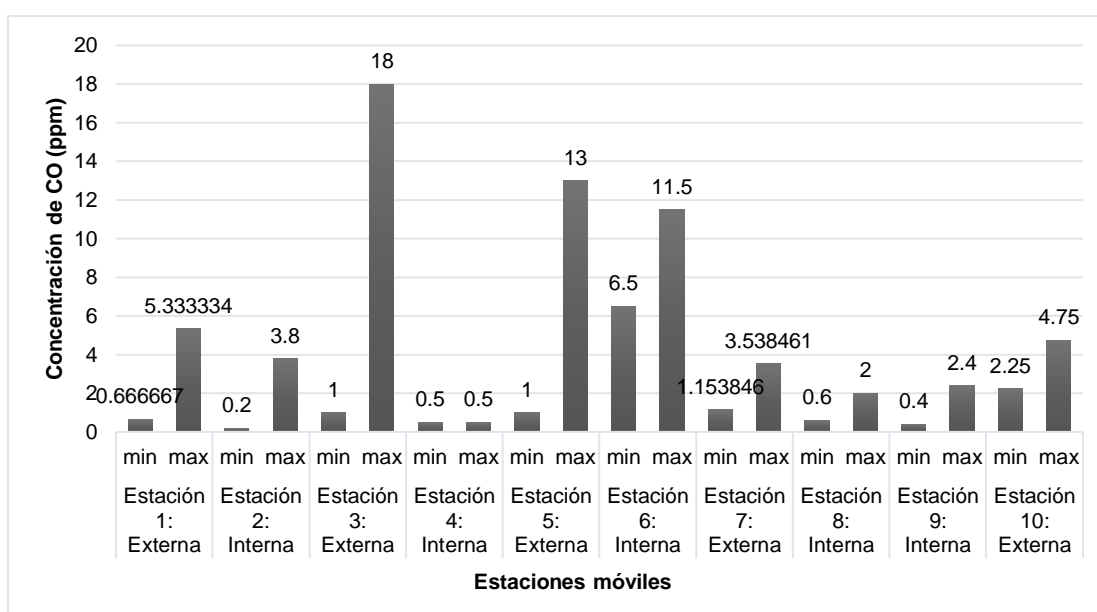


Figura 13: Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Durante el mes de noviembre, las concentraciones de monóxido de carbono (CO), como se puede observar en la Figura 14, oscilaron entre 0,2 ppm y 17 ppm, siendo el valor más alto registrado en la Estación 3 externa, probablemente asociado a fuentes vehiculares cercanas. Estos niveles se mantienen por debajo del límite permisible establecido por el Código Orgánico del Ambiente, (25 ppm por exposición de 8 horas), por lo que no representan riesgo de intoxicación o acumulación peligrosa en las instituciones evaluadas. Las variaciones reflejan principalmente la influencia de fuentes externas como el tráfico vehicular.

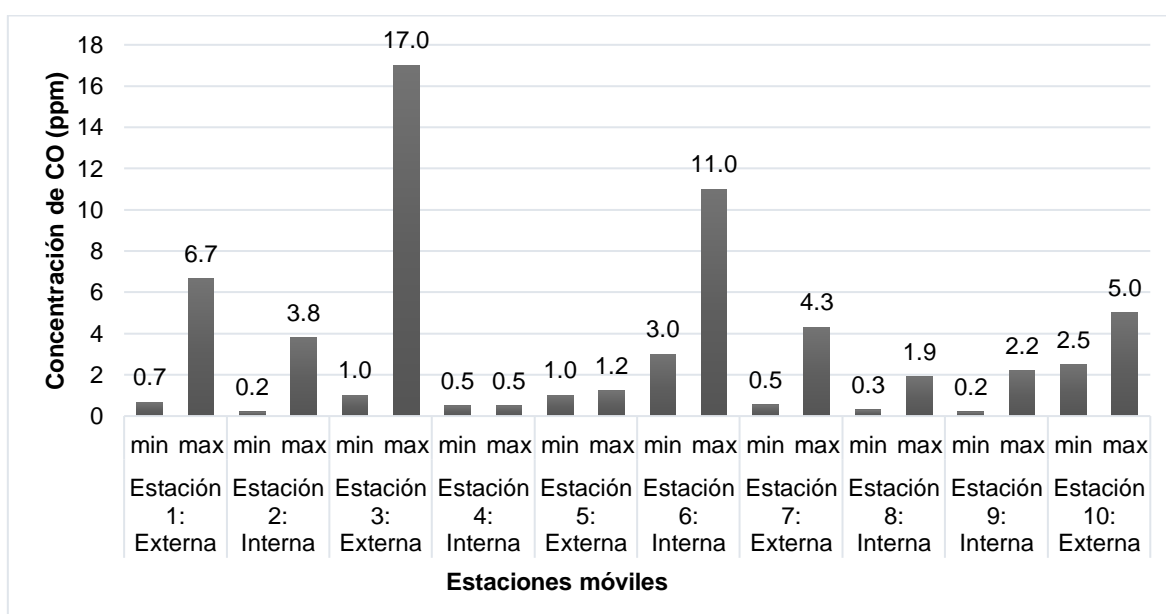


Figura 14: Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

Durante el mes de diciembre, las concentraciones de monóxido de carbono (CO) oscilaron entre 0,2 ppm y 24 ppm, siendo los valores más altos registrados en la Estación 5 Externa (24 ppm) y en la Estación 3 externa (17 ppm) como lo detalla la Figura 15. Estas estaciones se encuentran en zonas exteriores con mayor exposición a emisiones de tránsito vehicular.

Los niveles máximos están cercanos al límite permisible establecido por el Código Orgánico del Ambiente (25 ppm para exposición de 8 horas), aunque en ningún caso lo

superaron. En las estaciones internas los valores fueron considerablemente más bajos, lo que indica que no existe riesgo de intoxicación ni acumulación peligrosa de monóxido de carbono en las áreas internas de las instituciones evaluadas.

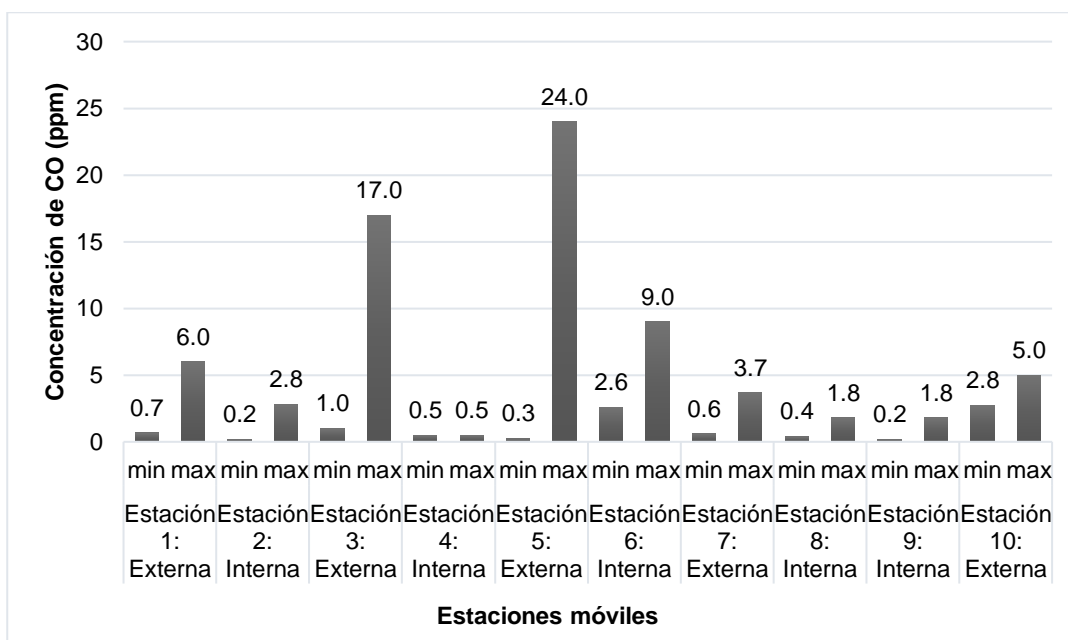


Figura 15: Niveles de concentración de monóxido de carbono (CO) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.2 Concentración de dióxido de carbono

De acuerdo con la Figura 16 las concentraciones de CO₂ en el mes de octubre fluctuaron entre 224 ppm y 1151 ppm. Se registraron niveles superiores a las 1000 ppm recomendados en algunas aulas. Aunque no representan un riesgo para la salud según el Código Orgánico del Ambiente, (5000 ppm), sí afectan al confort y a la concentración de los estudiantes.

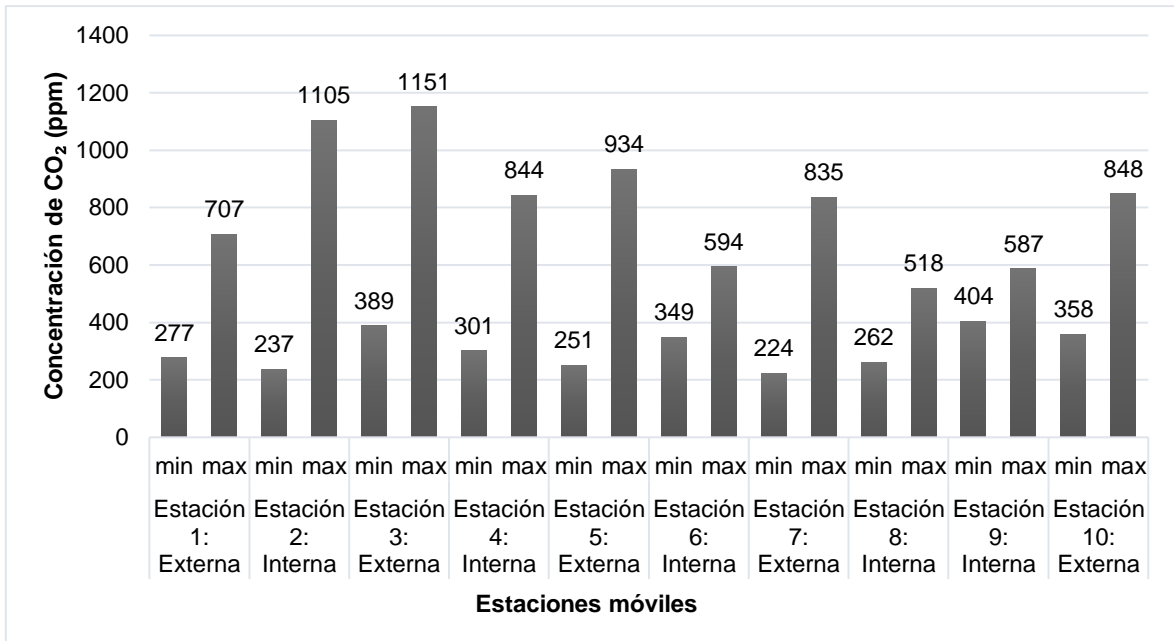


Figura 16: Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Durante el mes de noviembre, los niveles de dióxido de carbono (CO₂) oscilaron entre 104 ppm y 1135 ppm, siendo los valores más altos registrados en las estaciones internas y externas donde se evidencian deficiencias en la ventilación natural o mecánica. Estos valores superan en algunos casos al límite recomendado por la normativa para confort interior (1000 ppm), lo que podría indicar una acumulación de CO₂ en espacios cerrados con baja renovación de aire (Figura 17).

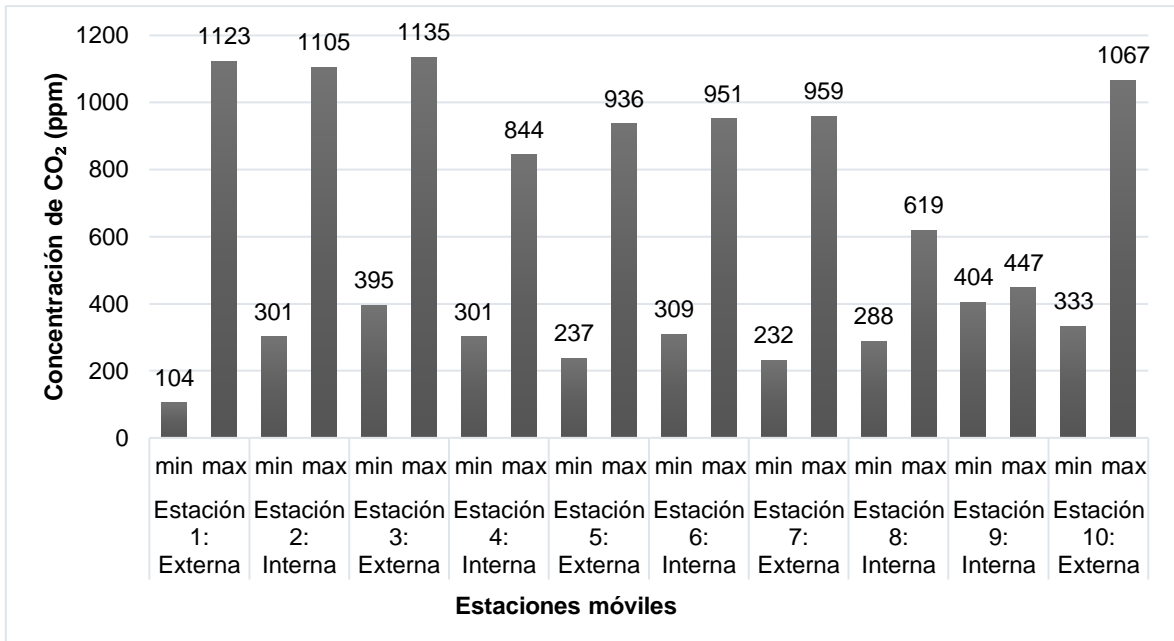


Figura 17: Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO_2) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

Durante el mes de diciembre, las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) registraron valores que oscilaron entre 100 ppm y 2714 ppm. Se observa que los valores más altos corresponden a las estaciones internas, especialmente en la Estación 9 Interna, donde se alcanzó el pico máximo de 2714 ppm. Estos niveles superan ampliamente el valor de referencia recomendado por la normativa para confort interior (1000 ppm), lo que sugiere deficiencias en la ventilación natural o mecánica dentro de esas instalaciones (Figura 18).

En contraste, las estaciones externas presentan concentraciones menores, lo cual es consistente con la renovación natural del aire en espacios abiertos. Las diferencias notables entre estaciones internas y externas reflejan la influencia de la actividad humana, la ocupación y la falta de ventilación adecuada en espacios cerrados. Aunque estos niveles no representan un riesgo inmediato para la salud en exposiciones cortas, pueden generar malestares como somnolencia y fatiga.

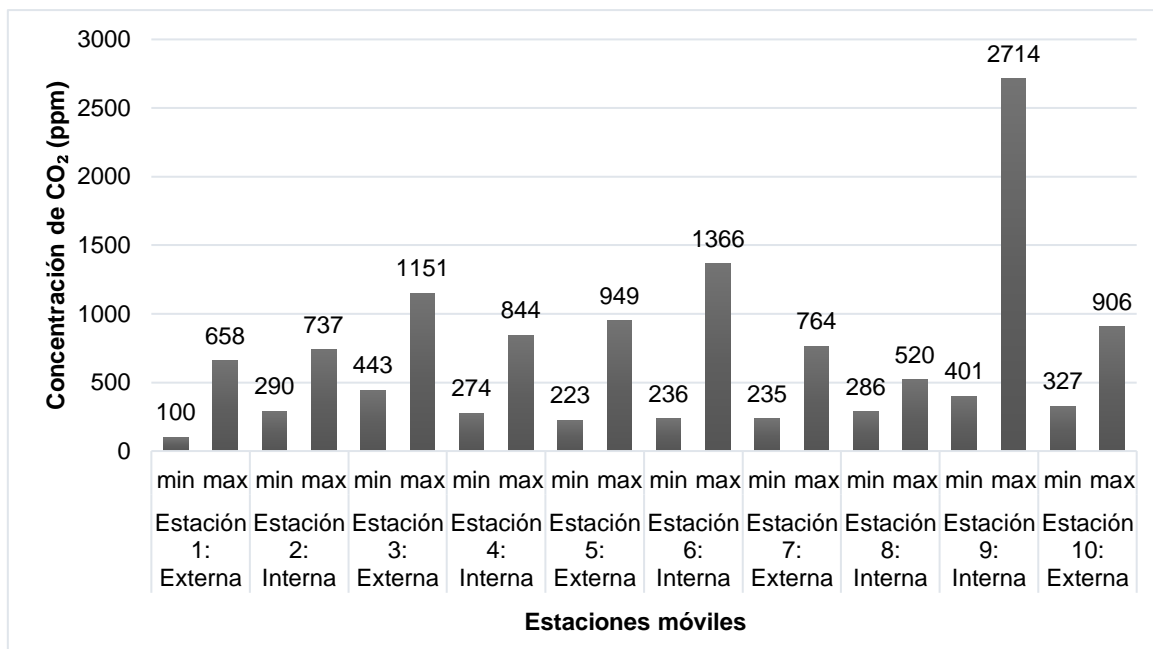


Figura 18: Niveles de concentración de dióxido de carbono (CO_2) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

Estos valores superan en varias estaciones el límite recomendado por la normativa para confort interior (1000 ppm), lo cual sugiere deficiencias en la ventilación natural o mecánica de las instalaciones (Académico Microbiología Y Parasitología, 2019). Aunque no representan un riesgo inmediato para la salud a corto plazo, estos niveles elevados de CO_2 pueden ocasionar sensación de fatiga, dificultad de concentración y malestar general en las personas que permanecen en dichos espacios.

4.1.3 Concentración de sulfuro de hidrógeno

Las concentraciones de H_2S fueron prácticamente nulas o menores a 0,03 ppm durante todo el mes de monitoreo (Figura 19). Estos valores están muy por debajo del límite permisible y no representan ningún riesgo ambiental o para la salud. Se confirma que no existen fuentes cercanas que emitan este contaminante.

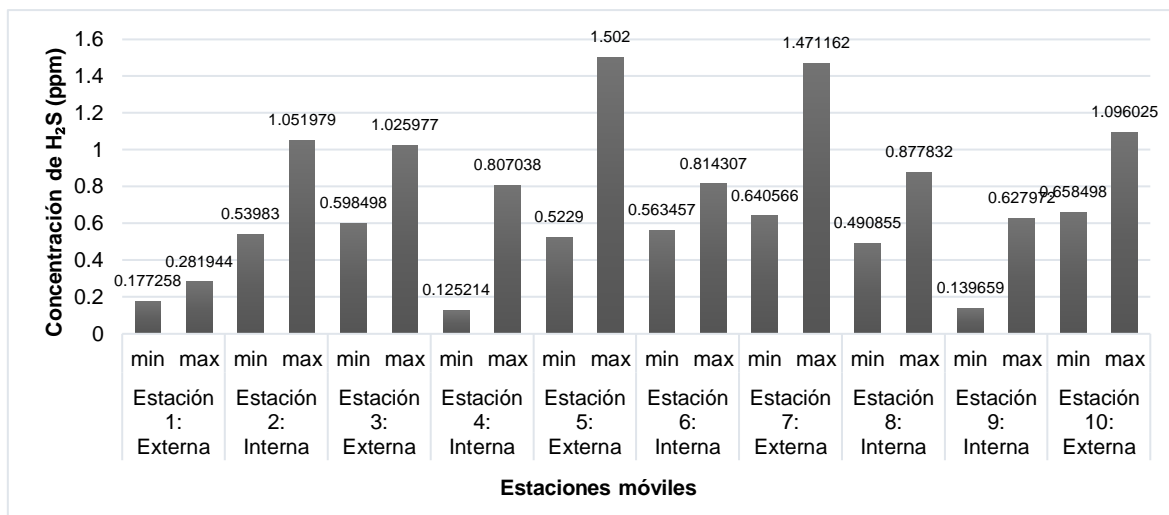


Figura 19: Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H_2S) en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Durante el mes de noviembre, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) oscilaron entre 0,1 ppm y 1,25 ppm, siendo los valores más elevados registrados en las estaciones internas, especialmente en la Estación 6, que alcanzó 1,25 ppm (Figura 20). Estos niveles se encuentran muy por debajo del límite permisible de exposición establecido por el Código Orgánico del Ambiente, para H_2S (20 ppm para exposición de 8 horas), lo que indica que no representan un riesgo para la salud de los ocupantes ni de la comunidad educativa.

Las ligeras variaciones observadas entre estaciones internas y externas pueden estar asociadas a factores de ventilación, condiciones de almacenamiento de materiales o procesos internos menores. Sin embargo, todas las concentraciones permanecen dentro de rangos seguros y no indican acumulación preocupante de este gas.

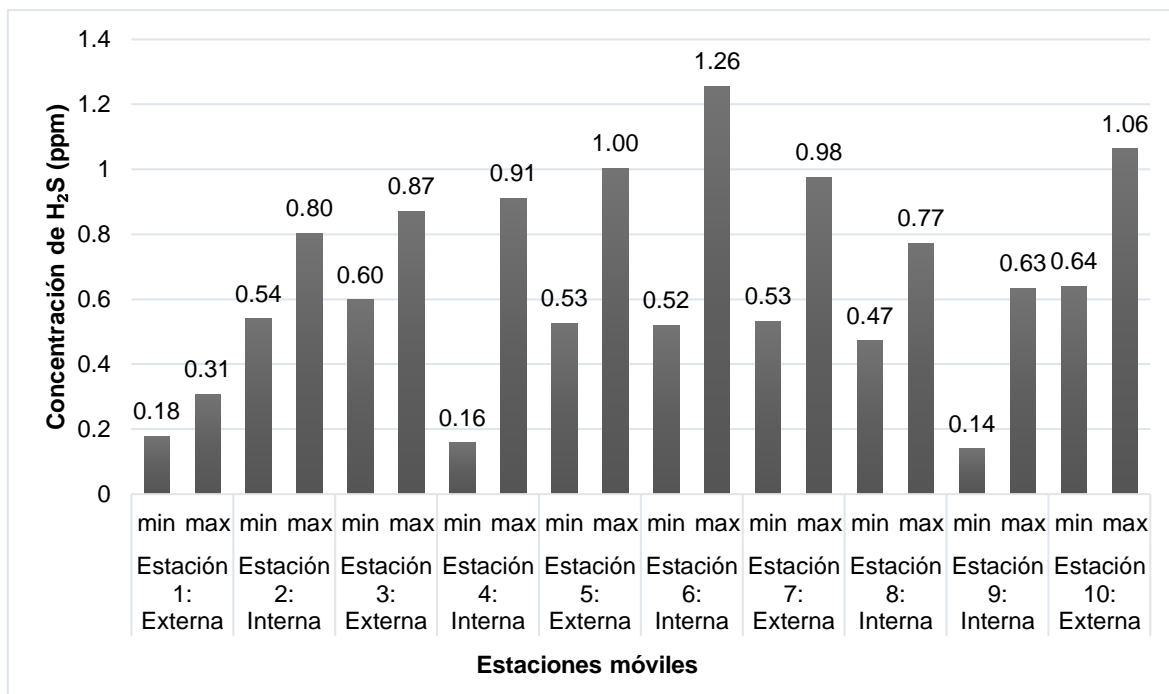


Figura 20: Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H_2S) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

Durante el mes de diciembre, las concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H_2S) oscilaron entre 0,1 ppm y 1,13 ppm. Los valores más altos se registraron principalmente en las estaciones externas, lo cual puede estar relacionado a la presencia de fuentes contaminantes en el ambiente exterior, como aguas estancadas, alcantarillado o residuos orgánicos en descomposición (Figura 21).

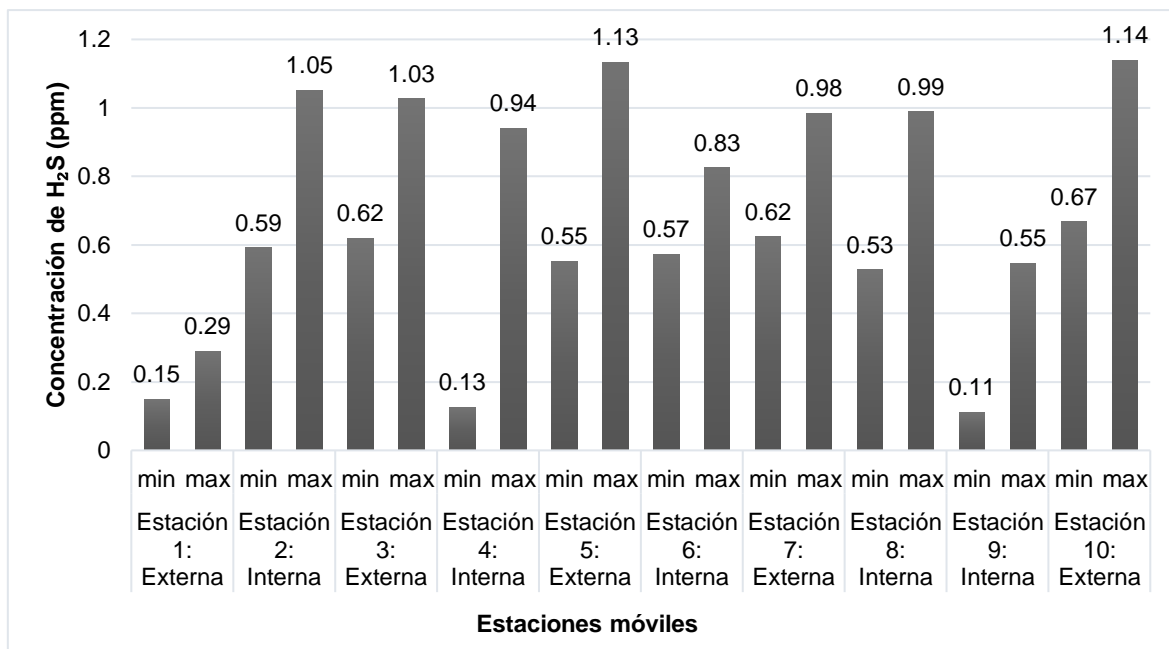


Figura 21: Niveles de concentración de sulfuro de hidrogeno (H_2S) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.4 Concentración de ozono

Durante el mes de octubre, las concentraciones de ozono (O_3) según los datos expuestos en la Figura 22, oscilaron entre 0,001 ppm y 0,05 ppm. Los niveles más altos fueron registrados en las estaciones externas, especialmente en las estaciones 3 y 10. Sin embargo, todos los valores obtenidos se encuentran muy por debajo del límite máximo permisible de 0,1 ppm para exposición de 8 horas establecido por la normativa internacional del Código Orgánico del Ambiente.

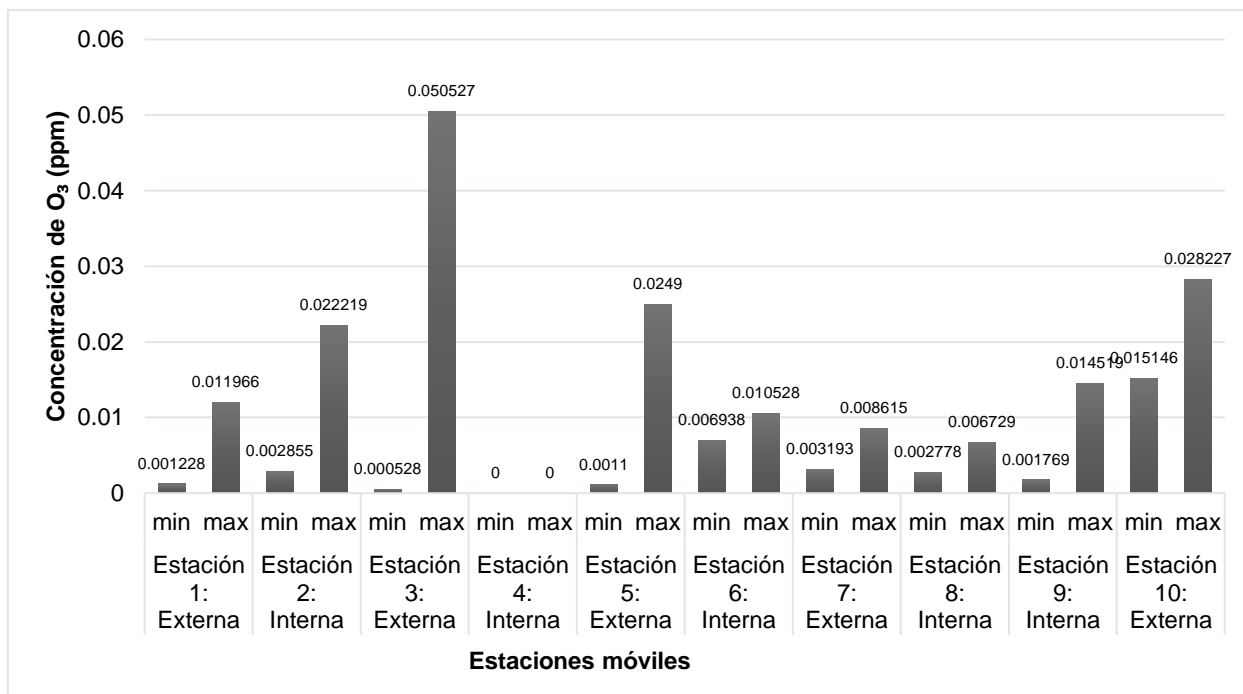


Figura 22: Niveles de concentración de ozono (O_3) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Estos resultados indican que las concentraciones de ozono no representan un riesgo para la salud de las personas en las instituciones evaluadas. Las variaciones observadas se pueden atribuir a la exposición de las estaciones externas a factores atmosféricos y radiación solar, que influyen en la formación del ozono ambiental.

Durante el mes de noviembre, las concentraciones de ozono (O_3) registradas oscilaron entre $0,0001 \text{ mg/m}^3$ y $0,05 \text{ mg/m}^3$. El valor más alto se presentó en la Estación 3 Externa con $0,05 \text{ mg/m}^3$, equivalente aproximadamente a $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Estos valores detallados en la Figura 23 se encuentran dentro del límite permitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que establece un máximo de $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ para una exposición de 8 horas, por lo que no representan un riesgo significativo para la salud de las personas en las instituciones evaluada.

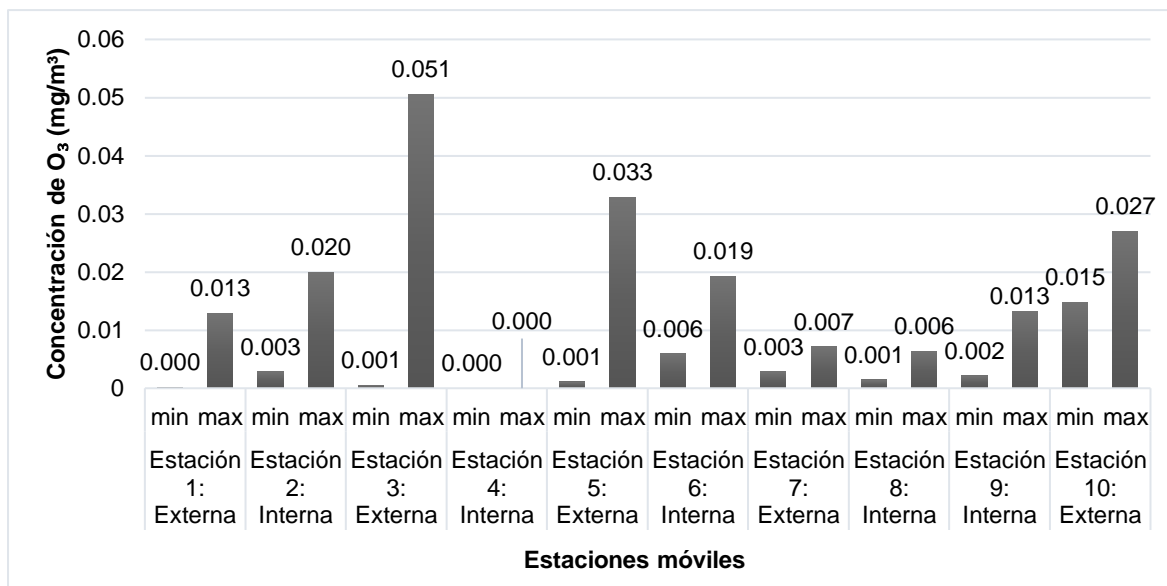


Figura 23: Niveles de concentración de ozono (O_3) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

Durante el mes de diciembre, los niveles de ozono (O_3) registrados fueron muy bajos (Figura 24) con concentraciones que variaron entre $0,0001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores son mínimos y no representan ningún tipo de riesgo para la salud de las personas en las instituciones evaluadas. El ozono se suele generar principalmente en zonas industriales o por la radiación solar en combinación con otros gases contaminantes, pero en este caso las mediciones indican que las concentraciones son muy reducidas. Esto quiere decir que en las estaciones internas y externas no existen fuentes significativas que estén generando ozono, y por lo tanto no se observan problemas relacionados con este contaminante.

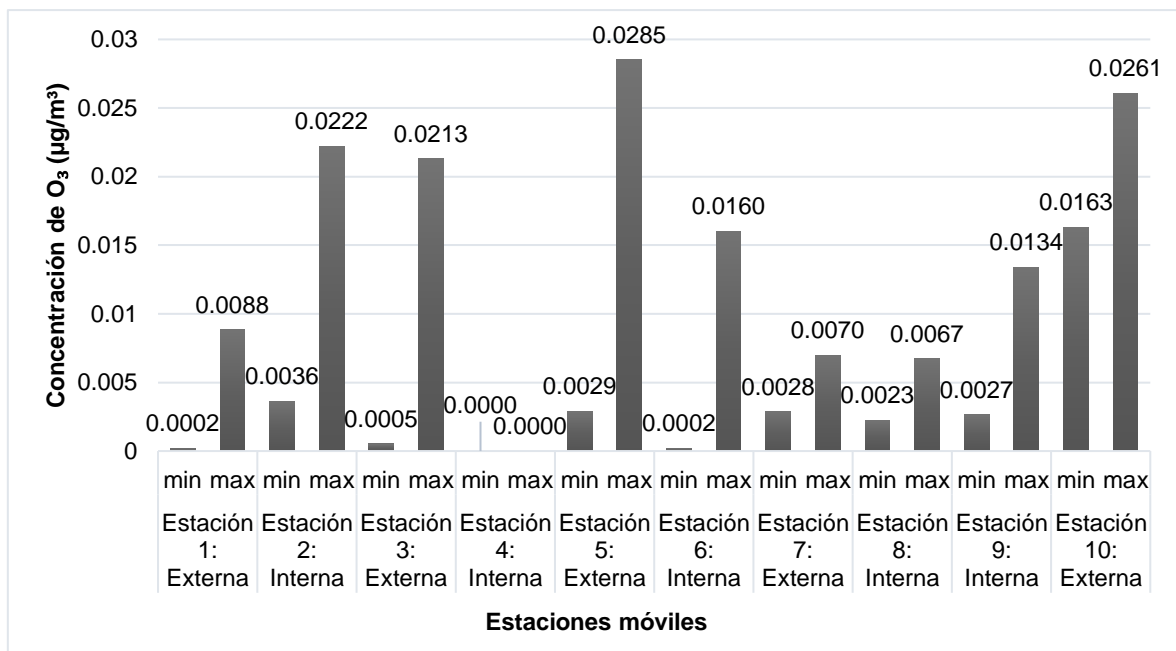


Figura 24: Niveles de concentración de ozono (O_3) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.5 Concentración de dióxido de nitrógeno

De acuerdo con la Figura 25, en el mes de octubre los niveles de NO_2 se mantuvieron entre 5 ppb y 34,5 ppb, valores muy por debajo del límite de 100 ppb establecido por la OMS. Esto confirma que las instituciones no están expuestas a fuentes significativas de este contaminante, y que la calidad del aire en este aspecto es buena. Cabe recalcar que las normas internacionales como la OMS y la PEA suelen expresar los límites del NO_2 en ppb para exposiciones ambientales. De acuerdo a como se indica a continuación: Límite OMS (exposición 1 hora): 100 ppb1 ppm = 1000 ppb

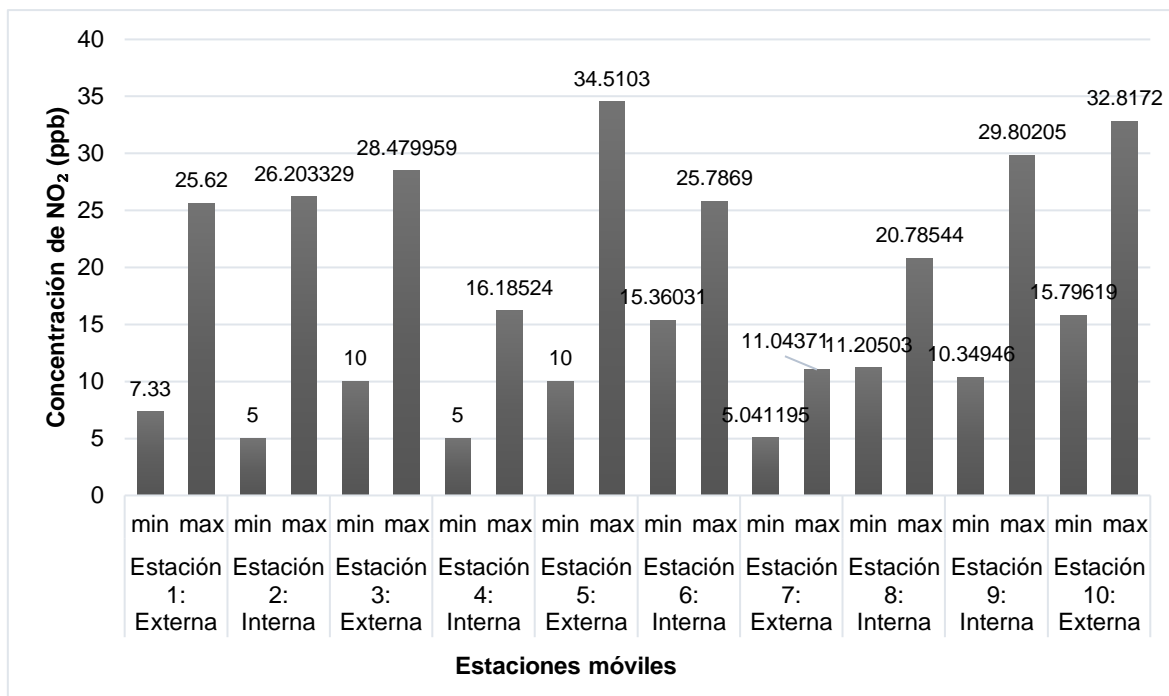


Figura 25: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre

Durante el mes de noviembre, las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) oscilaron entre 2,7 ppb y 47,9 ppb. En la Figura 26 se puede observar que el valor más alto se registró en la Estación 5 Externa, probablemente influenciado por el tránsito vehicular. Estos valores están muy por debajo del límite recomendado por la OMS, que es de 100 ppb para exposición a corto plazo. Por lo tanto, no representan un riesgo para la salud en las instituciones evaluadas. Las variaciones corresponden principalmente a fuentes externas como tráfico, así como a las condiciones de ventilación en las estaciones internas.

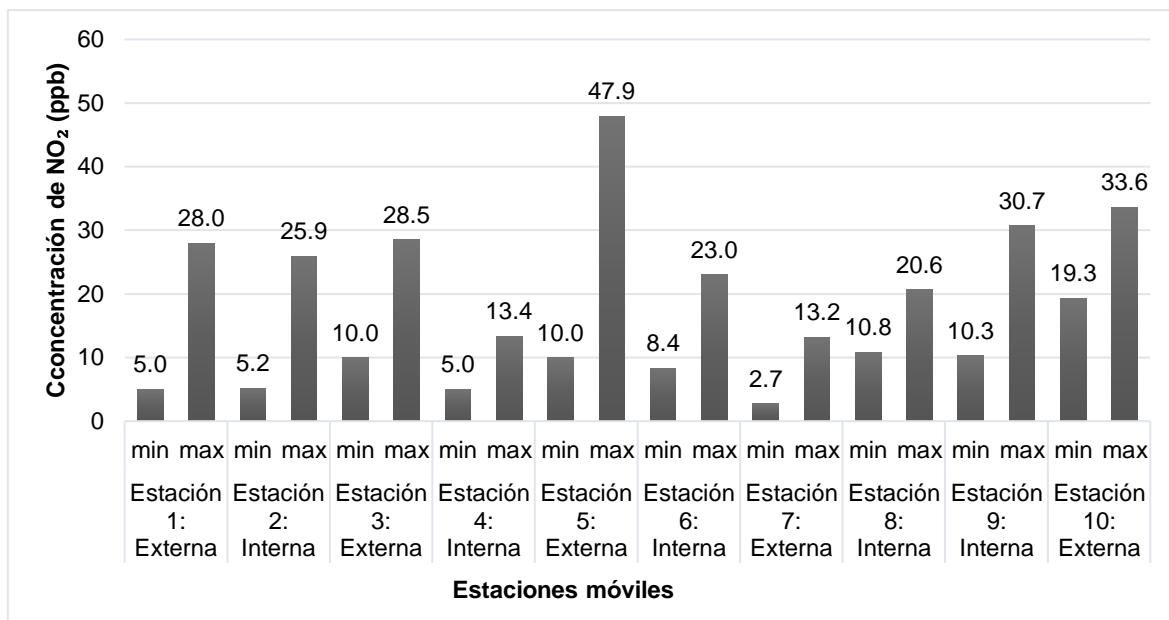


Figura 26: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

En diciembre las concentraciones de dióxido de nitrógeno (NO₂) variaron entre 5 ppb y 47,9 ppb en las diferentes estaciones evaluadas. Estos niveles se encuentran muy por debajo del límite permitido por la OMS, que es de 100 ppb para exposiciones a corto plazo (Figura 27).

Esto significa que la calidad del aire, en cuanto a este contaminante, no presenta riesgos para la salud de los estudiantes, profesores y personal de las instituciones. Los valores más altos se registraron en las estaciones externas, posiblemente debido a la cercanía de fuentes de tráfico vehicular o actividades relacionadas, mientras que en las internas los valores fueron más bajos, mostrando que no hay acumulación significativa en interiores.

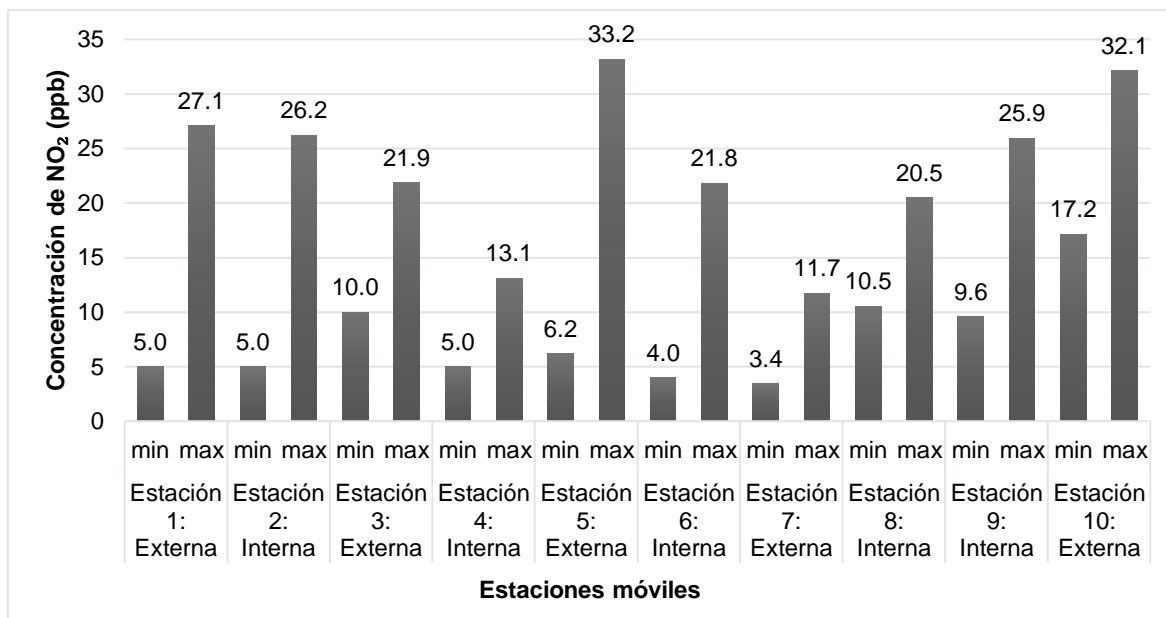


Figura 27: Niveles de concentración de dióxido de nitrógeno (NO₂) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.6 Concentración de material particulado fino (PM 2.5)

Durante el mes de octubre, los niveles de material particulado fino (PM 2.5) oscilaron entre 0,42 µg/m³ y 205,77 µg/m³. Los valores más altos se registraron en las estaciones externas, especialmente en la Estación 2 Externa (205,77 µg/m³) y la Estación 10 Externa (191,12 µg/m³), lo cual es consistente con su proximidad a fuentes directas de contaminación como vías de tráfico vehicular o actividades al aire libre que general polvo y partículas en suspensión (Figura 28). Estos valores superan el límite recomendado por la OMS, que establece un máximo de 25 µg/m³ para exposiciones de 24 horas, lo que evidencia episodios puntuales de mala calidad del aire en las zonas externas. En contraste, las estaciones internas presentan concentraciones significativamente menores, lo que sugiere que los espacios cerrados ofrecen cierta protección frente a la contaminación ambiental exterior.

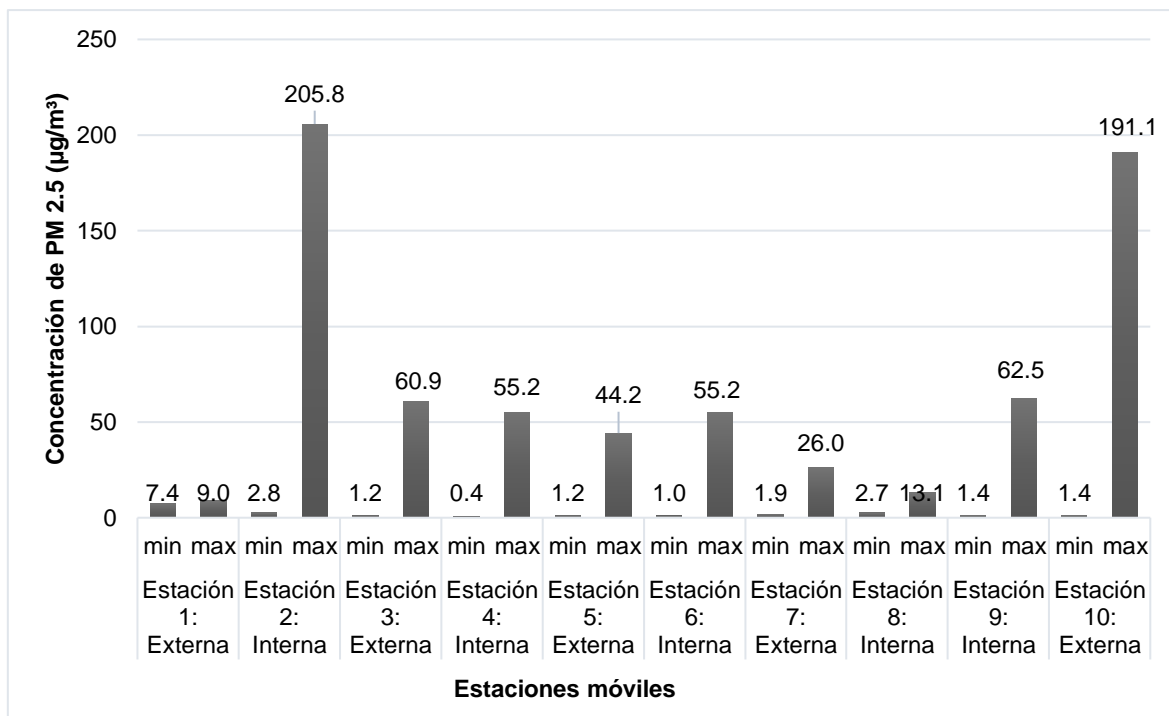


Figura 28: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre

Como lo muestra la Figura 29, durante el mes de noviembre, las concentraciones de material particulado fino (PM 2,5) oscilaron entre 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 328,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores más elevados se registraron en la Estación 6 Interna (328,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida de la Estación 5 Externa (269,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y la Estación 10 Externa (241,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Estas concentraciones superan los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para exposición diaria (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio diario), lo cual representa un riesgo claro para la salud respiratoria. Los resultados reflejan una mala calidad del aire en estas estaciones, atribuible a fuentes internas, acumulación de polvo, o contaminación de actividades industriales, tráfico o quema cercana.

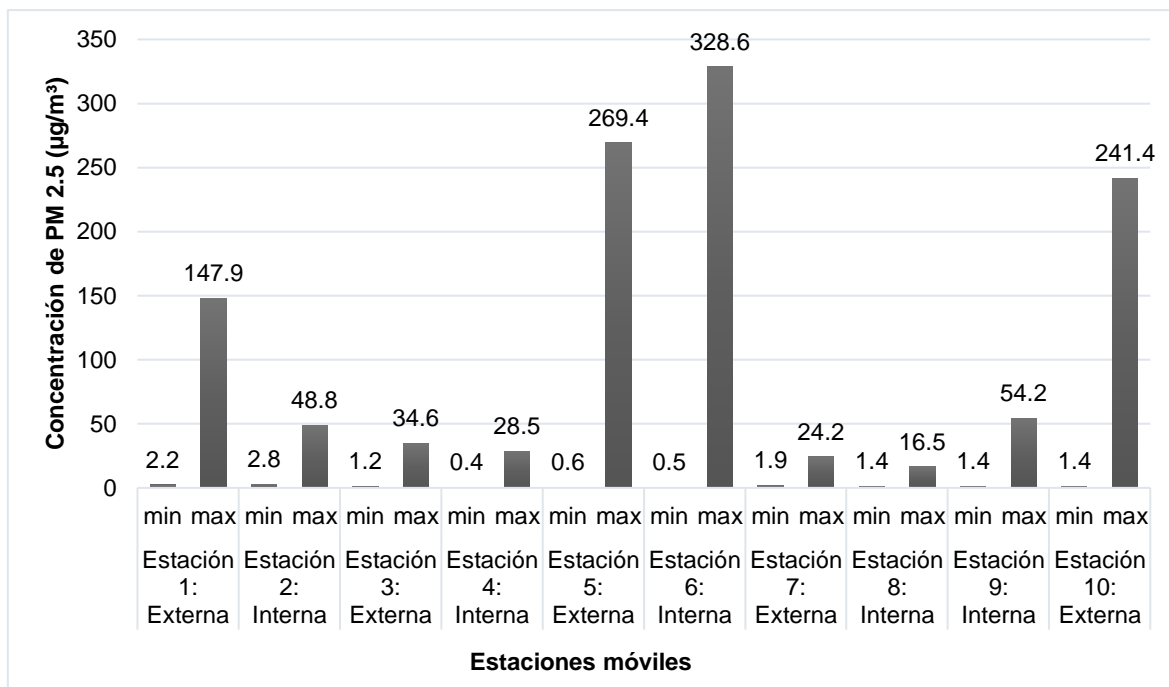


Figura 29: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

Durante el mes de diciembre (Figura 30), las concentraciones de material particulado fino (PM 2,5) oscilaron entre 1,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 326,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrándose los valores más altos en las estaciones externas, especialmente en la Estación 6 externa, lo cual puede estar relacionado con zonas de mayor exposición a polvo, tráfico vehicular y otras fuentes contaminantes al aire libre.

Las concentraciones internas fueron menores en comparación con las externas, lo que sugiere un efecto de protección en ambientes cerrados. Sin embargo, se observan algunas estaciones internas con valores que también superan los límites recomendados por la OMS (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas), lo cual puede afectar la salud de personas vulnerables como niños, adultos mayores o personas con enfermedades respiratorias. Estos resultados expuestos en la Figura 30 evidencian la influencia de factores ambientales externos sobre la calidad del aire, especialmente en sitios próximos a fuentes de emisión.

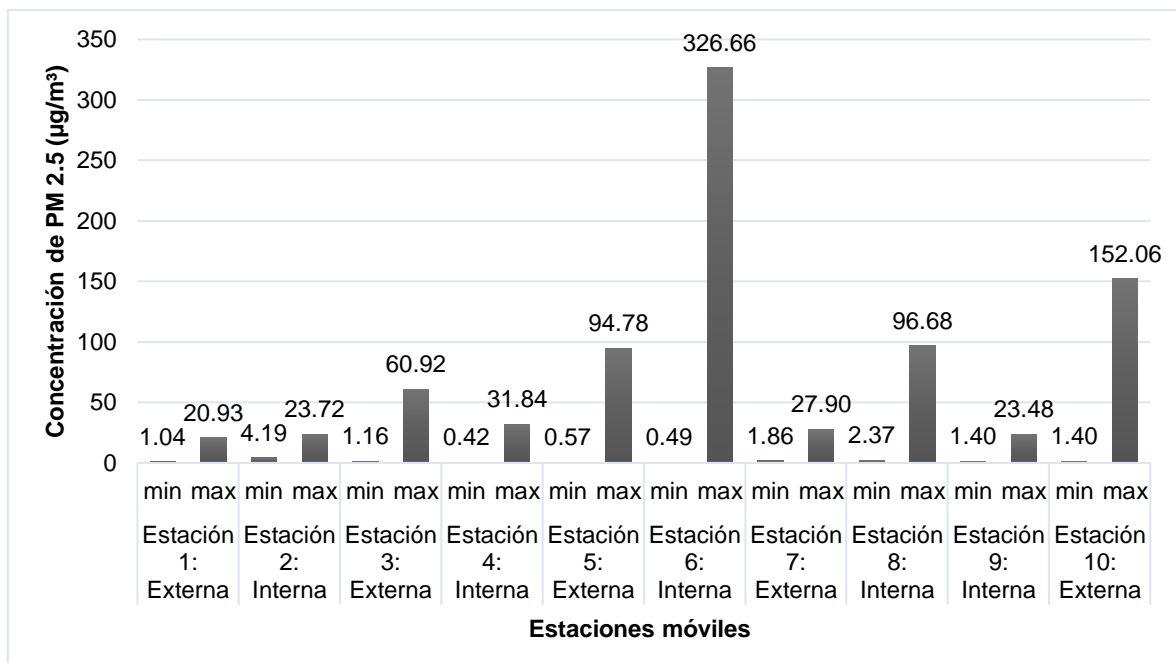


Figura 30: Niveles de concentración de material particulado fino (PM 2,5) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.7 Concentración de radiación UV

En cuanto a los niveles de radiación UV, los valores oscilaron entre 0 y 2 puntos en el índice UV en todas las estaciones, siendo los registros más altos en las estaciones 3 y 10 Externas, lo cual es lógico por su exposición directa al ambiente exterior (Figura 31).

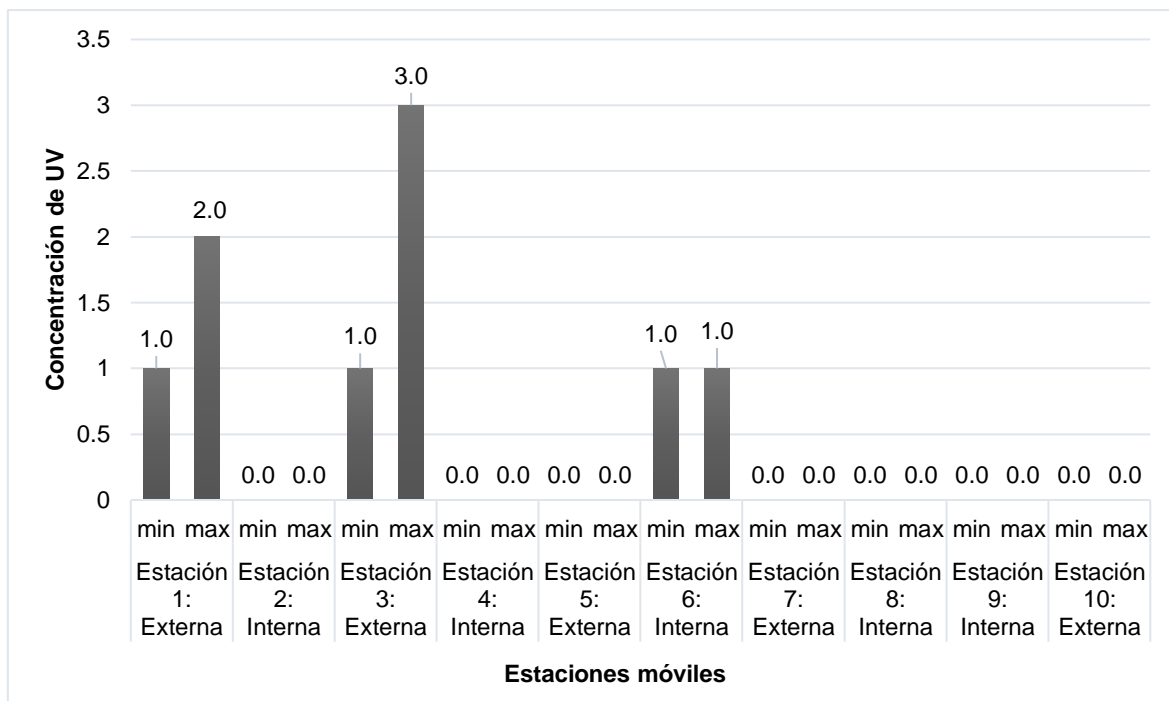


Figura 31: Niveles de concentración de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Estos valores son considerados muy bajos y no representan riesgo para la salud. Los niveles medidos corresponden a horarios de baja radiación solar (temprano en la mañana o final de la tarde), por lo que no se evidencian condiciones que requieran medidas de protección adicionales para los usuarios de las instituciones.

Según la Figura 32, durante el mes de noviembre, los niveles de radiación ultravioleta (UV) registrados oscilaron entre 0 y 11 unidades de índice UV. El valor más alto se observó en la Estación 1 externa (11 UV), mientras que el resto de las estaciones, tanto internas como externas, registraron valores bajos o nulos (0 a 2 UV).

El valor máximo de 11 UV representa un nivel extremo de radiación según la escala de la OMS, por lo que en esta estación en particular se recomienda evitar la exposición directa durante las horas pico sin la protección adecuada (ropa, gafas, protector solar).

En las estaciones internas, los valores fueron cero, confirmando que no existe exposición a radiación ultravioleta en interiores.

Estaciones externas: Máx. registrado 11 UV en estación 1 – Riesgo Muy Alto

Estaciones internas: 0 UV – sin riesgo

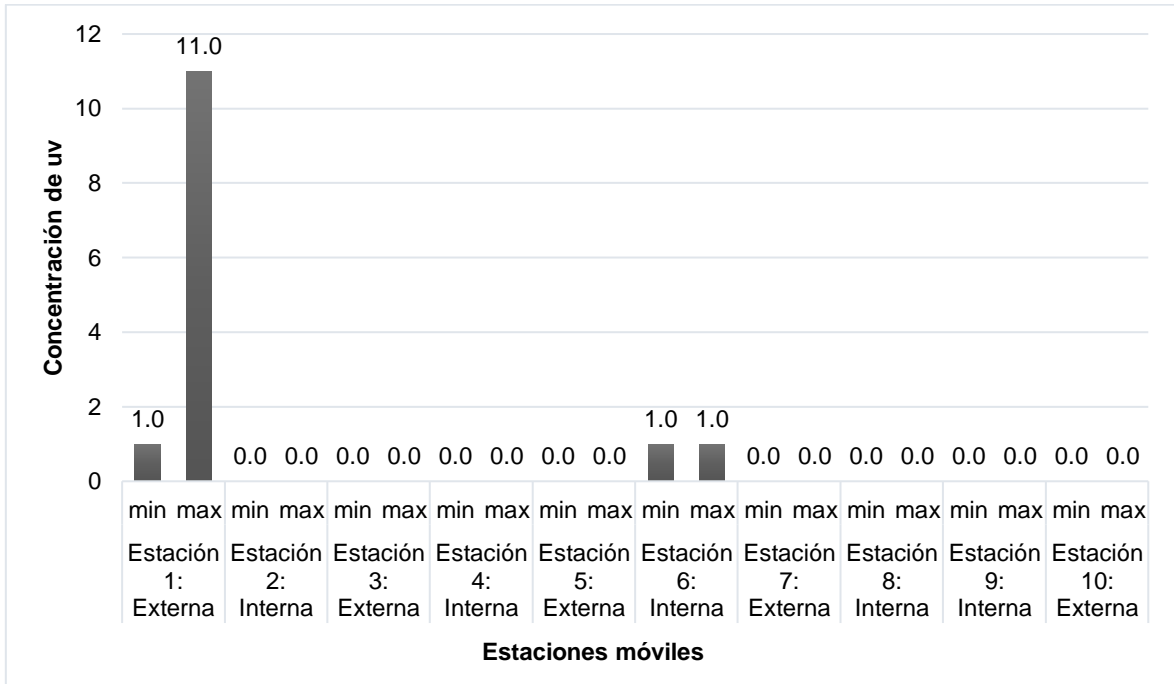


Figura 32: Niveles de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

En lo concerniente al mes de diciembre, en condiciones normales, los valores de UV no deberían superar las 11 unidades en exteriores durante días soleados (Figura 33). Por lo tanto, se sugiere revisar la calibración del equipo utilizado o verificar posibles errores en la toma de datos en dicha estación. En general, las demás estaciones no presentan niveles de UV que representen un riesgo para la salud (Sayara y Sánchez, 2020).

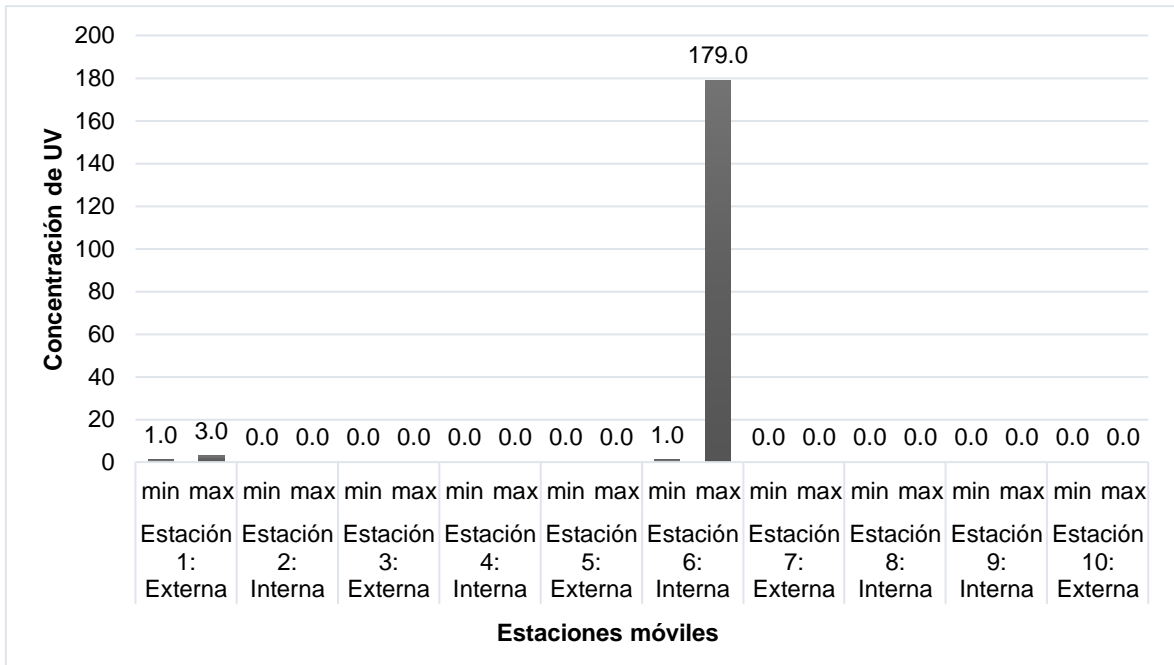


Figura 33: Niveles de radiación ultravioleta (UV) en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.1.8 Concentración de presión atmosférica

De acuerdo con la Figura 34, durante el mes de octubre, las mediciones de presión atmosférica oscilaron entre 742 hPa y 767 hPa en todas las estaciones, tanto internas como externas. Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales esperados para la región andina y para las altitudes registradas (aproximadamente entre 2400 y 2500 m.s.n.m.).

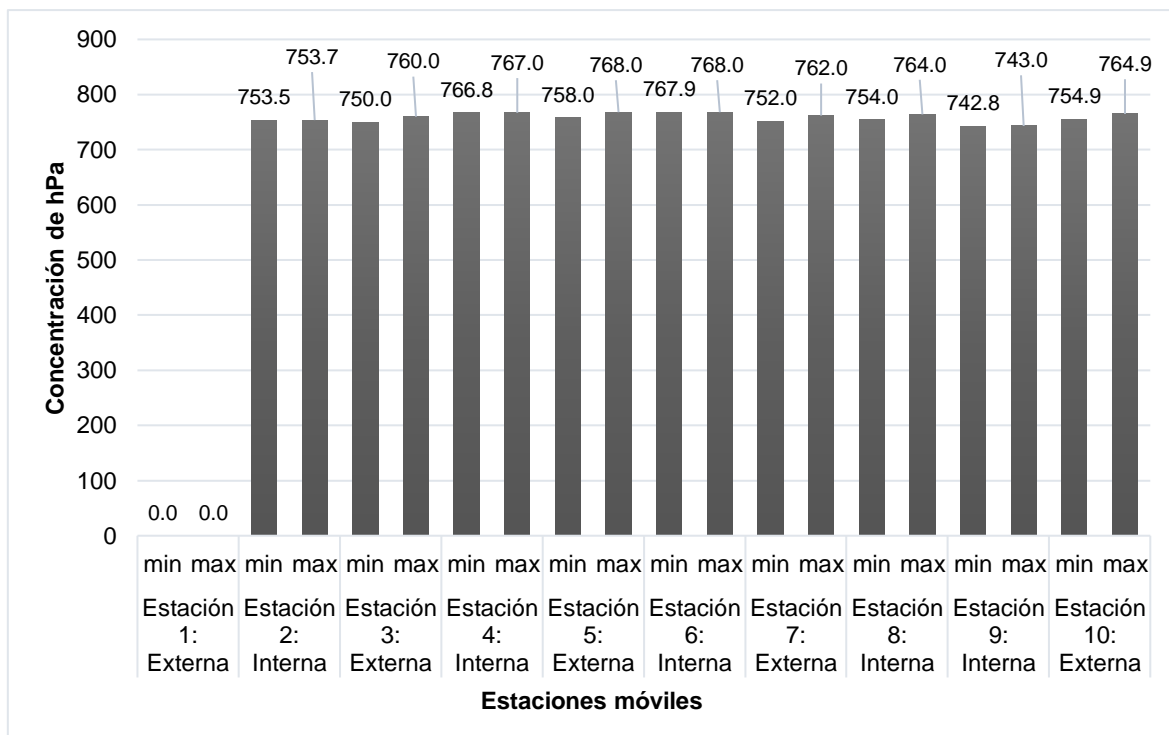


Figura 34: Niveles de concentración de hPa en las estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de octubre.

Las pequeñas variaciones registradas entre las diferentes estaciones responden a cambios meteorológicos habituales y a la altitud relativa de cada punto de monitoreo. No se observan anomalías que indiquen alteraciones ambientales relevantes o que puedan afectar la calidad del aire en las instituciones evaluadas. La presión atmosférica en sí no representa un riesgo directo para la salud, pero es importante como referencia para otros parámetros como la ventilación, la concentración de contaminantes y las condiciones de confort. Durante el mes de noviembre, los valores de presión atmosférica registrados oscilaron entre 167,5 hPa y 1006,7 hPa, con los valores más altos registrados en la Estación 1 Externa, que reflejan variaciones asociadas a las condiciones meteorológicas propias del entorno externo y la altitud. En cuanto a las estaciones internas se mantuvieron registros relativamente estables, entre 742 hPa y 768 hPa, coherentes con las condiciones de altitud y sin alteraciones que representen riesgo ambiental o afecten las actividades humanas. Dichas variaciones son propias del comportamiento atmosférico y constituyen

ningún riesgo para la salud o el medio ambiente dentro de las instituciones evaluadas (Figura 35).

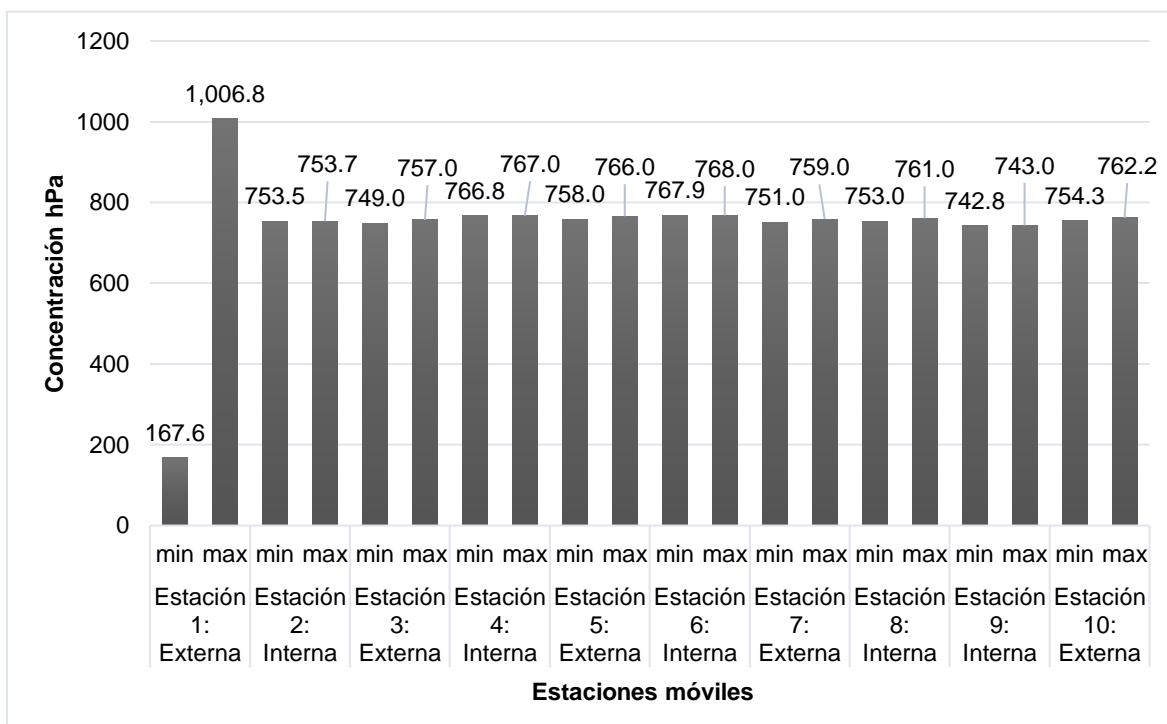


Figura 35: Niveles de concentración de presión atmosférica en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de noviembre.

En el mes de diciembre, los valores de presión atmosférica detallados en la Figura 36 indica que oscilaron entre 743,22 hPa y 767,89 hPa en las distintas estaciones internas y externas evaluadas. Se observa que las variaciones entre estaciones son mínimas, lo cual es característico de los patrones atmosféricos estables en la región (Alanya La Cruz y Bach Clemente Huamán, 2022).

Estos valores se encuentran dentro de los rangos normales para zonas ubicadas a altitudes medias, por lo que no representan afectación directa para la salud ni para las actividades diarias en las instituciones evaluadas. Las diferencias leves entre estaciones podrían estar relacionadas con la altitud y las condiciones meteorológicas locales.

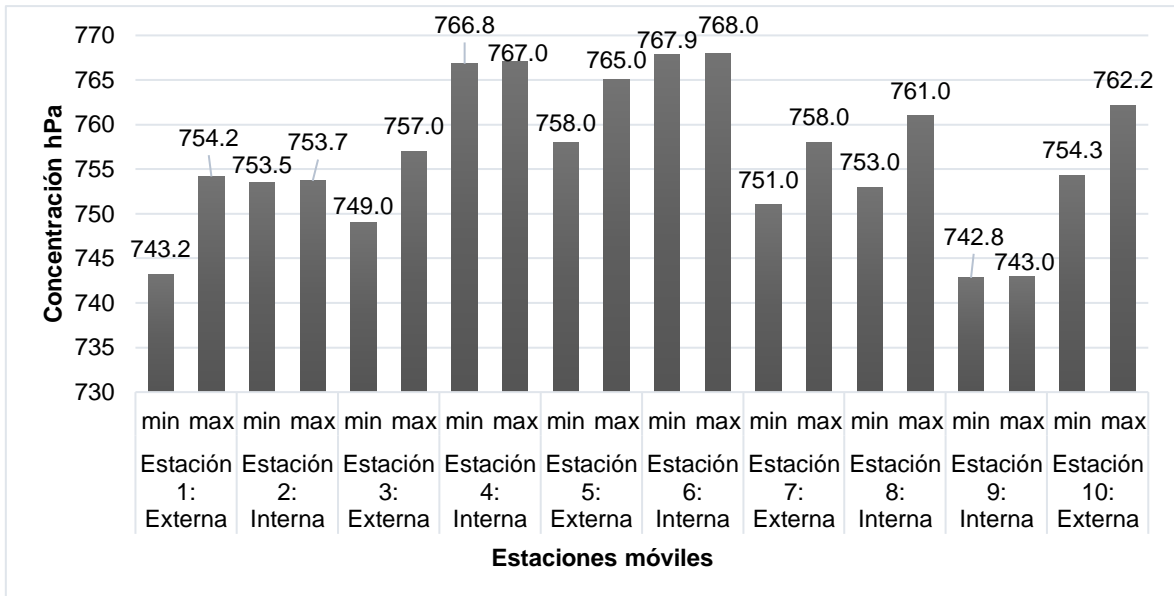


Figura 36: Niveles de concentración de presión atmosférica en las 10 estaciones móviles de muestreo (externos e internos), mes de diciembre.

4.2 Índice de calidad del aire en centros educativos del centro históricos de cuenca

El análisis del ICA de los centros educativos del centro histórico de la ciudad de Cuenca nos permite identificar cuáles son las zonas con mayores niveles de contaminación y con ello los posibles riesgos en la salud de la comunidad educativa. Para iniciar con el cálculo del Índice de Calidad de Aire para cada uno de los centros educativos, se determinó el promedio de concentración correspondiente a cada estación de muestreo, lo cual se muestra en las Tablas 7, 8, 9, 10 y 11.

Tabla 7:

Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Educativa San Francisco

Unidad Educativa San Francisco		Contaminante							
		CO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S	O ₃	PM2.5	Presión	UV
		ppm	ppm	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	hPa	
Estación 1	Externa	610	2,9	20,05	0,805	0,016	29	758,15	1
Estación 2	Interna	1775	1,05	18,25	0,51	0,02	36,5	721,5	6

Fuente: Datos recolectados en campo

Tabla 8:

Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Educativa Ciencias Económicas y Empresariales

Unidad Educativa Ciencias Económicas y Empresariales		Contaminante							
Estación	Tipo	CO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S	O ₃	PM2.5	Presión	UV
		ppm	ppm	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	hPa	
Estación 1	Externa	950	1,05	11,25	0,74	0,008	10,55	743,5	2
Estación 2	Interna	875	1,5	11,5	0,19	0,005	8,4	751,5	2

Fuente: Datos recolectados en campo

Tabla 9:

Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica

Estaciones		Contaminante							
Estación	Tipo	CO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S	O ₃	PM2.5	Presión	UV
		ppm	ppm	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	hPa	
Estación 1	Externa	490	1,1	12	0,725	0,005	15,5	762,5	2
Estación 2	Interna	625	2,25	11,25	0,7	0,05	4,25	760	1,5

Fuente: Datos recolectados en campo

Tabla 10:

Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Salud y Bienestar

Estaciones		Contaminante							
Estación	Tipo	CO ₂	CO	NO ₂	H ₂ S	O ₃	PM2.5	Presión	UV
		ppm	ppm	ppm	ppm	µg/m ³	µg/m ³	hPa	
Estación 1	Externa	725	2,25	6,75	0,825	0,005	4,25	755,5	2
Estación 2	Interna	570	1,4	16	0,665	0,005	4,9	737,5	11

Fuente: Datos recolectados en campo

Tabla 11:

Promedio de concentración de contaminantes en la estación móvil de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción

Estaciones		Contaminante							UV
		CO ₂ ppm	CO ppm	NO ₂ ppm	H ₂ S ppm	O ₃ µg/m ³	PM2.5 µg/m ³	Presión hPa	
Estación 1	Externa	800	14	7,75	0,69	0,055	0,8	760	1
Estación 2	Interna	775	7,75	19	0,77	0,004	4,25	753,5	1

Fuente: Datos recolectados en campo

Posteriormente, se convirtió estos promedios en subíndices ICA, expresados en la Tablas 13, 14, 15, 16 y 17 pero previamente en la Tabla 12 se muestran los rangos de la OMS 2021 para cada contaminante.

Tabla 12:

Rangos de la OMS por contaminante

Contaminante	Unidad	Niveles ICA (OMS 2021, ejemplo simplificado)
PM2.5	µg/m ³	0–12: Bueno (0–50), 12,1–35,4: Moderado (51–100), 35,5–55,4: Insalubre para sensibles (101–150), 55,5–150,4: Insalubre (151–200), >150: Muy insalubre (>200)
CO	Ppm	0–4,4: Bueno, 4,5–9,4: Moderado, 9,5–12,4: Insalubre sensibles, 12,5–15,4: Insalubre, >15,5: Muy insalubre
NO ₂	Ppm	0–0,053: Bueno, 0,054–0,100: Moderado, 0,101–0,360: Insalubre sensibles, 0,361–0,649: Insalubre, >0,65: Muy insalubre
O ₃	Ppm	0–0,054: Bueno, 0,055–0,070: Moderado, 0,071–0,085: Insalubre sensibles, 0,086–0,105: Insalubre, >0,105: Muy insalubre
H ₂ S	Ppm	0–1: Bueno, 1–5: Moderado, 5–10: Insalubre sensibles, 10–20: Insalubre, >20: Muy insalubre
CO ₂	Ppm	Normalmente no se usa para ICA, pero concentraciones >1000 ppm pueden considerarse alerta moderada
Presión y UV	hPa/UV	No se usan directamente para ICA

Fuente: Datos a partir de (OMS, 2021)

Ahora, con los datos obtenidos en campo y la aplicación de la fórmula para el cálculo del Índice de Calidad de Aire para cada uno de los centros educativos ubicados en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, se obtuvieron los siguientes resultados con su respectivo significado.

4.2.1 Índice de calidad del aire en la Unidad Educativa San Francisco

Tabla 13:

Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de la Unidad Educativa San Francisco

	Estación	PM2.5	Categoría	CO	Categoría	NO ₂	Categoría	O ₃	Categoría	H ₂ S	Categoría	CO ₂	Categoría
Unidad Educativa San Francisco	Externa	29	Moderado	2,9	Bueno	20,05	Muy insalubre	0,0155	Bueno	0,805	Bueno	610	Alerta moderada
	Interna	36,5	Insalubre sensibles	1,05	Bueno	18,25	Muy insalubre	0,02	Bueno	0,51	Bueno	1775	Alerta alta
Muy insalubre													

Fuente: Datos recolectados en campo y rangos OMS (OMS, 2021).

4.2.2 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales

Tabla 14:

Índice de calidad del aire por contaminante la estación móvil de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales

	Estación	PM2.5	Categoría	CO	Categoría	NO ₂	Categoría	O ₃	Categoría	H ₂ S	Categoría	CO ₂	Categoría
Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales	Interna	10,55	Bueno	1,05	Bueno	11,25	Muy insalubre	0,0075	Bueno	0,74	Bueno	950	Alerta moderada
	Externa	8,4	Bueno	1,5	Bueno	11,5	Muy insalubre	0,005	Bueno	0,19	Bueno	875	Alerta moderada
Muy insalubre													

Fuente: Datos de resultados obtenidos en campo y rangos OMS (OMS, 2021).

4.2.3 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica

Tabla 15:

Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica

Unidad	Estación	PM2.5	Categoría	CO	Categoría	NO ₂	Categoría	O ₃	Categoría	H ₂ S	Categoría	CO ₂	Categoría
Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica	Externa	15,5	Moderado	1,1	Bueno	12	Muy insalubre	0,005	Bueno	0,725	Bueno	490	Normal
	Interna	4,25	Bueno	2,25	Bueno	11,25	Muy insalubre	0,05	Bueno	0,7	Bueno	625	Alerta moderada
Muy insalubre													

Fuente: Datos recolectados en campo y rangos OMS (OMS, 2021).

4.2.4 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Salud y Bienestar

Tabla 16:

Índice de calidad del aire por contaminante la estación móvil de la Unidad Académica de Salud y Bienestar

Unidad	Estación	PM2.5	Categoría	CO	Categoría	NO ₂	Categoría	O ₃	Categoría	H ₂ S	Categoría	CO ₂	Categoría
Académica de Salud y Bienestar	Externa	4,25	Bueno	2,25	Bueno	6,75	Muy insalubre	0,005	Bueno	0,825	Bueno	725	Alerta moderada
	Interna	4,9	Bueno	1,4	Bueno	16	Muy insalubre	0,005	Bueno	0,665	Bueno	570	Alerta moderada
Muy insalubre													

Fuente: Datos recolectados en campo y rangos OMS (OMS, 2021).

4.2.5 Índice de calidad del aire en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción

Tabla 17:

Índice de calidad del aire por contaminante en la estación móvil de Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción

Unidad	Estación	PM2.5	Categoría	CO	Categoría	NO ₂	Categoría	O ₃	Categoría	H ₂ S	Categoría	CO ₂	Categoría
Académica de Ingeniería, Industria y Construcción	Externa	0,8	Bueno	14	Insalubre sensibles	7,75	Muy insalubre	0,055	Moderado	0,69	Bueno	800	Alerta moderada
	Interna	4,25	Bueno	7,75	Moderado	19	Muy insalubre	0,0035	Bueno	0,77	Bueno	775	Alerta moderada
Muy insalubre													

Fuente: Datos recolectados en campo y rangos OMS (OMS, 2021).

4.3 Comparación de las concentraciones de contaminantes con los valores permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente

Para realizar la comparación de los resultados de las concentraciones de los contaminantes con los valores de Límites Máximos Permisibles (Tablas 18, 19, 20, 21 y 22), se tomó como referencia de Legislación Ambiental Vigente Ecuatoriana a la Norma de Calidad de Aire Ambiente. En las cuales, los valores escritos en color verde indican que se encuentran dentro de norma, y aquellos escritos de color rojo son aquellos que están superando los límites máximos permisibles mencionados.

4.3.1 Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Educativa San Francisco con la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 18:

Índice de calidad del aire y valores permisibles en la Unidad Educativa San Francisco

	Unidad Educativa San Francisco	ICA		Valor permisible Ecuador
		Interna	Externa	
Contaminante	PM 2,5 µg/m ³	38,26	48,15	25
	CO ppm	3,83	1,39	10
	NO ₂ ppm	26,45	24,08	0,1
	O ₃ ppm	0,02	0,03	0,08
	H ₂ S ppm	1,06	0,67	0,03
	CO ₂ ppm	804,71	2341,58	1000

Fuente: Datos a partir de resultados obtenidos en campo y normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2011)

4.3.2 Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales con la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 19:

Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales

	Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales	ICA		Valor permisible Ecuador
		Interna	Externa	
Contaminante	PM 2,5 µg/m ³	13,92	11,08	25
	CO ppm	1,39	1,98	10
	NO ₂ ppm	14,84	15,17	0,1
	O ₃ ppm	0,01	0,007	0,08
	H ₂ S ppm	0,98	0,25	0,03
	CO ₂ ppm	1253,24	1154,30	1000

Fuente: Datos a partir de resultados obtenidos en campo y normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2011)

4.3.3 Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica con la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 20:

Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica

	Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica	ICA		Valor permisible Ecuador
		Interna	Externa	
Contaminante	PM 2,5 µg/m ³	20,45	5,61	25
	CO ppm	1,45	2,97	10
	NO ₂ ppm	15,83	14,84	0,1
	O ₃ ppm	0,007	0,07	0,08
	H ₂ S ppm	0,96	0,92	0,03
	CO ₂ ppm	646,41	824,50	1000

Fuente: Datos a partir de resultados obtenidos en campo y normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2011)

4.3.4 Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Salud y Bienestar con la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 21:

Índice de calidad de aire y valores permisibles en la Unidad Académica de Salud y Bienestar

	Unidad Académica de Salud y Bienestar	ICA		Valor permisible Ecuador
		Interna	Externa	
Contaminante	PM 2,5 µg/m ³	5,61	6,46	25
	CO ppm	2,97	1,85	10
	NO ₂ ppm	8,90	21,11	0,1
	O ₃ ppm	0,007	0,007	0,08
	H ₂ S ppm	1,09	0,88	0,03
	CO ₂ ppm	956,42	751,94	1000

Fuente: Datos a partir de resultados obtenidos en campo y normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2011)

4.3.5 Comparación de la concentración de contaminantes de la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción con la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 22:

Índice de calidad de aire y valor permisible en la Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.

	Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.	ICA		Valor permisible
		Interna	Externa	Ecuador
Contaminante	PM 2,5 µg/m ³	1,06	5,61	25
	CO ppm	18,47	10,22	10
	NO ₂ ppm	10,22	25,06	0,1
	O ₃ ppm	0,07	0,005	0,08
	H ₂ S ppm	0,91	1,02	0,03
	CO ₂ ppm	1055,36	1022,38	1000

Fuente: Datos a partir de resultados obtenidos en campo y normativa ambiental vigente (Ministerio del Ambiente, 2011)

Con base en los resultados presentados, se observa que varios contaminantes superan el valor permisible en especial en espacios interiores. Es por eso por lo que se proponen las siguientes recomendaciones:

- Mejorar la ventilación natural y mecánica en aulas.
- Reorganizar horarios de actividades físicas al aire libre.
- Implementar zonas de restricción vehicular en horarios pico.
- Fortalecer el monitoreo continuo con plataformas IoT como ThingSpeak para alertas tempranas.

DISCUSIÓN

En lo concerniente a la verificación de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos por medio de las estaciones móviles se evidenció que las concentraciones de CO, NO₂, H₂S, O₃, presión atmosférica y UV se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por el Código Orgánico del Ambiente. Las concentraciones de CO₂ superaron el umbral de confort interior (1000 ppm) en varias estaciones internas, indicando deficiencias de ventilación y que las concentraciones de PM_{2.5} excedieron los límites recomendados por la OMS (25 µg/m³) en múltiples estaciones, especialmente externas, lo que representa un riesgo potencial para la salud respiratoria.

El ICA en las instituciones educativas develó que, para CO, H₂S, O₃ y presión atmosférica se clasificó como “bueno”. En el caso del CO₂ se categorizó como “alerta moderada” o “alerta alta” en interiores, lo que sugiere una acumulación en espacios cerrados como lo señalado por Bedi et al. (2021), además que puede ser peligroso para los estudiantes, debido a que los niveles elevados de CO₂, se relacionan con disminución en el rendimiento cognitivo como señalan Carneiro et al. (2021).

Para el NO₂ en todas las instituciones se clasificó como “muy insalubre” determinando que existe sensibilidad del índice ante este contaminante, siendo esta una característica evidenciada por Cantú (2023) quien menciona que incluso exposiciones moderadas a NO₂ pueden tener efectos inflamatorios en vías respiratorias, especialmente en poblaciones sensibles como escolares. Por otra parte, el PM_{2.5} varió entre “bueno” y “muy insalubre” siendo representativo en exteriores, lo que coincide con el estudio de Heissel et al. (2022) quienes subrayan que la exposición a partículas finas en escuelas urbanas puede superar los límites diarios recomendados, afectando el desarrollo pulmonar infantil.

A su vez, el análisis temporal reveló concentraciones pico por parte de CO, NO₂ y PM_{2.5} identificados principalmente por la alta actividad vehicular. Este patrón ha sido documentado por Carneiro et al. (2021) quienes establecieron que las escuelas cercanas

a vías transitadas presentan mayores niveles de contaminantes en horas pico. El CO₂ mostró acumulación progresiva en interiores lo que sugiere una baja ventilación concordando con Yang et al. (2025). En el caso de las estaciones externas registraron mayor variabilidad en ozono y radiación UV. Por lo que, al comparar con la normativa vigente, se identificaron varios episodios de mala calidad del aire, especialmente en PM_{2.5} y CO₂.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

La verificación de las concentraciones de contaminantes atmosféricos mediante estaciones móviles permitió identificar que, en general, los niveles de CO, NO₂, H₂S, O₃, presión atmosférica y radiación UV se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana, sin representar riesgos inmediatos para la salud. Sin embargo, se evidenciaron concentraciones elevadas de CO₂ en espacios interiores, superando el umbral de confort (1000 ppm), y niveles críticos de PM_{2.5} en varias estaciones externas e internas, lo que indica una exposición significativa a partículas finas. Estos hallazgos confirman la utilidad de las estaciones móviles como herramienta efectiva para el monitoreo ambiental en entornos escolares.

El cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) en los centros educativos reveló que, aunque la mayoría de los contaminantes se clasificaron como “buenos” o “moderados”, el PM_{2.5} y el CO₂ presentaron categorías de “insalubre para sensibles” y de “alerta alta” en varias estaciones, especialmente internas. Además, el NO₂ fue categorizado como “muy insalubre” en todos los centros, lo que evidencia la sensibilidad del índice ante este contaminante.

El análisis temporal de los contaminantes atmosféricos mostró patrones consistentes de variabilidad, con picos de concentración en varios contaminantes. La acumulación de CO₂ en aulas cerradas y los niveles elevados de PM_{2.5} en estaciones externas reflejan una interacción directa entre la actividad humana, el entorno urbano y la calidad del aire. Estos resultados, comparados con la normativa vigente, permiten concluir que existen episodios de mala calidad del aire que podrían afectar la salud de la comunidad educativa. Se recomienda mejorar la ventilación, reorganizar horarios de actividades al aire libre y establecer zonas de restricción vehicular como medidas prioritarias para mitigar estos impactos.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

1. Es necesario implementar sistemas de ventilación natural o mecánica en las aulas y espacios cerrados de las instituciones donde se registraron concentraciones de CO₂ superiores a 1000 ppm, para garantizar una mejor calidad del aire interior y prevenir afectaciones en el confort y rendimiento de los estudiantes y docentes.
2. Se recomienda reforzar las estrategias de control de emisiones externas, como mejorar las barreras naturales (vegetación) y evitar actividades generadoras de polvo cerca de las instalaciones educativas, debido a que las concentraciones de PM_{2.5} en exteriores superaron los límites recomendados por la OMS (25 µg/m³).
3. Aunque los niveles de CO, H₂S y O₃ no sobrepasan los límites permisibles de exposición ocupacional establecidos por las normas del Código Orgánico del Ambiente y OMS en ciertas estaciones, es importante mantener un monitoreo continuo para detectar posibles variaciones a futuro, especialmente en zonas externas con alto tránsito vehicular.
4. Se recomienda realizar campañas educativas para la comunidad sobre la importancia de mantener las ventanas abiertas y reducir actividades que generen contaminantes internos (uso de aerosoles, quema de materiales, entre otros).
5. Hacer un monitoreo periódico de los parámetros ambientales para asegurar el cumplimiento de las normativas internacionales de calidad del aire, así como para evaluar la efectividad de las medidas de mejora implementadas.
6. Se debe considerar la instalación de sensores de bajo costo en puntos críticos para mantener un control constante de la calidad del aire, especialmente para CO₂ y PM_{2.5}, que fueron los parámetros más críticos.
7. En las instituciones donde se identificaron mayores niveles de contaminación externa, se sugiere trabajar de forma coordinada con las autoridades locales para reducir las fuentes móviles y estacionarias que puedan estar afectando el entorno escolar.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abidin, A. U., Munawaroh, A. L., Rosinta, A., Sulistiyani, A. T., Ardianta, I., & Iresha, F. M. (2025). Environmental health risks and impacts of PM_{2.5} exposure on human health in residential areas, Bantul, Yogyakarta, Indonesia. *Toxicology Reports*, 14, 101949. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2025.101949>
- Académico Microbiología Y Parasitología, D. DE. (2019). *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Facultad De Ciencias Biológicas*.
- Alter, N. C., Whitman, E. M., Bellinger, D. C., & Landrigan, P. J. (2024). Quantifying the association between PM_{2.5} air pollution and IQ loss in children: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Health*, 23(1), 101. <https://doi.org/10.1186/s12940-024-01122-x>
- Arciniegas, C. (2012). Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀. *Luna Azul*, 3(4), 68–94.
- Baloch, R. M., Maesano, C. N., Christoffersen, J., Banerjee, S., Gabriel, M., Csobod, É., de Oliveira Fernandes, E., Annesi-Maesano, I., Csobod, É., Szuppinger, P., Prokai, R., Farkas, P., Fuzi, C., Cani, E., Draganic, J., Mogyorosy, E. R., Korac, Z., de Oliveira Fernandes, E., Ventura, G., ... Dewolf, M.-C. (2020). Indoor air pollution, physical and comfort parameters related to schoolchildren's health: Data from the European SINPHONIE study. *Science of The Total Environment*, 739, 139870. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139870>
- Chandra, M., Rai, C. B., Kumari, N., Sandhu, V. K., Chandra, K., Krishna, M., Kota, S. H., Anand, K. S., & Oudin, A. (2022). Air Pollution and Cognitive Impairment across the Life Course in Humans: A Systematic Review with Specific Focus on Income Level of Study Area. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1405. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031405>
- Chen, Z., Liu, N., Tang, H., Gao, X., Zhang, Y., Kan, H., Deng, F., Zhao, B., Zeng, X., Sun, Y., Qian, H., Liu, W., Mo, J., Zheng, X., Huang, C., Sun, C., & Zhao, Z. (2022). Health effects of exposure to sulfur dioxide, nitrogen dioxide, ozone, and carbón monoxide between 1980 and 2019: A systematic review and meta-analysis. *Indoor Air*, 32(11). <https://doi.org/10.1111/ina.13170>
- Claesen, J. L. A., Wheeler, A. J., Klabbers, G., Gonzalez, D. D., Molina, M. A., Tham, R., Nieuwenhuijsen, M., & Carver, A. (2021). Associations of traffic-related air pollution and

- greenery with academic outcomes among primary schoolchildren. *Environmental Research*, 199, 111325. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111325>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). *Registro Oficial Suplemento 983*, 12 de abril de 2017.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449*, 20 de octubre de 2008.
- De Orellana, F., El, M., & Pleurotus, H. (2016). *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo "Biorremediación De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos De La Parroquia Taracoa*.
- Empresa Pública de Movilidad (EMOVE). (2020). *Norma de calidad del aire ambiente (NCAA)*.
- Enlight. (2024). *Los 110 países más contaminantes del mundo*. Clean Energy Microgrids: <https://www.enlight.mx/blog/paises-mas-contaminantes-del-mundo>
- EPA. (2021). *Indoor Air Quality: What are the trends in indoor air quality and their effects on human health?* Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/report-environment/indoor-air-quality>
- Faherty, T., Raymond, J. E., mcfiggans, G., & Pope, F. D. (2025). Acute particulate matter exposure diminishes executive cognitive functioning after four hours regardless of inhalation pathway. *Nature Communications*, 16(1), 1339. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56508-3>
- Gabriela Pérez Naranjo, C., Maurice, L., Ochoa-Herrera, V., López, F., Egas, D. A., Lagane, C., Besson, P., & Zambrano, C. (2015). *Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador* (Vol. 7, Issue 2). [Http://avances.usfq.edu.ec](http://avances.usfq.edu.ec)
- Gawande, S., Tiwari, R., Narayanan, P., & Bhadri, A. (2020). Indoor air quality and sick building syndrome: ¿Are green buildings better than conventional buildings? *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 24(1), 30. https://doi.org/10.4103/ijoem.IJOEM_148_19
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Cuenca. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Sinincay 2015–2030*. Cuenca, Ecuador: PDOT. <https://www.cuenca.gob.ec/content/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- González-Rojas, A., de la Fuente-Mella, H., Parra, S., Cancino-Haas, F., Coiro-Nicolas, C., Godoy-Saavedra, J., Pastén-Torres, M., Verdejo-Zamora, E., Dotte-González, A., Salinas, P., Valencia-Narbona, M., Achiardi, O., Granada-Granada, F., Lizana, P. A., & Bravo, M. A. (2025). Assessing the Impact of Exposure to PM2.5 Air Pollution on the Academic

Performance of Schoolchildren in Chile. *Applied Sciences*, 15(10), 5474. <https://doi.org/10.3390/app15105474>

Hilly, J. J., Singh, K. R., Jagals, P., Mani, F. S., Turagabeci, A., Ashworth, M., Matak, M., Morawska, L., Knibbs, L. D., Stuetz, R. M., & Dansie, A. P. (2024). Review of scientific research on air quality and environmental health risk and impact for PICTS. *Science of The Total Environment*, 942, 173628. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173628>

Horn, S. A., & Dasgupta, P. K. (2024). The Air Quality Index (AQI) in historical and analytical perspective a tutorial review. *Talanta*, 267, 125260. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2023.125260>

Huang, W., Xu, H., Wu, J., Ren, M., Ke, Y., & Qiao, J. (2024). Toward cleaner air and better health: Current state, challenges, and priorities. *Science*, 385(6707), 386–390. <https://doi.org/10.1126/science.adp7832>

Hurtado-Díaz, M., Riojas-Rodríguez, H., Rothenberg, S. J., Schnaas-Arrieta, L., Kloog, I., Just, A., Hernández-Bonilla, D., Wright, R. O., & Téllez-Rojo, M. M. (2021). Prenatal PM_{2.5} exposure and neurodevelopment at 2 years of age in a birth cohort from Mexico City. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 233, 113695. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113695>

Ivanova, V. R. (2020). The anthropogenic air pollution and human health. *Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)*, 26(2), 3057–3062. <https://doi.org/10.5272/jimab.2020262.3057>

Kerckhoffs, J., Hofman, J., Khan, J., Adams, M. D., Blanco, M. N., desouza, P., Durant, J. L., Faridi, S., Fruin, S., Hankey, S., Hassanvand, M. S., Hatzopoulou, M., Hoek, G., de Hoogh, K., Hudda, N., Kushwaha, M., Marshall, J. D., Minet, L., Patton, A. P., ... Amini, H. (2025). Mobile monitoring of air pollution – a position paper on use cases, good practices, challenges, and opportunities. *Environment International*, 202, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109582>

Khajeamiri, Y., Sharifi, S., Moradpour, N., & Khajeamiri, A. (2021). A review on the effect of air pollution and exposure to PM, NO₂, O₃, SO₂, CO and heavy metals on viral respiratory infections. *Journal of Air Pollution and Health*. <https://doi.org/10.18502/japh.v5i4.6445>

Likhar, A., Baghel, P., & Patil, M. (2022). Early Childhood Development and Social Determinants. *Cureus*, 14(9), e29500. <https://doi.org/10.7759/cureus.29500>

- Lim, Y.-H., Bilsteen, J. F., Mortensen, L. H., Lanzky, L. R. M., Zhang, J., Tuffier, S., Brandt, J., Ketzel, M., Flensburg-Madsen, T., Wimmelmann, C. L., Okholm, G. T., Hegelund, E. R., Napolitano, G. M., Andersen, Z. J., & Loft, S. (2024). Lifetime exposure to air pollution and academic achievement: A nationwide cohort study in Denmark. *Environment International*, *185*, 108500. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108500>
- Liu, Y., Wang, P., Li, Y., Wen, L., & Deng, X. (2022). Air quality prediction models based on meteorological factors and real-time data of industrial waste gas. *Scientific Reports*, *12*(1), 9253. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13579-2>
- Lu, X., Zhang, S., Xing, J., Wang, Y., Chen, W., Ding, D., Wu, Y., Wang, S., Duan, L., & Hao, J. (2020). Progress of Air Pollution Control in China and Its Challenges and Opportunities in the Ecological Civilization Era. *Engineering*, *6*(12), 1423–1431. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.03.014>
- Magloire, I., Okitundu, D., Matanda, R., Nyembue Tshipukane, D., Kenda Makopa, I., Sokolo Gedikondele, J., & Mambueni Thamba, C. (2022). Effects of Environmental Noise on School Performance among Hearing-Impaired Students. *International Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*, *11*(05), 242–257. <https://doi.org/10.4236/ijohns.2022.115026>
- Maji, S., Ahmed, S., Kaur-Sidhu, M., Mor, S., & Ravindra, K. (2023). Health Risks of Major Air Pollutants, their Drivers and Mitigation Strategies: A Review. *Air, Soil and Water Research*, *16*. <https://doi.org/10.1177/11786221231154659>
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*, *8* (1), 123-145. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Manzueta, R., Kumar, P., Ariño, A. H., & Martín-Gómez, C. (2024). Strategies to reduce air pollution emissions from urban residential buildings. *Science of The Total Environment*, *951*, 175809. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175809>
- Martino, R. J., Dyke, H. J. C., Gao, C. X., Knibbs, L. D., & Johnston, F. H. (2025). Evaluation of the association between air pollution and academic performance in school-aged children in Australia. *Environmental Research Letters*, *20*(8), 084009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ade7a2>

- Matilla, A. L., Velilla, J. P. D., Zaragoza-Benzal, A., Fernández, D., & Santos, P. (2023). Experimental Study of Indoor Air Quality in Educational Buildings: A Spanish Case Study. *Buildings*, *13*(11), 2780. <https://doi.org/10.3390/buildings13112780>
- Medrano, J., Crnosija, N., Prather, R. W., & Payne-Sturges, D. (2022). Bridging the environment and neurodevelopment for children's health: Associations between real-time air pollutant exposures and cognitive outcomes. *Frontiers in Psychology*, *13*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.933327>
- Meo, S. A., Shaikh, N., Alotaibi, M., alwabel, A. A., & Alqumaidi, H. (2024). Effect of air pollutants particulate matter (PM2.5, PM10), sulfur dioxide (SO2) and ozone (O3) on cognitive health. *Scientific Reports*, *14*(1), 19616. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70646-6>
- Miller, M. R. (2022). The cardiovascular effects of air pollution: Prevention and reversal by pharmacological agents. *Pharmacology & Therapeutics*, *232*, 107996. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2021.107996>
- Milojevic, A., Dutey-Magni, P., Dearden, L., & Wilkinson, P. (2021). Lifelong exposure to air pollution and cognitive development in young children: the UK Millennium Cohort Study. *Environmental Research Letters*, *16*(5), 055023. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe90c>
- Ministerio del Ambiente. (2025). *Día Interamericano de la Calidad de Aire. Gobierno del Ecuador*. Retrieved July 21, 2025, from <https://www.ambiente.gob.ec/dia-interamericano-de-la-calidad-de-aire/>
- Nguyen, G. T. H., Hoang-Cong, H., & Là, L. T. (2023). Statistical Analysis for Understanding PM2.5 Air Quality and the Impacts of COVID-19 Social Distancing in Several Provinces and Cities in Vietnam. *Water, Air, & Soil Pollution*, *234*(2), 85. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06113-1>
- Noël, C., Vanroelen, C., & Gadeyne, S. (2021). Qualitative research about public health risk perceptions on ambient air pollution. A review study. *SSM - Population Health*, *15*, 100879. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100879>
- Odo, D. B., Yang, I. A., Dey, S., Hammer, M. S., van Donkelaar, A., Martin, R. V., Dong, G.-H., Yang, B.-Y., Hystad, P., & Knibbs, L. D. (2023). A cross-sectional analysis of long-term exposure to ambient air pollution and cognitive development in children aged 3–4 years living in 12 low- and middle-income countries. *Environmental Pollution*, *318*, 120916. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120916>

- OMS. (2024, October 24). *Contaminación del aire ambiente (exterior) y salud*. OMS. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Parra, R., & Espinoza, C. (2020). Insights for Air Quality Management from Modeling and Record Studies in Cuenca, Ecuador. *Atmosphere*, 11(9), 998. <https://doi.org/10.3390/atmos11090998>
- Parra, S., de la Fuente-Mella, H., González-Rojas, A., & Bravo, M. A. (2024). Exposure to Environmental Pollution in Schools of Puchuncaví, Chile: Characterization of Heavy Metals, Health Risk Assessment, and Effects on Children's Academic Performance. *Sustainability*, 16(6), 2518. <https://doi.org/10.3390/su16062518>
- Priti, K., & Kumar, P. (2022). A critical evaluation of air quality index models (1960–2021). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(5), 324. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09896-8>
- Pulimeno, M., Piscitelli, P., Colazzo, S., Colao, A., & Miani, A. (2020). Indoor air quality at school and students' performance: Recommendations of the UNESCO Chair on Health Education and Sustainable Development & the Italian Society of Environmental Medicine (SIMA). *Health Promotion Perspectives*, 10(3), 169–174. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>
- Reuben, A., Arseneault, L., Beddows, A., Beevers, S. D., Moffitt, T. E., Ambler, A., Latham, R. M., Newbury, J. B., Odgers, C. L., Schaefer, J. D., & Fisher, H. L. (2021). Association of Air Pollution Exposure in Childhood and Adolescence with Psychopathology at the Transition to Adulthood. *JAMA Network Open*, 4(4), e217508. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.7508>
- Roche, I. V., Ubalde-Lopez, M., Daher, C., Nieuwenhuijsen, M., & Gascon, M. (2024). The health-Related and Learning Performance Effects of Air Pollution and Other Urban-Related Environmental Factors on School-Age Children and Adolescents—A Scoping Review of Systematic Reviews. *Current Environmental Health Reports*, 11(2), 300–316. <https://doi.org/10.1007/s40572-024-00431-0>
- Rosser, F., Han, Y.-Y., Rothenberger, S. D., Forno, E., Mair, C., & Celedón, J. C. (2022). Air Quality Index and Emergency Department Visits and Hospitalizations for Childhood Asthma. *Annals of the American Thoracic Society*, 19(7), 1139–1148. <https://doi.org/10.1513/annalsats.202105-539OC>

- Sadrizadeh, S., Yao, R., Yuan, F., Awbi, H., Bahnfleth, W., Bi, Y., Cao, G., Croitoru, C., de Dear, R., Haghghat, F., Kumar, P., Malayeri, M., Nasiri, F., Ruud, M., Sadeghian, P., Wargocki, P., Xiong, J., Yu, W., & Li, B. (2022). Indoor air quality and health in schools: A critical review for developing the roadmap for the future school environment. *Journal of Building Engineering*, 57, 104908. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104908>
- Salvador-Adriano, M., Ortiz-Villalobos, I., Velázquez-Ovalle, G., Salvador-Figueroa, M., Salgado-Mora, M. G., & Adriano-Anaya, L. (2024). Características químicas y biológicas del suelo con manejo orgánico y cultivado con papaya (Carga papaya L). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(3), e71559. <https://doi.org/10.34188/bjaerv7n3-033>
- Sangkham, S., Phairuang, W., Sherchan, S. P., Pansakun, N., Munkong, N., Sarndhong, K., Islam, Md. A., & Sakunkoo, P. (2024). An update on adverse health effects from exposure to PM2.5. *Environmental Advances*, 18, 100603. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100603>
- Sayara, T., & Sánchez, A. (2020). Bioremediation of PAH-contaminated soils: Process enhancement through composting/compost. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10113684>
- Sokhi, R. S., Moussiopoulos, N., Baklanov, A., Bartzis, J., Coll, I., Finardi, S., Friedrich, R., Geels, C., Grönholm, T., Halenka, T., Ketzel, M., Maragkidou, A., Matthias, V., Moldanova, J., Ntziachristos, L., Schäfer, K., Suppan, P., Tsegas, G., Carmichael, G., ... Kukkonen, J. (2022). Advances in air quality research – current and emerging challenges. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 22(7), 4615–4703. <https://doi.org/10.5194/acp-22-4615-2022>
- Tenecota Quezada, M. T., Viteri Escobar, C. J., & Salcedo Muñoz, V. E. (2024). Análisis de la dependencia petrolera en Ecuador periodo 2018-2022. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios En Ciencias Sociales*, 26(3), 958–974. <https://doi.org/10.36390/telos263.11>
- Tooley, U. A., Bassett, D. S., & Mackey, A. P. (2021). Environmental influences on the pace of brain development. *Nature Reviews Neuroscience*, 22(6), 372–384. <https://doi.org/10.1038/s41583-021-00457-5>
- UCACUE. (2025). *Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales*. <https://www.ucacue.edu.ec/pregrado/unidad-academica-de-ciencias-economicas-y-empresariales/>

- UCACUE. (2025). *Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación e Innovación Tecnológica*. Retrieved July 31, 2025, from <https://ucacue.edu.ec/pregrado/unidad-academica-de-informatica-ciencias-de-la-computacion-e-innovacion-tecnologica/>
- UCACUE. (2025). *Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción*. https://www.ucacue.edu.ec/pregrado/unidad-academica-de-ingenieria-industria-y-construccion/?Utm_source=chatgpt.com
- UCACUE. (2025). *Unidad Académica de Salud y Bienestar*. <https://ucacue.edu.ec/pregrado/unidad-academica-salud-bienestar/>
- Unidad Educativa San Francisco. (2025). *Información*. https://www.facebook.com/p/Unidad-Educativa-San-Francisco-Secci%C3%B3n-Vespertina-100068578603175/?locale=es_LA
- Vilcins, D., Christofferson, R. C., Yoon, J.-H., Nazli, S. N., Sly, P. D., Cormier, S. A., & Shen, G. (2024). Updates in Air Pollution: Current Research and Future Challenges. *Annals of Global Health*, 90(1). <https://doi.org/10.5334/aogh.4363>
- Wang, C., Sheng, Y., Wang, J., Wang, Y., Wang, P., & Huang, L. (2022). Air Pollution and Human Health: Investigating the Moderating Effect of the Built Environment. *Remote Sensing*, 14(15), 3703. <https://doi.org/10.3390/rs14153703>
- World Health Organization. (2021). *Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/346062/9789240035461-spa.pdf>
- Yang, L., Li, C., & Tang, X. (2020). The Impact of PM2.5 on the Host Defense of Respiratory System. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00091>
- Zagatti, E., Russo, M., & Pietrogrande, M. C. (2020). On-Site Monitoring Indoor Air Quality in Schools: A Real-World Investigation to Engage High School Science Students. *Journal of Chemical Education*, 97(11), 4069–4072. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00065>
- Zeeshan, N., Murtaza, G., Ahmad, H. R., Awan, A. N., Shahbaz, M., & Freer-Smith, P. (2024). Particulate and gaseous air pollutants exceed WHO guideline values and have the potential to damage human health in Faisalabad, Metropolitan, Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(7), 659. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12763-3>
- Zhang, L., You, S., Zhang, M., Zhang, S., Yi, S., & Zhou, B. (2022). The effects of urbanization on air pollution based on a spatial perspective: Evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1058009>

8. ANEXOS

Anexo 1: Registro fotográfico de la realización del estudio.

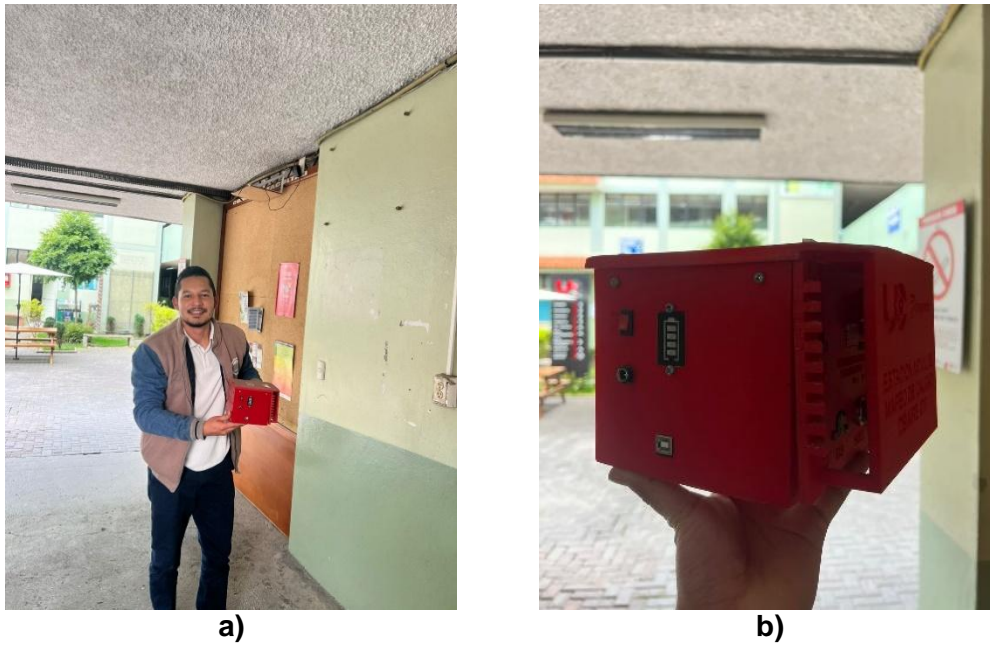


Figura 37: *Instalación de estaciones móviles. a) Instalación de la estación móvil.*

b) Estación de monitoreo móvil.



Figura 38: *Fotografía de la estación móvil en la Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales (externa)*



Figura 39: *Fotografía de la estación móvil de la Unidad Académica de Informática, Ciencia de la Computación e Innovación Tecnológica (externa)*



Figura 40: *Fotografía de la estación móvil en la Unidad Académica de Salud y Bienestar, Que se encuentra dentro del comedor de dicha institución (interna)*

Anexo 2: Ilustración del programa “Excel” y “ThingSpeak for lot projects”

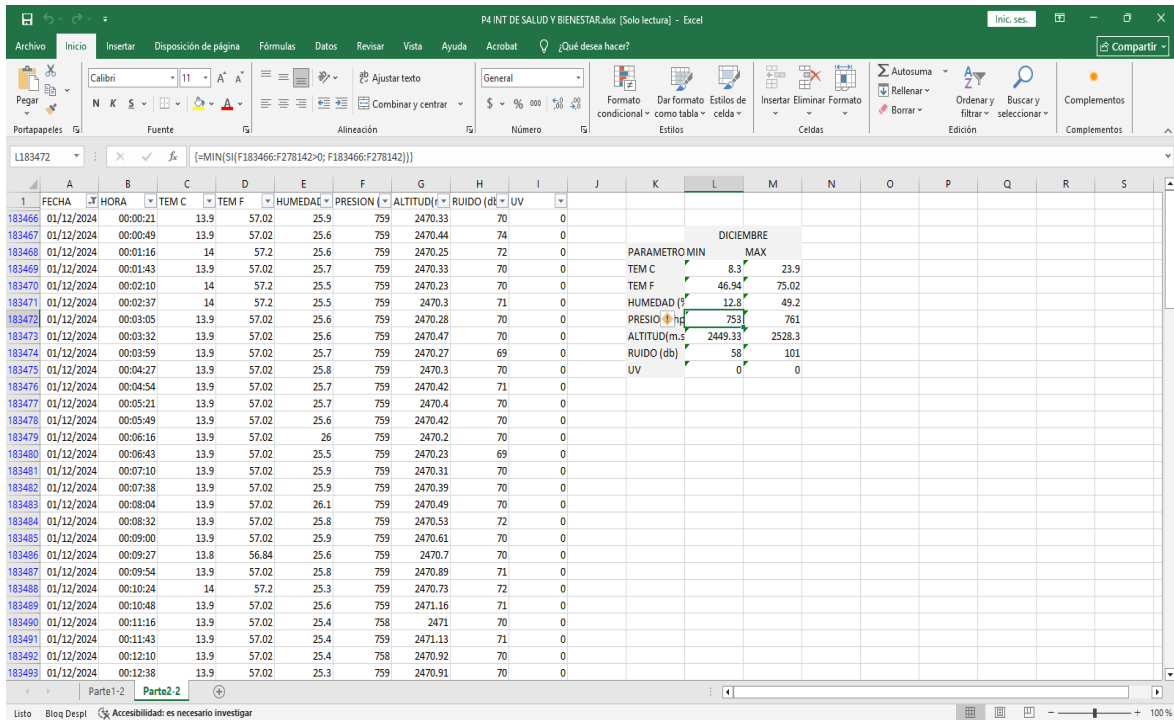


Figura 41: Ilustración del Excel, datos que se recolecto en la unidad de Salud y Bienestar

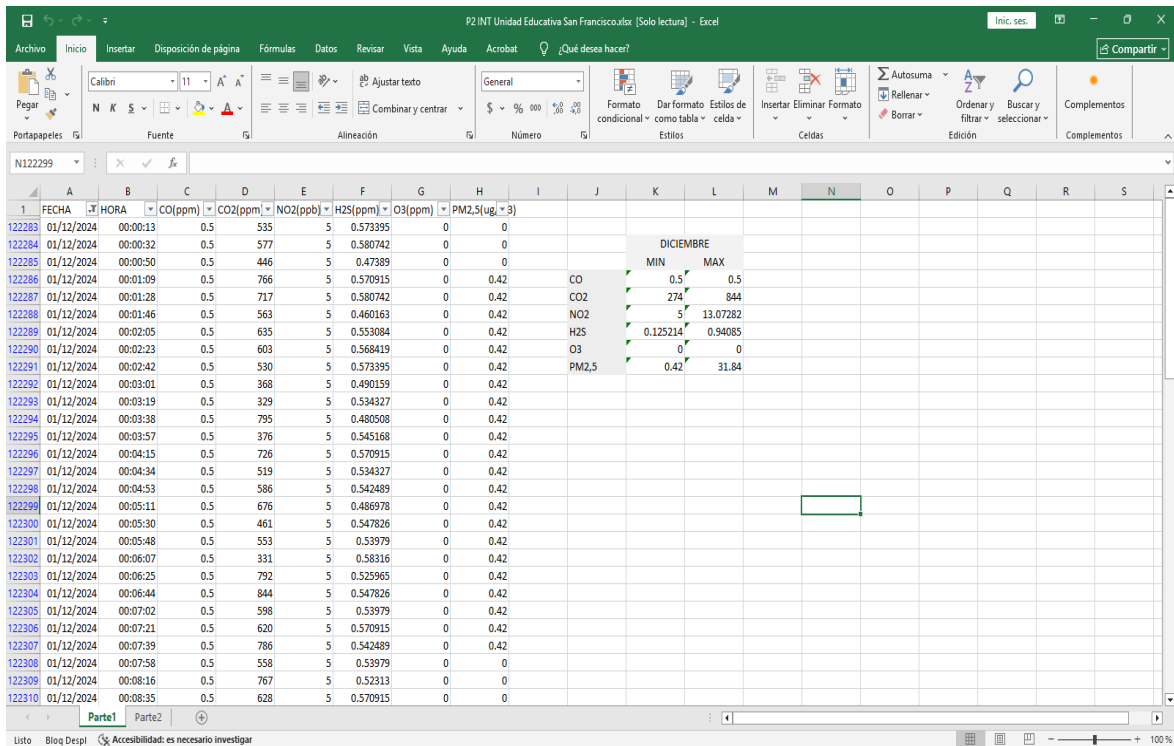


Figura 42: Ilustración del Excel, datos que se recolecto en la Unidad Educativa San Francisco

ThingSpeak™ Canales Aplicaciones Dispositivos Apoyo Uso comercial Cómo comprar EC

Mis canales

Nuevo canal

Buscar por etiqueta

Nombre	Creado	Actualizado
Estación1-1 Privad o Público Ajuste s Intercambi o Claves A FI Importación/exportación de d atos	13 de enero de 2025	10/07/2025 19:07
Estación 1-2 Privad o Público Ajuste s Intercambi o Claves A FI Importación/exportación de d atos	13 de enero de 2025	10/07/2025 19:07
Estación2-1 Privad o Público Ajuste s Intercambi o Claves A FI Importación/exportación de d atos	13 de enero de 2025	10/07/2025 19:04
Estación2-2 Privad o Público Ajuste s Intercambi o Claves A FI Importación/exportación de d atos	13 de enero de 2025	10/07/2025 19:04

Ayuda

Recopilar datos en un canal ThingSpeak desde un dispositivo, desde otro canal o desde la web.

Haga clic en **Nuevo canal** para crear un nuevo canal ThingSpeak.

Haga clic en los encabezados de columna de la tabla para ordenar por las entradas en esa columna o haga clic en una etiqueta para mostrar los canales con esa etiqueta.

Aprenda a **crear canales**, explorar y transformar datos.

Obtenga más información sobre **los canales ThingSpeak**.

Ejemplos

- [Arduino](#)
- [Arduino MKR1000](#)
- [ESP8266](#)
- [Frambuesa Pi](#)
- [Netduino Plus](#)

Mejora

¿Necesita enviar más datos más rápido?

¿Necesita utilizar ThingSpeak para un proyecto comercial?

Mejora

Figura 43: Ilustración del procesamiento de los datos obtenidos durante el monitoreo para evidenciar las concentraciones de gases en “ThingSpeak for lot projects”



Figura 44: Ilustración de “ThingSpeak for lot projects” de los datos que se encontró en la estación

Anexo 3: Resultados de equipos de muestreo

Tabla 23:

Comparativa de resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (octubre)

N°	Parámetros ambientales	Estación móvil: Unidad Educativa San Francisco				Estación móvil: Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales				Estación móvil: Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica.				Estación móvil: Unidad Académica de Salud y Bienestar				Estación móvil: Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.			
		Estación 1: Externa		Estación 2: Interna		Estación 4: Interna		Estación 3: Externa		Estación 5: Externa		Estación 6: Interna		Estación 7: Externa		Estación 8: Interna		Estación 9: Externa		Estación 10: Interna	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx	min	máx.	min	máx
1	Monóxido de carbono (ppm)	1	18	0,5	0,5	0,4	2,4	2,25	4,75	1	13	6,5	11,5	1,15	3,5385	0,6	2	0,667	5,3333	0,2	3,8
2	Dióxido de carbono (ppm)	389	1151	301	844	404	587	358	848	251	934	349	594	224	835	262	518	277	707	237	1105
3	Dióxido de nitrógeno (ppm)	10	28,48	5	16,19	10,35	29,8	15,8	32,82	10	34,5103	15,36031	25,7869	5,04	11,044	11,21	20,79	7,33	25,62	5	26,2
4	Sulfuro de hidrógeno (ppm)	0,5985	1,026	0,125	0,807	0,14	0,628	0,658	1,096	0,523	1,502	0,563457	0,814307	0,64	1,4712	0,491	0,878	0,177	0,2819	0,54	1,052
5	Ozono (ug/m ³)	0,0005	0,051	0	0	0,002	0,015	0,015	0,028	0,001	0,0249	0,006938	0,010528	0	0,0086	0,003	0,007	0,001	0,012	0,003	0,022
6	PM2.5 (ug/m ³)	1,16	60,92	0,42	55,2	1,395	62,54	1,395	191,1	1,15	44,23	0,98	55,18	1,86	26,04	2,651	13,11	7,44	9,0245	2,79	205,8
7	Presión (hPa)	750	760	766,8	767	742,8	743	754,9	764,9	758	768	767,86	768,04	752	762	754	764	0	0	753,5	753,7
8	Radiación ultravioleta UV	1,00	3,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1	0,00	0,00	0	0	1	2	0,00	0,00

Tabla 24:

Comparativa de los resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (noviembre)

N°	Parámetros ambientales	Estación móvil: Unidad Educativa San Francisco				Estación móvil: Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales				Estación móvil: Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica.				Estación móvil: Unidad Académica de Salud y Bienestar				Estación móvil: Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.			
		Estación 1: Externa		Estación 2: Interna		Estación 4: Interna		Estación 3: Externa		Estación 5: Externa		Estación 6: Interna		Estación 7: Externa		Estación 8: Interna		Estación 9: Externa		Estación 10: Interna	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
1	Monóxido de carbono CO (ppm)	1	17	0.5	0.5	0.2	2.2	2.5	5	1	1.22	3	11	0.54	4.31	0.3	1.9	0.67	6.667	0.2	3.8
2	Dióxido de carbono CO2 (ppm)	395	1135	301	844	404	447	333	1067	237	936	309	951	232	959	288	619	104	1123	301	1105
3	Dióxido de Nitrógeno NO2 (ppm)	10	28.48	5	13.36	10.25	30.7	19.3	33.5953	10	47.93	8.3574	22.985729	2.73	13.2	10.816	20.6395	5	27.95	5.19453	25.91
4	Sulfuro de Hidrógeno H2S (ppm)	0.598	0.872	0.158	0.91	0.14	0.63	0.64	1.06322	0.53	1.0037	0.5196	1.255668	0.53	0.98	0.47199	0.77252	0.18	0.308	0.53983	0.803
5	Ozono O (ug/m^3)	5E-04	0.051	0	0	0.002	0.01	0.01	0.02695	0	0.0328	0.006	0.019229	0	0.01	0.00146	0.00634	0	0.013	0.00286	0.02
6	PM2.5 (ug/m^3)	1.16	34.64	0.42	28.45	1.395	54.2	1.4	241.35	0.57	269.42	0.49	328.61	1.86	24.2	1.39509	16.4621	2.23	147.9	2.79018	48.83
7	Presión (hPa)	749	757	766.8	767	742.8	743	754	762.17	758	766	767.86	768.04	751	759	753	761	168	1007	753.52	753.7
8	Radiación ultravioleta UV	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	1	11	0.00	0.00

Tabla 25:

Comparativa de los resultados obtenidos en cada estación móvil de muestreo (diciembre)

N°	Parámetros ambientales	Estación móvil: Unidad Educativa San Francisco				Estación móvil: Unidad Académica de Ciencias Económicas y Empresariales				Estación móvil: Unidad Académica de Informática, Ciencias de la Computación, e Innovación Tecnológica.				Estación móvil: Unidad Académica de Salud y Bienestar				Estación móvil: Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.			
		Estación 1: Externa		Estación 2: Interna		Estación 4: Interna		Estación 3: Externa		Estación 5: Externa		Estación 6: Interna		Estación 7: Externa		Estación 8: Interna		Estación 9: Externa		Estación 10: Interna	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
1	Monóxido de carbono CO (ppm)	1	17	0.5	0.5	0.2	1.8	2.75	5	0.25	24	2.6	9	0.6	3.69	0.4	1.8	0.67	6	0.2	2.8
2	Dióxido de carbono CO2 (ppm)	443	1151	274	844	401	2714	327	906	223	949	236	1366	235	764	286	520	100	658	290	737
3	Dióxido de Nitrógeno NO2 (ppm)	10	21.87	5	13.07	9.571	25.9115	17.2	32.1	6.17	33.15	4	21.82	3.4	11.7	10.5	20.5	5	27.08	5	26.2
4	Sulfuro de Hidrógeno H2S (ppm)	0.619	1.026	0.125	0.941	0.111	0.54576	0.67	1.14	0.55	1.1332	0.5722	0.82521	0.6	0.98	0.53	0.99	0.15	0.29	0.59	1.05
5	Ozono O (ug/m^3)	5E-04	0.021	0	0	0.003	0.01339	0.02	0.03	0	0.0285	0.0002	0.016	0	0.01	0	0.01	0	0.009	0	0.02
6	PM2.5 (ug/m^3)	1.16	60.92	0.42	31.84	1.395	23.4821	1.4	152	0.57	94.78	0.49	326.66	1.9	27.9	2.37	96.7	1.04	20.93	4.19	23.7
7	Presión (hPa)	749	757	766.8	767	742.8	743.01	754	762	758	765	767.89	768.01	751	758	753	761	743	754.2	754	754
8	Radiación ultravioleta UV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	179	0.00	0.00	0.00	0.00	1	3	0.00	0.00

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Yandry Michael Moreno Herrera portador de la cédula de ciudadanía N.º 1900608967. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Índice de calidad del aire en cinco instituciones educativas del centro histórico de la ciudad de Cuenca, mediante estaciones móviles, tendiente a verificar con la normativa ambiental vigente” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de noviembre de 2025



F:

Yandry Michael Moreno Herrera

1900608967