



CO₂ y PM_{2.5} en la oficina de docentes del Departamento de Operaciones Unitarias

CO₂ and PM_{2.5} at teaching office from Unitarians Operations Department

*Blanco Chávez, Miguel Enrique*¹

*Irgui, Gómez Carvajal*²

*Silvana, Mena Bonilla*³



¹⁻³ Universidad Nacional de Ingeniería, Nicaragua

¹ miguel.blanco@piensa.uni.edu.ni / <https://orcid.org/0000-0002-3138-4209>

² irgui.gomez@farq.uni.edu.ni / <https://orcid.org/0000-0003-4594-2109>

³ silvana.mena@diex.uni.edu.ni / <https://orcid.org/0000-0002-7437-043X>

Recibido el 10 de noviembre de 2021, aprobado el 22 de junio de 2022

RESUMEN | En el presente artículo se aborda el estudio de la concentración del Dióxido de Carbono (CO₂) y el Material Particulado (PM_{2.5}) en las oficinas docentes del Departamento de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química, Recinto Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en el período Octubre de 2020 a Marzo de 2021. Para eso se realizó un monitoreo en horas laborables de las variables PM_{2.5} y CO₂, en el interior y en el ambiente exterior cercano de la oficina de docentes. Se determinaron los parámetros estadísticos de las muestras de las dos variables, los perfiles temporales de cada variable y se evalúa el cumplimiento de los estándares de calidad del aire en ambientes cerrados según las guías de la OSHA y ACGIH. Se logró determinar que los parámetros CO₂ y PM_{2.5} en la oficina de docentes cumplen con los valores guías de calidad del aire en interiores.

PALABRAS CLAVE | Calidad del aire interior, contaminación, monitoreo, ambiente, normativa

ABSTRACT | In the present paper is exposed the study of Carbon Dioxide (CO₂) and Particulate Matter (PM_{2.5}) at Unitarians Operations Department teachings office, at Faculty of Chemical, Simon Bolivar Place of National Engineering University, in the period October of 2020 to March of 2021. In order to get this a monitoring was made in workable hours for the parameters PM_{2.5} and CO₂, at interior and exterior environment near to teachings office. It was determined the statistical parameters of the two variables, the temporal profile of each variable, and it was evaluated the fulfill of the air quality standards at interiors places according to OSHA and ACGIG guides. It was determined that the parameters PM_{2.5} and CO₂ at teachings office fulfill the guides values of interiors air quality.

KEYWORD | Interior air quality, pollution, monitory, environment, norm

1. Introducción

La calidad del aire en ambientes cerrados ha sido objeto de estudio en numerosos países por los efectos que pueden tener los contaminantes del aire en la salud de las personas que permanecen muchas horas del día en el interior de esas construcciones. Dada la importancia de la calidad del aire en interiores, la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2008, 2009, 2021) de Estados Unidos (USA) ha establecido criterios para la calidad del aire en interiores. La Organización Mundial de Salud (OMS, 2006, 2010, 2021) también ha establecido guías de calidad del aire en interiores para prevenir enfermedades que puedan causar los contaminantes del aire. La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA, 2011) y la Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2010) establecen valores guías de de calidad del aire en interiores para prevenir enfermedades que puedan causar los contaminantes del aire.

Algunos parámetros que se utilizan como indicadores para evaluar la calidad del aire son: temperatura del aire, humedad relativa, dióxido de carbono, material particulado, y caudal de aire de la unidad de ventilación (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene, España, 2010).

Estudios realizados por la EPA (2009, p. 1) sobre la exposición de humanos a los contaminantes del aire indican que “Los niveles de contaminación interior pueden ser hasta cinco veces superiores que en el exterior y en determinadas actividades hasta 100 veces mayor. Estos niveles de contaminación en el aire interior son particular mente importantes debido a que la mayoría de la gente permanece 90% del tiempo en interiores”

En el Plan estratégico de la UNI, en la Función Docencia, en el Eje estratégico Mejora continua de la calidad académica, plantea el Objetivo estratégico: Garantizar el Sistema de Gestión de la Calidad académica en función de la mejora continua y/o la acreditación. Contiene el Indicador de gestión: Estudios de Entorno laboral.

Como en la UNI no había estudios cuantitativos de la calidad del aire para ambientes cerrados y dada la importancia de la calidad del aire en interiores (CAI) como entorno laboral, se realizó un estudio de las variables PM2.5 y CO2 en las oficinas docentes del Departamento de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Recinto Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en el período Octubre de 2020 a Marzo de 2021. Para eso se realizó un monitoreo de dichas las variables en el interior y en el ambiente exterior cercano de las oficinas de docentes del Departamento de Operaciones Unitarias.

2. Metodología

Monitoreo y Procesamiento de datos

Se seleccionó como sitio de estudio la oficina de docentes del Departamento de Operaciones Unitarias de la FIQ y un sitio exterior (al aire libre) cercano a la oficina. La información se obtuvo por muestreo de las variables de calidad de aire en el interior de la oficina seleccionada y un sitio exterior cercano. Esto se hizo mediante instrumentos de medición especiales que se instalaron en el interior durante ocho horas continuas, un día por semana, durante los meses noviembre del 2020, febrero y marzo del 2021 y en el ambiente exterior simultáneamente.

Los datos fueron medidos y recolectados con los instrumentos son los siguientes:



Equipo Haz Dust EPAM 5000, para la medición del PM2.5. La precisión de la medición es de 0.001 mg/m³ y el rango de medición es de 0.001 – 20 mg/m³, con un caudal de aire de 4 lit/minuto.

Equipo de la marca Aeroqual modelo Series 500 para la medición de los gases CO₂. Sensor NDIR, sensor de luz infrarroja no dispersivo, utiliza una luz infrarroja que pasa un filtro y un foto diodo para medir la intensidad de la luz en una banda de gas de absorción. La intensidad de la luz es proporcional a la concentración del gas. La precisión de la medición es de 1 ppm y el rango de medición es de 1 – 2000 ppm.

El proceso de colecta de muestras de calidad del aire se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos por el Laboratorio de Calidad del Aire del Programa de Servicios, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Los instrumentos utilizados son capaces de hacer monitoreo continuo en el tiempo con intervalo de 1 minuto y hacer almacenamiento en un dispositivo electrónico que permita su recuperación para el análisis estadístico en una hoja de cálculo de Excel.

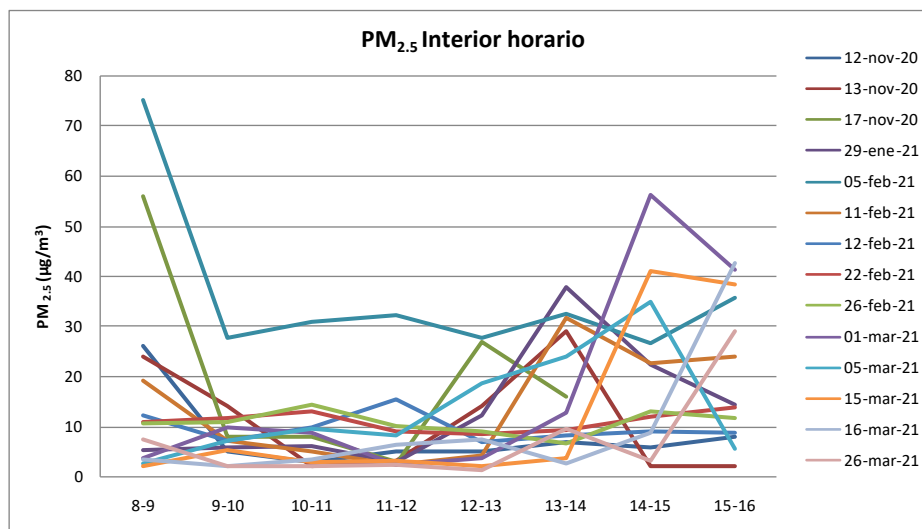
Se determinaron los estadísticos de las muestras de las variables. Se determinó si existe variación de la concentración del contaminante con la variable tiempo. Se compararon los valores medidos con los estándares de calidad de aire en interiores de la OSHA (2011) y la ACGIH (2010).

Desarrollo y Resultados

Material Particulado PM2.5

La variable PM2.5 se midió cada hora en el período de 8 am a 4 pm, en el interior de la oficina de docentes y en el ambiente exterior. La Figura 1 muestra la variación horaria del PM2.5 en el ambiente interior, en la cual se puede observar que varió entre dos y 75 µg/m³, presentándose los valores más altos a las 14:00 horas, tendiendo a disminuir de las 14:00 a las 16:00 horas. El día con mayor valor de PM2.5 corresponden al 5 de febrero del 2021 al inicio del día.

Figura 1: *PM_{2.5} interior promedio horario en el periodo de estudio.*

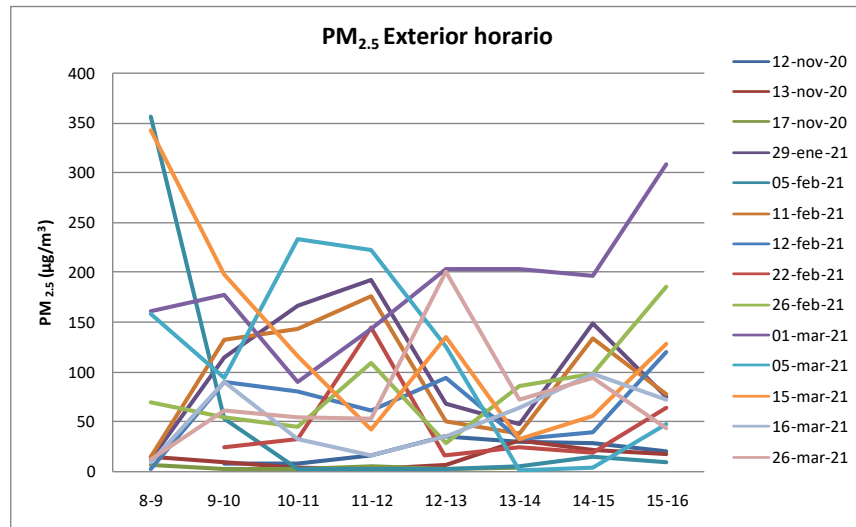


Fuente: Elaboración propia.



La Figura 2 muestra la variación horaria del PM2.5 en el ambiente exterior, en la cual se puede observar que varió entre dos y 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, presentándose los valores más altos a las 9:00 horas, tendiendo a disminuir de las 12:00 a las 16:00 horas. El día con mayor valor de PM2.5 corresponden al 5 de febrero del 2021 al inicio del día.

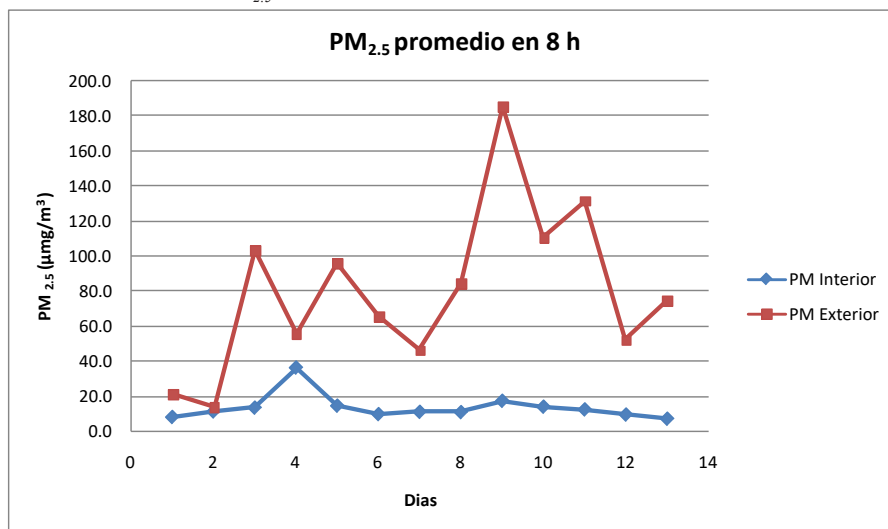
Figura 2: $PM_{2.5}$ exterior promedio horario en el periodo de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3 muestra la variación del PM2.5 promedio de ocho horas (por día) en el sitio de estudio. El PM2.5 interior osciló entre 7 y 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en cambio el exterior (ambiente) se mantuvo más alta, entre 33.6 y 185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los valores más altos corresponden al mes de marzo del 2021. Los valores de PM2.5 interiores son menores que los valores del exterior debido al filtro de partículas del aparato de aire acondicionado.

Figura 3: $PM_{2.5}$ promedio de ocho horas en el periodo de estudio.

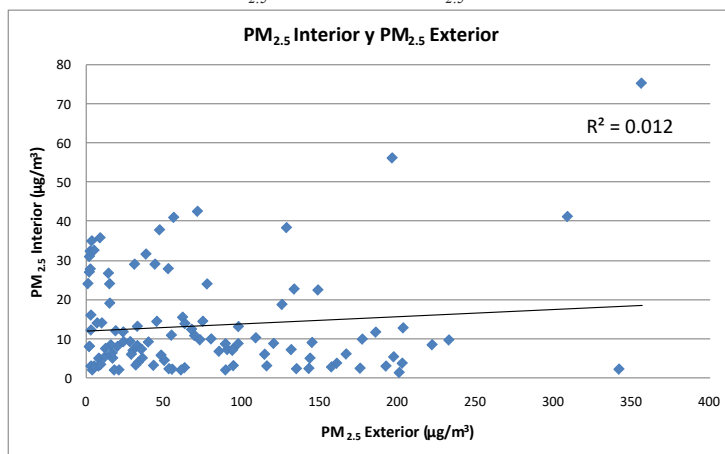


Fuente: Elaboración propia.



La Figura 4 muestra la correlación entre la concentración del PM_{2.5} interior y del PM_{2.5} exterior, valores promedio de una hora de los días monitoreados. Debido a la gran dispersión de los datos, no hay buena correlación entre los PM_{2.5} interior y PM_{2.5} exterior promedio de una hora, con un coeficiente de determinación R² de 0.012.

Figura 4: Correlación del PM_{2.5} interior y el PM_{2.5} exterior (promedio de una hora).

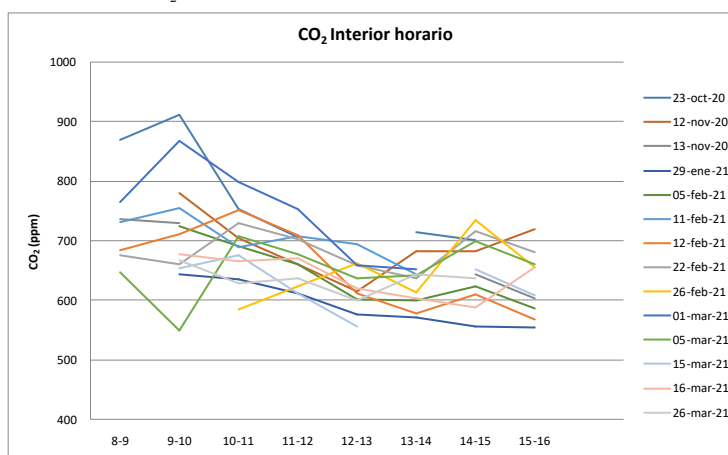


Fuente: Elaboración propia.

Dióxido de Carbono (CO₂)

Debido a que el Laboratorio de Calidad del Aire del PIENSA disponía únicamente de un sensor para medir la variable CO₂, las mediciones de este se hicieron intercalando el sensor cada hora en cada ambiente, se midió dos horas en la mañana y dos horas en la tarde, en el ambiente interior y el exterior, de 8 am a 4 pm, en total cuatro horas por ambiente. La Figura 5 muestra la variación horaria del CO₂ en el ambiente interior, en la cual se puede observar que varió entre 550 y 900ppm, presentándose los valores más altos a las 9:00 horas, tendiendo a disminuir de las 12:00 a las 16:00 horas. Los días con mayores valores de CO₂ corresponden al 23 de octubre del 2020 al inicio del día.

Figura 5: CO₂ interior promedio horario en el periodo de estudio.

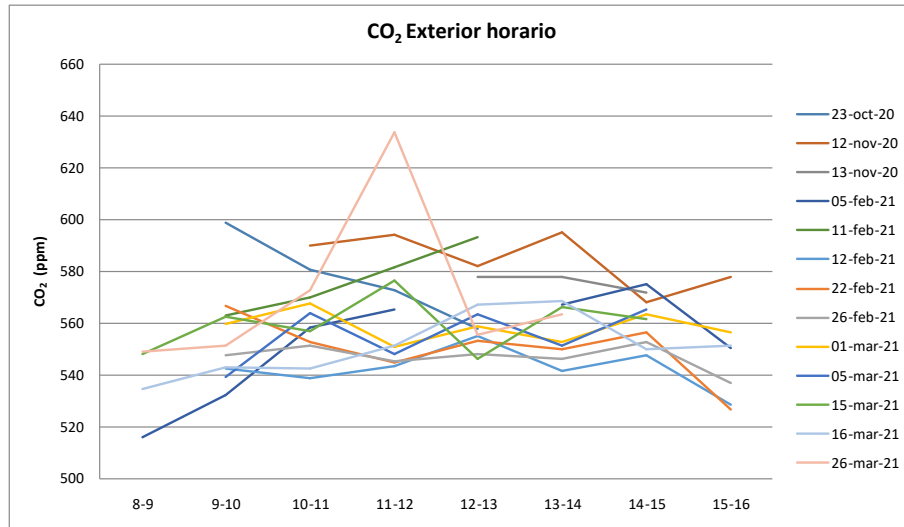


Fuente: Elaboración propia.



La Figura 6 muestra la variación horaria del CO₂ en el ambiente exterior, en la cual se puede observar que varió entre 510 y 630 ppm, presentándose los valores más altos a las 11:00 horas, tendiendo a disminuir de las 12:00 a las 16:00 horas. Los días con mayores valores de CO₂ corresponden al 26 de marzo del 2021 al inicio del día.

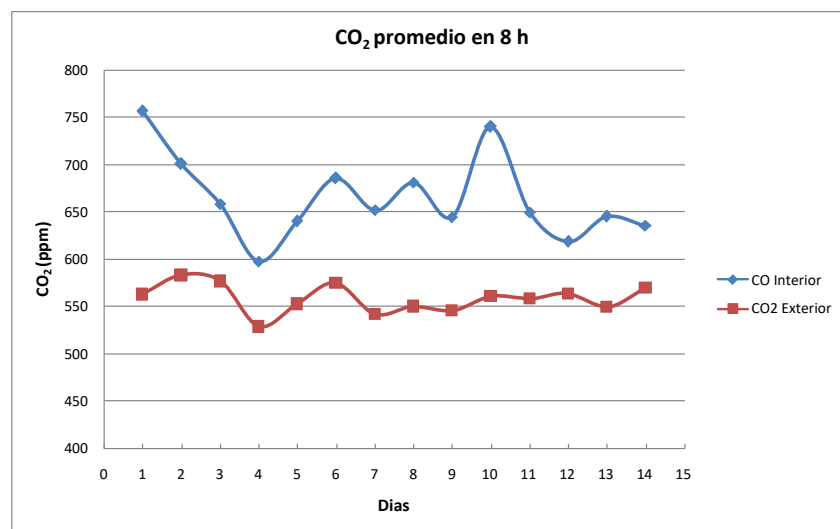
Figura 6: CO₂ exterior promedio horario en el período de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 7 muestra la variación del CO₂ promedio de ocho horas (por día) en el sitio de estudio. Los valores de CO₂ interior son más altos que los del exterior, debido a la exhalación de las personas que permanecen en la oficina, pero no supera los 750 ppm. El CO₂ interior osciló entre 600 y 750 ppm, en cambio el exterior (ambiente) se mantuvo más estable, entre 525 y 575 ppm. Los valores más altos corresponden al mes de marzo.

Figura 7: CO₂ promedio de 8 horas en el período de estudio.

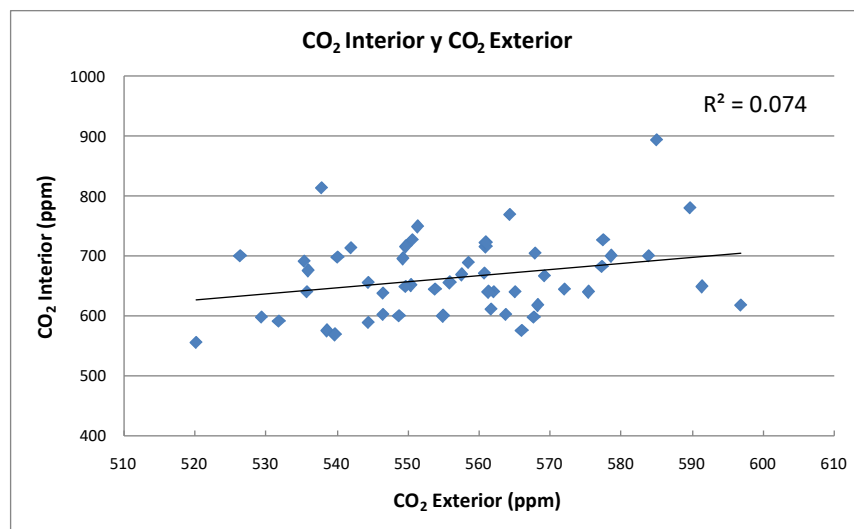


Fuente: Elaboración propia.



La Figura 8 muestra la grafica de correlación entre la concentración del CO₂ interior y la concentración del CO₂ exterior, valores promedios de una hora de los días monitoreados. Debido a la gran dispersión de los datos, no hay buena correlación entre los CO₂ interior y CO₂ exterior promedio de una hora, con un coeficiente de determinación R² de 0.074 .

Figura 8: Correlación del CO₂ interior y el CO₂ exterior (promedio de una hora).



Fuente: Elaboración propia.

El valor máximo instantáneo registrado de CO₂ en ambiente interior es de 1509 ppm, y en el ambiente exterior el máximo fue de 678 ppm, pero en días diferentes.

Comparación de los valores de los parámetros con los valores guías de la OSHA y la ACGIH.

La Tabla 1 resume los datos obtenidos de los contaminantes del aire en el interior del sitio de estudio y los valores límites de la OSHA y la ACGIH, para períodos de 8 horas.

Tabla 1: Promedios máximos obtenidos para CO₂ y PM_{2,5} en el ambiente interior

Parámetro	Promedio Máximo		Guía OSHA ¹		Guía ACGIH ²	
	1 h	8 h	1 h	8 h	1 h	8 h
CO ₂ (ppm)	814	746	-	5000	-	5000
PM _{2,5} (mg/m ³)	0.056	0.036	-	5	-	3

Nota. Elaborado sobre la base de OSAH (2011); 2: ACGIH (2010)

Para el Dióxido de carbono, se presentan los valores máximos promedios de 1 hora y 8 horas obtenidos en los días de los meses de noviembre del 2020, febrero y marzo del 2021 en el Interior del aula de docentes. La OSHA y la ACGIH no especifican valor límite guía para CO₂ de una hora. La OSHA y la ACGIH especifican límites de valores guías para CO₂ de 8 horas, y es de 5,000 ppm. El máximo valor promedio obtenido para 8 horas es 746 ppm de CO₂, el cual es menor que el valor límite de la OSHA y la ACGIH, por lo que cumple esta condición. El CO₂ interior está debajo de los límites guías de ocho horas de duración.



Para el parámetro Material Particulado menor de 2.5 micrómetros PM2.5, se presentan los valores máximos promedios de 1 hora y 8 horas obtenidos en los días de monitoreo. La OSHA y la ACGIH presentan límites de valores guía para PM2.5 de 8 horas. El promedio máximo de una hora obtenido es 0.056 mg/m³ de PM2.5. El promedio máximo de 8 horas obtenido es 0.036 ppm de PM2.5 el cual es menor que 5 mg/m³ que establece la OSHA y menor que 3 mg/m³ que establece la ACGIH. El PM2.5 interior está debajo de los límites guías para ocho horas de duración.

La Tabla 2 resume los datos obtenidos de los contaminantes del aire en el exterior del sitio de estudio.

Tabla 2: Promedios máximos para CO₂ y PM_{2.5} en el ambiente.

Parámetro	Promedio Máximo	
	1 h	8 h
CO ₂ (ppm)	597	585
PM _{2.5} (mg/m ³)	2.279	0.185

Fuente: Elaboración propia.

Para tiempos de una hora y 8 horas en ambiente exterior no hay valores límites de concentraciones promedios establecidos del PM2.5 y el CO2 en las guías de la OMS, OSHA, ACGIH y la NTON 05012-02.

Para este caso de estudio bajo las condiciones de análisis, se garantiza la adecuada calidad de vida al estar las variables analizadas bajo los límites permisibles.

3. Conclusiones

Los valores horarios del PM2.5 en el interior de la oficina docente se mantiene cerca de 15 µg/m³ de 8:00 am a 12:00, incrementándose suavemente hasta 40 µg/m³ de 12:00 a 4:00 pm.

Los valores horarios del CO2 en el interior de la oficina docente varían suavemente de 800 ppm a las 8:00 am hasta 650 ppm a las 4:00 pm.

No se determinó asociación entre los valores de PM2.5 interior y CO2 interior con los valores correspondientes del ambiente exterior.

Los valores de CO2 y PM2.5 para ocho horas en el interior de la oficina de docentes están en los rangos recomendados por las guías de la OSHA y la ACGIH.

En base a los resultados obtenidos, se puede afirmar que la calidad del aire en el interior de la oficina de docentes, en cuanto a los parámetros CO2 y PM2.5 es buena, no representa un peligro para la salud de sus ocupantes.

4. Recomendaciones

Se plantea la necesidad de ampliar los estudios de calidad del aire en otros ambientes de la universidad para verificar el cumplimiento a los estudios del entorno laboral saludable, especialmente en las aulas de clase, en la cual la densidad de estudiantes es mayor que en las oficinas docentes, lo que implica mayor generación del CO2 en el aula.



En los futuros estudios de calidad del aire, incluir los parámetros Ozono y Monóxido de Carbono, dado que la universidad está localizada cerca de la Pista Juan Pablo Segundo, una de las más transitadas de la Ciudad de Managua, por lo que existe la posibilidad de que los contaminantes exteriores generados por los automotores ingresen a los ambientes interiores.

Las aulas de clase y oficinas más cercanas a las aéreas de estacionamiento podrían ser priorizadas en los estudios de calidad del aire, considerando la contaminación que emiten los automotores y el posible riesgo a la salud.

5. Referencias

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2010). *TLVs and BEIs. Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices*. Cincinnati (OH): ACGIH; 2010 Mar. 272 p.
- Environmental Protection Agency (EPA-US). (2008). *Care for Your Air: a Guide to Indoor Air Quality*. EPA 402F-08/008. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Environmental Protection Agency (EPA-US). (2009). *Indoor Air Quality Tools for Schools Reference Guide*. EPA 402K-07/008. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq>
- Environmental Protection Agency (EPA-US). (2021). *Regulatory and Guidance Information by Topic: Air*. <https://www.epa.gov/regulatory-information-topic/regulatory-and-guidance-information-topic-air>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2010). NTP41: *Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores*. España.
- Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (2002). *NTON 05 012-02 Norma Técnica Nicaragüense de Calidad del Aire*. La Gaceta Diario Oficial. No. 211. 2002, 6, Noviembre.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). (2011). *Indoor Air Quality in Commercial and Institutional Buildings*. <https://www.osha.gov>
- World Health Organization (WHO). (2006). *Air quality guidelines. Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. Risk evaluation summary. World Health Organization, Ginebra, Suiza.
- World Health Organization (WHO). (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf
- World Health Organization (WHO, 2021). *Global Air quality Guidelines: Executive Summary*. WHO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334>

