

**UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA SELVA CENTRAL JUAN
SANTOS ATAHUALPA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“Variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en una universidad pública de la selva central 2025”

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniería Ambiental

AUTORES

Huayta Simeón Jordan Brayan

Martínez Pérez Yampool Brayan

ASESOR

Pos-PhD. Huamán De La Cruz Alex Rubén

Pichanaqui, Perú

2026

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a Dios por sus bendiciones y por guiarnos en cada paso de la vida y poder cumplir así las metas y propósitos, y a nuestros familiares por la confianza depositada en nosotros y su apoyo incondicional fue vital para no rendirnos.

Al Pos-PhD. Huamán De La Cruz Alex Rubén por brindarnos su asesoría, conocimientos y ser nuestro guía en este trabajo de investigación, a cada maestro participe durante el proceso de formación académica y sus enseñanzas curriculares.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y por enseñarme, con su ejemplo, el valor de la perseverancia, la responsabilidad y la disciplina.

Y a mí mismo, por la constancia, el sacrificio y la determinación demostrados a lo largo de este camino, por no rendirme ante las adversidades y por mantener siempre la fe en mis capacidades. Este logro representa no solo una meta alcanzada, sino también el inicio de nuevos retos y sueños por cumplir.

Jordan Huayta

A mis padres, quienes con su amor, sacrificio y dedicación han sido la base fundamental de mi formación personal y profesional. Gracias por su apoyo incondicional y por impulsarme a seguir adelante en cada etapa de este proceso.

A todas aquellas personas que formaron parte de este camino y contribuyeron de alguna manera a este logro, por sus enseñanzas y por motivarme a superarme cada día.

Este objetivo alcanzado es el resultado del esfuerzo, la perseverancia y la convicción de que todo sacrificio tiene su recompensa.

Yampool Martinez

RESUMEN

El presente estudio evaluó las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior, específicamente de los contaminantes (CO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), en cinco salones de clases de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (sede Pichanaki), ubicada en la provincia de Chanchamayo, región Junín. La medición se realizó desde el mes de enero hasta junio de 2025, utilizando el equipo Temtop M2000C, el cual registró valores horarios de los tres contaminantes, así como temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (%), en condiciones controladas de ventilación.

Se establecieron cuatro escenarios experimentales por aula, combinando el uso o no del aire acondicionado con puertas y ventanas abiertas y cerradas. Las mediciones se realizaron tanto con estudiantes presentes como en ausencia de estudiantes, registrando datos cada minuto durante periodos de una hora por cada escenario. Los niveles de referencia utilizados fueron los recomendados por la OMS ($\text{CO}_2 < 1000 \text{ ppm}$, $\text{PM}_{2.5} < 12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $\text{PM}_{10} < 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Los resultados revelaron que, en condiciones de alta presencia de estudiantes y ventilación deficiente, los niveles de CO_2 alcanzaron valores superiores a 1200 ppm, mientras que las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ superaron los $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las de PM_{10} los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En contraste, en aulas con ventanas abiertas y con el aire acondicionado encendido, los valores disminuyeron significativamente, manteniéndose dentro de los límites saludables. Además, se observó que el horario de mayor riesgo fue en las mañanas, debido al incremento de estudiantes y el escaso recambio de aire inicial.

Complementariamente, se desarrolló una revisión sistemática de literatura científica aplicando el protocolo PRISMA, con búsqueda en las bases de datos Scopus y ScienceDirect, utilizando términos como “indoor air quality”, “PM” y “ CO_2 ”. Se identificaron inicialmente 683 artículos, de los cuales se seleccionaron 32 estudios para el análisis comparativo. Estos respaldaron los hallazgos del presente trabajo y confirmaron que las aulas universitarias sin adecuada ventilación representan un riesgo para la salud y el rendimiento académico.

Se concluye que la calidad del aire interior en entornos universitarios puede presentar concentraciones preocupantes de contaminantes, especialmente durante horarios de mayor afluencia y sin estrategias de ventilación adecuadas. Por tanto, se recomienda implementar medidas de mejora en la ventilación natural o mecánica, así como un monitoreo continuo, con el fin de proteger la salud de los estudiantes y docentes.

ABSTRACT

This study evaluated the spatiotemporal variations in indoor air quality, specifically the pollutants CO₂, PM₁₀, and PM_{2.5}, in five classrooms at the Juan Santos Atahualpa National Intercultural University of the Central Jungle (Pichanaki campus), located in the province of Chanchamayo, Junín region. Measurements were taken from January to June 2025 using the Temtop M2000C instrument, which recorded hourly values of the three pollutants, as well as temperature (°C) and relative humidity (%), under controlled ventilation conditions.

Four experimental scenarios were established per classroom, combining the use of air conditioning with open and closed doors and windows. Measurements were taken both with and without students present, recording data every minute for one-hour periods for each scenario. The reference levels used were those recommended by the WHO (CO₂ < 1000 ppm, PM_{2.5} < 12 µg/m³, and PM₁₀ < 50 µg/m³).

The results revealed that, under conditions of high student occupancy and poor ventilation, CO₂ levels reached values exceeding 1200 ppm, while PM_{2.5} concentrations surpassed 35 µg/m³ and PM₁₀ concentrations exceeded 70 µg/m³. In contrast, in classrooms with open windows and air conditioning, the values decreased significantly, remaining within healthy limits. Furthermore, it was observed that the highest risk time was in the mornings, due to the increased number of students and the initial lack of air exchange.

In addition, a systematic review of the scientific literature was conducted using the PRISMA protocol, with searches in the Scopus and ScienceDirect databases using terms such as “indoor air quality,” “PM,” and “CO₂.” An initial 683 articles were identified, from which 32 studies were selected for comparative analysis. These studies supported the findings of this work and confirmed that university classrooms without adequate ventilation pose a risk to health and academic performance.

It is concluded that indoor air quality in university environments can present concerning concentrations of pollutants, especially during peak hours and without adequate ventilation strategies. Therefore, it is recommended to implement measures to improve natural or mechanical ventilation, as well as continuous monitoring, in order to protect the health of students and faculty.

INTRODUCCIÓN

Históricamente se ha asumido que la contaminación del aire es únicamente un fenómeno del exterior y que los espacios interiores nos protegen de los contaminantes. Sin embargo, los contaminantes del exterior ingresan y se acumulan en los edificios, habitaciones y salones, a través de la ventilación e infiltración, así como fuentes de emisión en interiores (Repace y Smith, 2002).

La contaminación del aire en interiores puede ser causada por actividades como cocinar, fumar, uso de dispositivos eléctricos, uso de productos o emisiones de los materiales de las infraestructuras (Tran et al., 2020). Por ello, hay una preocupación pública creciente sobre los efectos negativos que puede tener una mala calidad del aire en espacios cerrados sobre la salud (Bernstein et al., 2008), porque los ocupantes están expuestos constantemente a una variedad de contaminantes peligrosos de interiores, como partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), bioaerosoles y compuestos gaseosos como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO_2) y los compuestos orgánicos volátiles (VOC) (Sahu & Gurjar, 2020). Dado que las personas pasan gran parte de su tiempo en espacios cerrados como hogares, oficinas, escuelas y universidades, la exposición a una calidad del aire interior deficiente puede generar afecciones o molestias que comprometen tanto la salud como el rendimiento académico (Becerra et al., 2020).

El CO_2 es un gas incoloro e inodoro, forma parte del aire que nos rodea y se produce de forma natural cuando respiramos (Zhang et al., 2017). La cantidad de CO_2 en lugares cerrados muestra qué tan bien ventilado está el ambiente (Persily & de Jonge, 2017), ya que esta acumulación es generada por la respiración de las personas presentes en las habitaciones (Franco & Leccese, 2020), asimismo, por ser más denso que el aire, tiende a acumularse en zonas bajas, lo que puede generar una disminución del oxígeno disponible en esos espacios (Azuma et al., 2018). Por otro lado, los contaminantes como el PM_{10} y $PM_{2.5}$ representan un riesgo a la salud más alto (WHO, 2018), pues se han registrado como la causa de muertes y enfermedades cardiovasculares y respiratorias (Elbayoumi et al., 2014). Siendo una combinación de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire y compuestas de diferentes materiales (Yue et al., 2006) clasificados por su tamaño (Soberón et al., 2019).

En vista de esta problemática, se han desarrollado estudios sobre la variación espacio-temporal de la concentración de estos contaminantes para determinar si un espacio tiene el riesgo de afectar la salud de los humanos que la ocupan, así como discutir las fuentes y efectos a la salud que provocan estas concentraciones elevadas, pues se ha demostrado que la calidad del aire interior está mucho más afectada que la del exterior (Mannan & Al- Ghamdi, 2021).

Especialmente en lugares como lo son las escuelas y universidades, pues tienden a ser espacios más cerrados donde los estudiantes pasan gran parte de su tiempo y hay gran cantidad de aparatos eléctricos que también pueden emitir contaminantes (Franco & Leccese, 2020).

En la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (UNISCJSA), actualmente no se cuenta con información sobre los niveles de (CO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) en los diferentes espacios como salones, por ello es necesario conocer estos niveles, ya que una elevada concentración de CO_2 en ambientes cerrados puede provocar cansancio, agotamiento, sueño y mareos en quienes ocupan estos espacios. Estos efectos impactan negativamente en el rendimiento académico y el bienestar de los estudiantes.

En este proyecto, buscamos determinar las variaciones espacio-temporales de la Calidad del Aire Interior y concentración de (CO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) en la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central, así como comparar la información con las bases de datos sobre investigaciones realizadas a través de una revisión sistemática, para ser capaces de proponer medidas de ventilación y acondicionamiento que optimicen la calidad del aire.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	5
ÍNDICE.....	7
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
1.1. Identificación Y Determinación Del Problema.....	12
1.2. Formulación Del Problema General Y Específicos.....	14
1.2.1. Problema General.....	14
1.2.2. Problemas Específicos.....	14
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo General.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.4. Hipótesis.....	14
1.4.1. Hipótesis General.....	14
1.5. Justificación Del Problema.....	14
1.5.1. Justificación Ambiental.....	14
1.5.2. Justificación Social.....	15
1.5.3. Justificación Económica.....	15
1.5.4. Justificación Práctica.....	15
1.6. Importancia Y Alcance De La Investigación.....	16
1.7. Limitaciones De La Investigación.....	16
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Antecedentes.....	17
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	17
2.2. Antecedentes Nacionales.....	18

2.2.1. Antecedentes Regionales.....	19
2.3. Bases Teóricas	19
2.3.1. Calidad del Aire Interior (CAI).....	19
2.3.2. Calidad Del Aire En El Mundo	20
2.3.3. Calidad Del Aire En El Perú	20
2.3.4. Principales Contaminantes Del Aire	20
2.3.5. Dióxido De Carbono (CO ₂).....	20
2.3.6. Concentraciones De CO ₂	21
2.3.7. Fuente De CO ₂	21
2.3.8. Ventilación De Espacios Universitarios.....	22
2.4. Bases Conceptuales.....	22
2.5. Bases Epistemológicas.....	24
2.6. Definición De Términos Básicos	24
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	26
3.1. Ámbito	26
3.2. Nivel, Tipo Y Diseño De Investigación.....	26
3.2.1. Nivel De Investigación.....	26
3.2.2. Tipo De Investigación	27
3.2.3. Diseño De Investigación	27
3.3. Población Y Selección De Muestra	27
3.3.1. Población.....	27
3.3.2. Muestra.....	28
3.4. Procedimientos, Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos.....	28
3.4.1. Procedimiento.....	28
3.4.2. Técnicas.....	29
3.4.3. Instrumento De Recolección De Datos	29
3.4.4. Etapa De Planificación	30
3.4.5. Etapa De Campo.....	30

3.5. Análisis Estadísticos	31
3.6. Consideraciones Éticas	31
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
4.1. Estadística Descriptiva De PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO ₂ Y Parámetros Meteorológicos (Temperatura Y Humedad Relativa).....	32
4.2. Comparación De PM _{2.5} , PM ₁₀ , CO ₂ Por Salones Sin Alumnos Y Salones Con Alumnos.	40
4.3. Correlación Del PM _{2.5} , PM ₁₀ , Y CO ₂ Con Los Parámetros Meteorológicos	42
CONCLUSIONES.....	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zona de estudio	26
Figura 2 Temtop M2000C	29
Figura 3 Comportamiento de $PM_{2.5}$ en salones con alumnos y sin alumnos	35
Figura 4 Comportamiento de PM_{10} en salones con alumnos y sin alumnos	37
Figura 5 Comportamiento de CO_2 en salones con alumnos y sin alumnos	39
Figura 6 Boxplot de $PM_{2.5}$ en salones con alumnos y salones sin alumnos	40
Figura 7 Boxplot de PM_{10} en salones con alumnos y salones sin alumnos	41
Figura 8 Boxplot de CO_2 en salones con alumnos y salones sin alumnos	42
Figura 9 Correlación de Spearman del material particulados, CO_2 y los parámetros meteorológicos.	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Criterios de inclusión y exclusión	27
Tabla 2 Descriptivo del PM _{2.5} y PM ₁₀	31
Tabla 3 Descriptivo del CO ₂	31
Tabla 4 Estadística descriptiva del material particulado (PM ₁₀ , PM _{2.5}), CO ₂ y parámetros meteorológicos en 05 salones con alumnos y sin alumnos.	33

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación Y Determinación Del Problema

La contaminación del aire interior, provocada por diversos gases y material particulado, es una preocupación creciente debido a sus posibles efectos negativos sobre la salud y el bienestar de la población (Marin, 2020). Entre los contaminantes más relevantes se encuentran el CO₂ y los PM_{2.5} y PM₁₀ (Yáñez et al., 2018). Dado que las personas pasan gran parte de su tiempo en ambientes cerrados como hogares, oficinas, escuelas y universidades, la exposición a estos contaminantes puede ser significativa. En el caso de las universidades, los estudiantes suelen permanecer entre 8 y 10 horas diarias de lunes a viernes, lo que contribuye a la acumulación de CO₂ en los ambientes interiores (Barreno, 2023).

Es una preocupación creciente debido a los altos niveles de CO₂ en espacios cerrados, esta acumulación es generada principalmente por la respiración de las personas presentes en las aulas (Franco & Leccese, 2020). Los niveles elevados de CO₂ superiores a 1000 ppm indican ventilación insuficiente. Esto podría generar consecuencias perjudiciales para la salud, como fatiga y falta de concentración (Mahyuddin & Essah, 2024). Esta acumulación de CO₂ es común en aulas y oficinas con gran cantidad de personas y poca ventilación. El CO₂, siendo un gas incoloro, insípido, inodoro y no inflamable, debido a su mayor densidad en comparación con el aire, tiende a acumularse en zonas bajas, lo que puede reducir la disponibilidad de oxígeno (Azuma et al., 2018).

Esta problemática se vuelve más relevante considerando que la calidad del aire interior (CAI) constituye un problema significativo para la salud colectiva y la calidad de vida de las personas, considerando que las personas dedican más del 90% de su tiempo a actividades en entornos cerrados como oficinas, hogares, centros educativos y espacios comerciales (Chipana & Matos, 2020). En estos entornos, los ocupantes están expuestos constantemente a una variedad de contaminantes peligrosos de interiores, como el PM₁₀, PM_{2.5}, bioaerosoles y compuestos gaseosos como el monóxido de carbono (CO), el CO₂ y los compuestos orgánicos volátiles (COV) (Sahu & Gurjar, 2020).

A nivel internacional, un estudio de Guijarro et al. (2021), en Madrid evidenció que la mala ventilación en las aulas cerradas tiende a generar acumulación de CO₂, lo cual impacta en el bienestar tanto de estudiantes y del personal.

A nivel nacional, un estudio desarrollado por Atencio (2023), en Huancayo, evidenció que los niveles de CO₂ elevados en espacios cerrados incrementan la sensación de malestar y propagación de enfermedades en entornos cerrados. Según la Norma Técnica Peruana NTP 549, el límite máximo permisible para CO₂ en espacios interiores es de 1000 ppm. Sin embargo, en muchos casos, las oficinas o espacios de educación no cumplen con estos estándares debido a la insuficiente ventilación y la elevada ocupación, lo cual afecta la salud de los ocupantes y eleva los riesgos de contagio en condiciones de pandemia.

Además, es importante conocer que la ley N° 29783 Seguridad y Salud en el trabajo, exige que los empleadores monitoreen y controlen la exposición a agentes de CO₂ en los espacios de trabajo para cuidar la salud de las personas.

En la UNISCJSA, actualmente no se cuenta con información sobre los niveles de (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en los diferentes espacios como salones, por ello es necesario conocer estos niveles, ya que una elevada concentración de CO₂ en ambientes cerrados puede provocar cansancio, agotamiento, sueño y mareos en quienes ocupan estos espacios. Estos efectos impactan negativamente en el rendimiento académico y el bienestar del personal y estudiantes, por lo que resulta esencial identificar y analizar las variaciones de CO₂ para implementar medidas de ventilación y acondicionamiento que optimicen la calidad del aire.

Del mismo modo, otros contaminantes presentes en espacios interiores, como el PM₁₀, pueden afectar significativamente la salud y el desempeño de los habitantes. Estas partículas, con un diámetro igual o menor a 10 micrómetros, suelen quedar retenidas en las vías respiratorias y provocar irritación nasal, congestión, estornudos y molestias respiratorias. En personas sensibles o con enfermedades preexistentes, el PM₁₀ puede agravar afecciones como el asma o la bronquitis. Su acumulación en ambientes cerrados frecuentemente causada por la apertura de ventanas hacia zonas polvorientas, movimiento de personas, o una ventilación deficiente puede generar malestar físico y afectar la concentración, reduciendo la productividad y el confort dentro del entorno educativo o laboral.

Asimismo, la presencia de PM_{2.5} en salones representa un riesgo aún más crítico para la salud de los ocupantes. Estas partículas ultrafinas con un diámetro igual o menor a 2.5 µm, generadas por fuentes como emisiones vehiculares que ingresan por ventanas abiertas, el uso de calefacción, impresoras. La exposición prolongada a PM_{2.5} ha sido relacionada con fatiga crónica, disminución de la oxigenación cerebral, dolores de cabeza frecuentes y afecciones cardiovasculares, lo cual repercute directamente en la capacidad de aprendizaje, el estado de alerta y el rendimiento académico. Por tanto, al igual que con el CO₂, resulta imprescindible

monitorear sus niveles y aplicar estrategias de ventilación con el fin de proteger la salud y promover un ambiente de aprendizaje seguro y eficiente.

1.2. Formulación Del Problema General Y Específicos

1.2.1. Problema General

- ¿Existen variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en una universidad pública de la selva central?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Será posible monitorear las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública?
- ¿Se podrá analizar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública?
- ¿Cómo determinar si las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) superan los límites diarios?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Determinar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en una universidad pública de la Selva Central, 2025.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Monitorear las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública.
- Analizar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública.
- Determinar si las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) superan los límites diarios.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

- Ho: No existen variaciones significativas de la calidad del aire interior (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en una universidad pública de la selva central
- Ha: Existen variaciones significativas de la calidad del aire interior (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}) en una universidad pública de la selva central

1.5. Justificación Del Problema

1.5.1. Justificación Ambiental

Las concentraciones de CO₂ en espacios cerrados, como las aulas, tienen un impacto ambiental relevante, ya que niveles elevados de este gas pueden indicar una ventilación inadecuada y generar un deterioro en las condiciones del aire en espacios cerrados. Monitorear

y gestionar adecuadamente la ventilación en las aulas es fundamental para disminuir los niveles de CO₂ y mitigar los efectos de este contaminante en el ambiente inmediato, promoviendo un entorno más saludable. Esta situación se vincula directamente con el ODS 13 (Acción por el clima), al fomentar prácticas sostenibles y de conciencia ambiental, con el ODS 3 (Salud y bienestar), al proteger la salud de los ocupantes frente a la exposición prolongada a contaminantes del aire y con el ODS 4 (Educación de calidad), al contribuir con la mejora de las condiciones del entorno educativo para un aprendizaje más seguro y eficaz.

1.5.2. Justificación Social

Este estudio proporciona evidencias pertinentes sobre la exposición de los estudiantes a niveles de CO₂ en ambientes cerrados, lo cual es importante para mantener la salud y el bienestar académico. Entender cómo las concentraciones de CO₂ afectan a las personas en espacios cerrados permite tomar decisiones informadas para optimizar la calidad del aire y reducir los efectos perjudiciales en la salud, tales como fatiga y falta de concentración, contribuyendo así al bienestar de la sociedad en general. Además, a raíz de la pandemia del COVID-19, se evidenció la importancia de la ventilación en la prevención de enfermedades respiratorias, reforzando la necesidad de monitorear indicadores como el CO₂ para garantizar espacios seguros, saludables y socialmente responsables.

1.5.3. Justificación Económica

Desde una perspectiva económica, la reducción de la exposición a niveles elevados de CO₂ puede resultar en menores costos asociados a problemas de salud y ausentismo. Un ambiente bien ventilado y saludable permite a las personas mantener un mejor rendimiento y disminuir el riesgo de enfermedades respiratorias, lo cual, en el largo plazo, representa un beneficio económico al reducir las pérdidas productivas y los gastos médicos.

1.5.4. Justificación Práctica

La investigación ofrece una base para implementar estrategias prácticas de ventilación en los espacios de la institución educativa, como la implementación de ventiladores y otros mecanismos de recirculación del aire. Estas soluciones prácticas ayudan a controlar los niveles de CO₂ y mejorar la calidad del aire en las aulas de forma eficaz, sin necesidad de recurrir a equipos costosos, brindando una alternativa accesible y efectiva para optimizar las condiciones ambientales de aprendizaje.

1.6. Importancia Y Alcance De La Investigación

Esta investigación permite conocer el estado del aire que se respira dentro de las aulas de una universidad pública ubicada en la selva central del Perú. En estos espacios, los estudiantes y el personal pasan muchas horas al día, por lo que era necesario saber si la calidad del aire afectaba su salud o su rendimiento académico.

Al medir los niveles de CO₂, así como los materiales particulados PM₁₀ y PM_{2.5}, se identificaron posibles limitaciones en la ventilación y la acumulación de contaminantes. Esta información es valiosa para que las autoridades universitarias puedan tomar decisiones que ayuden a mejorar las condiciones del ambiente donde se enseña y se aprende.

El alcance del estudio abarca cinco salones de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, durante un periodo de seis meses. Se realizaron mediciones en distintos momentos del día, lo que permitió observar cómo cambiaban los niveles de los contaminantes según el uso de los espacios.

Gracias a esta investigación, se generó información útil para aplicar mejoras en la ventilación de las aulas y promover un entorno más saludable. Además, los resultados sirven de base para futuros estudios similares en otras instituciones educativas del país.

1.7. Limitaciones De La Investigación

El acceso a las instalaciones estuvo limitado, ya que la disponibilidad de espacios dentro de la universidad, como las aulas, se vio restringida por actividades académicas, eventos institucionales u otras circunstancias imprevistas.

Hubo variabilidad en las condiciones ambientales, ya que factores externos como la temperatura, clima y la humedad influyeron en los niveles de CO₂ y no pudieron ser completamente controlados durante las mediciones.

Se presentaron limitaciones en el equipo de medición, ya que el dispositivo Temtop M2000C, aunque preciso, tenía un rango específico de operación que pudo no haber captado variaciones extremas en caso de que estas ocurrieran.

La percepción personal de los participantes representó una limitación, ya que las observaciones de síntomas como fatiga o mareos pudieron haber estado influenciadas por factores ajenos a los niveles de CO₂, como el estado de salud general o el estrés académico.

El cronograma fue ajustado, ya que el periodo de seis meses destinado a la recolección de datos pudo haber sido insuficiente para identificar variaciones estacionales más amplias.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Franco & Leccese (2020), en su artículo científico titulado "Measurement of CO₂ concentration for occupancy estimation in educational buildings with energy efficiency purposes", investigaron la relación entre CO₂ y ocupación en aulas para optimizar sistemas HVAC, mejorando la eficiencia energética y la calidad del aire. Usaron sensores Chauvin Arnoux CA 1510 en 11 aulas del campus de ingeniería de la Universidad de Pisa, encontrando una correlación directa entre CO₂ y ocupación, con niveles de hasta 3000 ppm en espacios concurridos. Identificaron que el volumen disponible por persona es clave para predecir aumentos de CO₂, que oscilaron entre 0.1 y 0.8 ppm/s según ocupación y ventilación. Concluyeron que la ventilación controlada por demanda y el monitoreo continuo son esenciales para equilibrar calidad del aire, salud y eficiencia energética.

Álvarez (2022), en su trabajo titulado "Evaluación de la ventilación en aulas y otros espacios físicos de la Universidad Politécnica Salesiana 'Campus Sur' utilizando como referencia la concentración interior de CO₂", tuvo como objetivo evaluar la ventilación en salones y áreas físicas de dicha universidad, empleando mediciones de concentración de CO₂ como indicador de la necesidad de renovación de aire. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, aplicando un diseño de tipo experimental y descriptivo, utilizando instrumentos como el Spectra Precision Laser HD50 para calcular las dimensiones de los espacios y el medidor Aranet4 para registrar las concentraciones de CO₂. Se analizó una muestra de 27 espacios físicos, incluyendo aulas y áreas administrativas. Dentro de los hallazgos más significativos, se descubrió que el 74% de los espacios estudiados alcanzaron valores de renovación de aire adecuados, mientras que dos de ellos excedieron los niveles recomendados de CO₂ (1100 ppm y 1084 ppm). Se concluyó que la apertura de ventanas y puertas en un 75% es esencial para mantener una ventilación óptima, destacando que la ventilación natural puede ser suficiente para garantizar la calidad del aire en contextos similares.

Sandoval et al. (2020), en su artículo titulado "Valoración de los niveles de calidad del aire de interiores en espacios de institución de educación superior", evaluaron la calidad del aire interior en un salón de una institución de educación superior a través de mediciones ambientales y encuestas de percepción. Aplicando un método cuantitativo con un diseño descriptivo no experimental, utilizaron un monitor PCE-RCM11 para registrar parámetros como temperatura, humedad relativa, PM_{2.5}, PM₁₀, y el CO₂.

La muestra consistió en 40 estudiantes y un aula de 15 m². Los resultados indicaron que

la temperatura promedio de 26.1 °C superó el rango recomendado (20-25 °C) y que la humedad relativa promedio del 76.5% estuvo por encima del rango aceptable (30-60%). Mientras que las concentraciones de CO₂ (451 ppm) cumplieron con los estándares, el PM_{2.5} excedió los límites establecidos en algunos momentos del estudio, alcanzando hasta 21 µg/m³. Se concluyó que la ventilación insuficiente y la alta temperatura son los principales factores que afectan de manera negativa la percepción del confort y la salud de los ocupantes, recomendándose mejoras en la ventilación.

Andamon et al. (2023), en su artículo científico titulado "Evaluation of ventilation in Australian school classrooms using long-term indoor CO₂ concentration measurements", realizaron un análisis detallado de las tasas de ventilación en aulas escolares de Australia a través de mediciones prolongadas de concentraciones de CO₂. El objetivo principal fue identificar deficiencias en la ventilación de las aulas y proponer mejoras en el diseño de los espacios y en las prácticas operativas. Este estudio empleó un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, analizando datos recopilados durante un año académico. Se utilizaron sensores HOBO MX1102 para medir CO₂, temperatura y humedad en diez aulas de cinco escuelas de Victoria, Australia, con una ocupación promedio de entre 15 y 27 estudiantes. Los resultados revelaron que el 70% de las aulas superaron el límite australiano de CO₂ de 850 ppm, con picos promedio de 2235 ppm y máximos de hasta 5000 ppm. Las tasas de ventilación promedio fueron de 4.08 L/s por persona, un 35-40% inferiores a las recomendaciones nacionales de 10-12 L/s por persona. El estudio concluye que las aulas australianas presentan, en general, una ventilación inadecuada, lo que afecta negativamente la calidad del aire interior.

2.2. Antecedentes Nacionales

Chipana & Matos (2020), en su tesis titulada "Evaluación de las concentraciones de CO₂ en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión" tuvieron como objetivo evaluar cómo las concentraciones de CO₂ en espacios interiores afectan la salud de los estudiantes. El estudio adoptó una metodología cuantitativa, utilizando un enfoque descriptivo y no experimental. Para lograrlo, se llevaron a cabo seguimientos directos de CO₂ y estudios de variables ambientales como temperatura y humedad relativa en diversos ambientes interiores de la universidad. Los resultados indicaron que las concentraciones de CO₂ en espacios cerrados superaron los 1000 ppm siendo un factor asociado a malestares físicos, como el dolor de cabeza y dificultades respiratorias. Se concluyó que la medición del CO₂ es un indicador clave para implementar estrategias de mejora en la calidad del aire interior y de la ventilación.

Retis & Gutierrez (2022), en su tesis titulada "Evaluación del dióxido de carbono de la calidad de aire y su relación con la ventilación, temperatura y humedad en interiores para prevenir contagio del COVID-19" tuvieron como objetivo evaluar la similitud entre las concentraciones de dióxido de carbono y variables como ventilación, humedad y temperatura relativa en espacios interiores, con la finalidad de prevenir contagios de COVID-19. El estudio fue desarrollado a partir de un enfoque cuantitativo, mediante un diseño no experimental que combinó el análisis descriptivo y correlacional. Se utilizó un dispositivo de medición directa modelo ST-502 con sensores no dispersivos infrarrojos NDIR para monitorear dichas variables en 33 áreas de trabajo en la Municipalidad Distrital de Pichari. Los resultados revelaron que, a medida que disminuye la ventilación, aumentan los niveles de dióxido de carbono, reflejando una correlación negativa moderada ($Rho = -0.584$), y correlaciones negativas muy bajas con temperatura y humedad. Asimismo, en algunas áreas se superaron los límites recomendados de CO_2 (500 ppm), lo que evidencia deficiencias en ventilación. Se concluyó que una adecuada ventilación es crucial para reducir las concentraciones de CO_2 y prevenir riesgos de contagio, recomendándose también el uso de plantas purificadoras de aire como medida complementaria.

2.2.1. Antecedentes Regionales

Atencio (2023), en su tesis titulada "Evaluación de CO_2 en los ambientes de estudio del nivel primario del Colegio Editum Huancayo, enfocado a la prevención y control de riesgo de exposición a SARS-COV-2 en la actualidad 2023" tuvo como propósito cuantificar la concentración de CO_2 en los entornos educativos de nivel primario del Colegio Editum Huancayo, centrándose en la prevención y control de riesgos relacionados con el SARS- COV-2. El estudio adoptó una metodología cuantitativa, con un diseño no experimental, explicativo y descriptivo. Se empleó el sensor de gases Carbon Dioxide Detector - AIR MONITOR H8 para medir directamente las concentraciones de CO_2 en una muestra de 10 ambientes, incluyendo 6 salones y 4 áreas administrativas. Se identificó que el mayor nivel de CO_2 se evidenció en el salón del tercer año, con una concentración de 1647.2 ppm, alcanzando la mayor concentración de CO_2 , excediendo los Límites Máximos Permisibles, lo que resalta la necesidad de mejorar la ventilación. Se concluyó que el uso de ventilación natural es una estrategia viable para mitigar el riesgo de contagio en ambientes educativos.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Calidad del Aire Interior (CAI)

Según el MINAM (2023), son valores límite para la prevención de cuando el aire está libre de contaminantes atmosféricos y por lo tanto apto para ser respirado. Por otro lado, el MITECO (2022), lo define como el grado en el que el medio aéreo se encuentra libre de sustancias contaminantes.

2.3.2. Calidad Del Aire En El Mundo

La calidad del aire es un desafío global que representa un riesgo tanto para la salud pública como para el equilibrio ambiental. La contaminación atmosférica figura entre los principales riesgos ambientales para la salud de las personas. Evidencia científica reciente señala que alrededor del 92 % de la población mundial habita en zonas donde no se alcanzan los niveles mínimos establecidos de calidad del aire, lo cual está asociado a cerca de tres millones de muertes prematuras cada año a causa de dicha exposición (Querol, 2018). Este escenario se alinea con los propósitos del ODS 3 (Salud y bienestar), al reflejar los graves efectos en la salud por exposición a contaminantes; con el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), al evidenciar la necesidad de mejorar la calidad del aire en zonas urbanas; y con el ODS 13 (Acción por el clima), al contribuir a la concientización sobre los impactos ambientales globales derivados de la contaminación del aire.

2.3.3. Calidad Del Aire En El Perú

Según la empresa suiza IQAir (2024), el Perú se ubica en el puesto 51 de 134 países del ranking de contaminación mundial, siendo el primer puesto en América del Sur. Otra investigación realizada por Contreras (2023), recolectó una entrevista a Luis Chirinos García, doctor en Ciencias Ambientales e investigador del INTE-PUCP, quien señala que hay dos elementos fundamentales que inciden en la polución atmosférica en la ciudad de Lima, por una parte, se identifican las fuentes directas de contaminación, como el transporte y las actividades industriales, por otra, influyen las condiciones meteorológicas, que pueden favorecer la dispersión o acumulación de los contaminantes.

2.3.4. Principales Contaminantes Del Aire

Los contaminantes más críticos incluyen partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), y compuestos orgánicos volátiles (COV). Entre estos, las partículas finas ($PM_{2.5}$) son las que presentan mayor impacto en la salud debido a su capacidad para penetrar profundamente en los pulmones y el sistema cardiovascular. En muchas regiones en vías de desarrollo, los niveles de contaminantes como el benceno, dióxido de azufre (SO_2) y el monóxido de carbono (CO) exceden los límites establecidos (Querol, 2018).

2.3.5. Dióxido De Carbono (CO_2)

El CO_2 , en condiciones ambientales, es un gas sin olor ni color, compuesto por un átomo de carbono enlazado a dos átomos de oxígeno mediante enlaces covalentes (Arroyo & Ramírez, 2020).

2.3.6. Concentraciones De CO₂

Regueiro (2022), refiere que las concentraciones de CO₂ se miden en partes por millón (ppm) y representan un indicador clave de la calidad del aire en interiores.

2.3.7. Fuente De CO₂

Se origina en los procesos de fermentación, respiración y combustión, a continuación, se menciona las principales fuentes de emisión de CO₂:

- a) Combustión de Combustibles Fósiles: Esta es la mayor fuente de emisiones de CO₂, que incluye la combustión de carbón, petróleo y gas natural para producir electricidad, el transporte y procedimientos industriales (Arroyo & Ramírez, 2020).
- b) Transporte: Los vehículos que utilizan gasolina y diésel para el transporte de
- c) personas y mercancías son grandes emisores de CO₂ (Arroyo & Ramírez, 2020).
- d) Procesos Industriales: La producción industrial, incluyendo la fabricación de cemento, acero y productos químicos, también contribuye significativamente a las emisiones de CO₂ (Arroyo & Ramírez, 2020).
- e) Respiración: La respiración humana y animal es una fuente natural de CO₂,
- f) producto del metabolismo (Arroyo & Ramírez, 2020).
- g) Deforestación: La deforestación reduce significativamente la capacidad de los ecosistemas para capturar y almacenar carbono, ya que los árboles absorben CO₂ a través de la fotosíntesis. Cuando se talan o queman, el carbono almacenado se libera en forma de CO₂, contribuyendo al calentamiento global (FAO, 2020).
- h) Incendios forestales: Los incendios, ya sean provocados o naturales, liberan grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera al quemar biomasa. Además, degradan ecosistemas que cumplen funciones vitales como sumideros de carbono, intensificando los efectos del cambio climático (IPCC, 2021).

2.3.7.1. Límites Permisibles (NTP 549). Según la norma técnica de prevención NTP 549, el límite máximo permisible de CO₂ en espacios interiores es de 1000 ppm. En contextos educativos y laborales, superar este umbral afecta el bienestar de las personas (INSST, 2024).

2.2.7. Efectos de las concentraciones de CO₂ en la salud de Universitarios Chipana & Matos (2020), señalan que la presencia elevada de dióxido de carbono en espacios cerrados, como las aulas escolares y universitarias, contribuye al deterioro de la calidad del aire interior, lo cual puede repercutir negativamente en la salud de los estudiantes, generando síntomas como cefaleas, fatiga, mareos, agotamiento y afecciones respiratorias. Efectos de las concentraciones de PM₁₀ en la salud de Universitarios Rojas & García (2020) señalaron que niveles elevados de material particulado PM₁₀ en espacios interiores, como las aulas de educación superior, pueden tener efectos perjudiciales sobre la salud respiratoria del estudiante. La exposición continua a estos contaminantes está vinculada con manifestaciones como tos, dificultad al respirar e irritación en la garganta, además de aumentar la probabilidad de desarrollar malestares crónicos como asma o bronquitis.

2.2.9. Efectos de las concentraciones de PM_{2.5} en la salud de Universitarios Gómez & Pérez (2019) señalan que las partículas finas de PM_{2.5} en espacios cerrados, como las aulas universitarias, representan un riesgo significativo para la salud respiratoria de los estudiantes. La exposición prolongada a estas partículas puede causar irritación en los pulmones, disminución de la función pulmonar y un aumento en la vulnerabilidad a enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares. Además, su capacidad de penetrar profundamente en los pulmones y alcanzar el torrente sanguíneo hace que sean aún más peligrosas.

2.3.8. Ventilación De Espacios Universitarios

2.3.8.1. Natural. La implementación de ventilación natural en construcciones es una táctica de diseño esencial para el enfriamiento y la renovación del aire interior, basada en el uso de ventanas y puertas abiertas para facilitar la circulación de aire fresco (Mercado et al., 2018).

2.3.8.2. Mecánica. La ventilación mecánica consiste en utilizar sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado) para controlar y optimizar las condiciones del aire en un ambiente cerrado, asegurando su calidad, temperatura y circulación adecuada.

2.4. Bases Conceptuales

- 1) Calidad del Aire Interior (CAI): Según el MINAM (2023) el nivel de pureza del aire dentro de espacios cerrados, determinado por la concentración de contaminantes y las condiciones de confort térmico y humedad.

- 2) CO₂: Se trata de un gas incoloro e inodoro formado por un átomo de carbono y dos de oxígeno, resultado de la respiración y la combustión (Arroyo & Ramírez, 2020).
- 3) Límite Permisible de CO₂: La máxima concentración de CO₂ permitida en espacios
- 4) cerrados sin causar efectos adversos a la salud es de 1000 ppm según la NTP 549.
- 5) Partículas en Suspensión: Son pequeñas partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, que pueden penetrar en el sistema respiratorio (Querol, 2018).
- 6) Material Particulado (PM_{2.5}): Está formado por partículas muy finas con un diámetro menor a 2.5 micrómetros, capaces de penetrar profundamente en los pulmones e ingresar al torrente sanguíneo. Su exposición prolongada está asociada con enfermedades respiratorias, cardiovasculares y muertes prematuras (OMS, 2021). Se origina por combustión de vehículos, quema de biomasa e industrias.
- 7) Material Particulado (PM₁₀): Está compuesto por partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire con un diámetro menor a 10 micrómetros. Estas partículas pueden ingresar al sistema respiratorio y causar efectos adversos en la salud, especialmente en las vías respiratorias superiores (MINAM, 2017). Se originan principalmente por actividades industriales, tráfico vehicular y el polvo del suelo.
- 8) Ventilación Natural: Método de renovación del aire en espacios cerrados mediante aperturas como ventanas o puertas (Regueiro, 2022).
- 9) Ventilación Mecánica: Según Franco & Leccese (2020) es el sistema que utiliza dispositivos mecánicos como ventiladores o HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) para renovar el aire en espacios cerrados.
- 10) Índice de Calidad del Aire (ICA): Indicador que clasifica la calidad del aire en función de la concentración de contaminantes específicos (IQAir, 2024).
- 11) Contaminación atmosférica: Presencia de sustancias nocivas en la atmósfera que afectan la salud y el medio ambiente (OMS, 2024).
- 12) CO₂ de origen natural: Emisión de CO₂ como producto natural de procesos biológicos, como la respiración y la descomposición (Arroyo & Ramírez, 2020).
- 13) CO₂ de origen antropogénico: Emisión de CO₂ derivada de acciones humanas, como el consumo de combustibles fósiles y procesos industriales, involucran acciones humanas (Querol, 2018).
- 14) Rendimiento académico: Desempeño de los estudiantes en términos de calificaciones y logro de objetivos educativos (Mahyuddin & Essah, 2024).
- 15) Bioaerosoles: Partículas biológicas suspendidas en el aire, como bacterias, virus y esporas, que pueden afectar la salud (Sahu & Gurjar, 2020).

16) Clima tropical húmedo: Condición climática característica de la Selva Central, con alta humedad y temperaturas elevadas (Regueiro, 2022).

17) Fatiga por CO₂: Sensación de cansancio y somnolencia derivada de la exposición a altas concentraciones de dióxido de carbono (Azuma et al., 2018).

2.5. Bases Epistemológicas

Esta investigación se apoyó en un enfoque que consideró que la realidad podía conocerse a través de la observación y la medición con ayuda de números y datos. Por ello, se buscó describir lo que ocurría con la calidad del aire dentro de los salones de clase, analizando las cantidades de (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}).

Se partió de la idea de que, si se usaban herramientas adecuadas, como el equipo Temptop M2000C, era posible obtener información confiable sobre estos contaminantes. Estos datos ayudaron a entender qué tan limpio o contaminado estaba el aire que respiraban los estudiantes y a identificar si existían condiciones que afectaran su bienestar.

Además, el estudio se basó en la experiencia directa, ya que se recogieron datos reales en el lugar de estudio y se analizaron cuidadosamente para sacar conclusiones. De este modo, se buscó que los resultados servirán no solo para entender mejor el problema, sino también para proponer soluciones prácticas que mejoren el ambiente en el que estudian las personas.

Las bases que guiaron esta investigación permitieron conocer la situación real del aire en los salones, con el fin de tomar decisiones que ayuden a cuidar la salud y el rendimiento de quienes pasan muchas horas en estos espacios cerrados.

2.6. Definición De Términos Básicos

- 1) Partículas: Son pequeñas partículas sólidas o líquidas presentes en el aire, que pueden penetrar en el sistema respiratorio (Querol, 2018).
- 2) Natural: Emisión de dióxido de carbono como producto natural de procesos biológicos, como la respiración y la descomposición (Arroyo & Ramírez, 2020).
- 3) Antropogénico: Emisión de dióxido de carbono derivada de acciones humanas, como el consumo de combustibles fósiles y procesos industriales, involucran acciones humanas (Querol, 2018).
- 4) Rendimiento: Desempeño de los estudiantes en términos de calificaciones y logro de objetivos educativos (Mahyuddin & Essah, 2024).
- 5) Clima: Condición climática característica de la Selva Central, con alta humedad y temperaturas elevadas (Regueiro, 2022).
- 6) Transporte: Los vehículos que utilizan gasolina y diésel para el transporte de
- 7) personas y mercancías son grandes emisores de CO₂ (Arroyo & Ramírez, 2020).

- 8) Fatiga: Sensación de cansancio y somnolencia derivada de la exposición a altas concentraciones de dióxido de carbono (Azuma et al., 2018).
- 9) Ventilación: Según Franco & Leccese (2020) es el sistema que utiliza dispositivos mecánicos como ventiladores o HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) para renovar el aire en espacios cerrados.
- 10) Bioaerosoles: Partículas biológicas suspendidas en el aire, como bacterias, virus y esporas, que pueden afectar la salud (Sahu & Gurjar, 2020).

CAPÍTULO III.

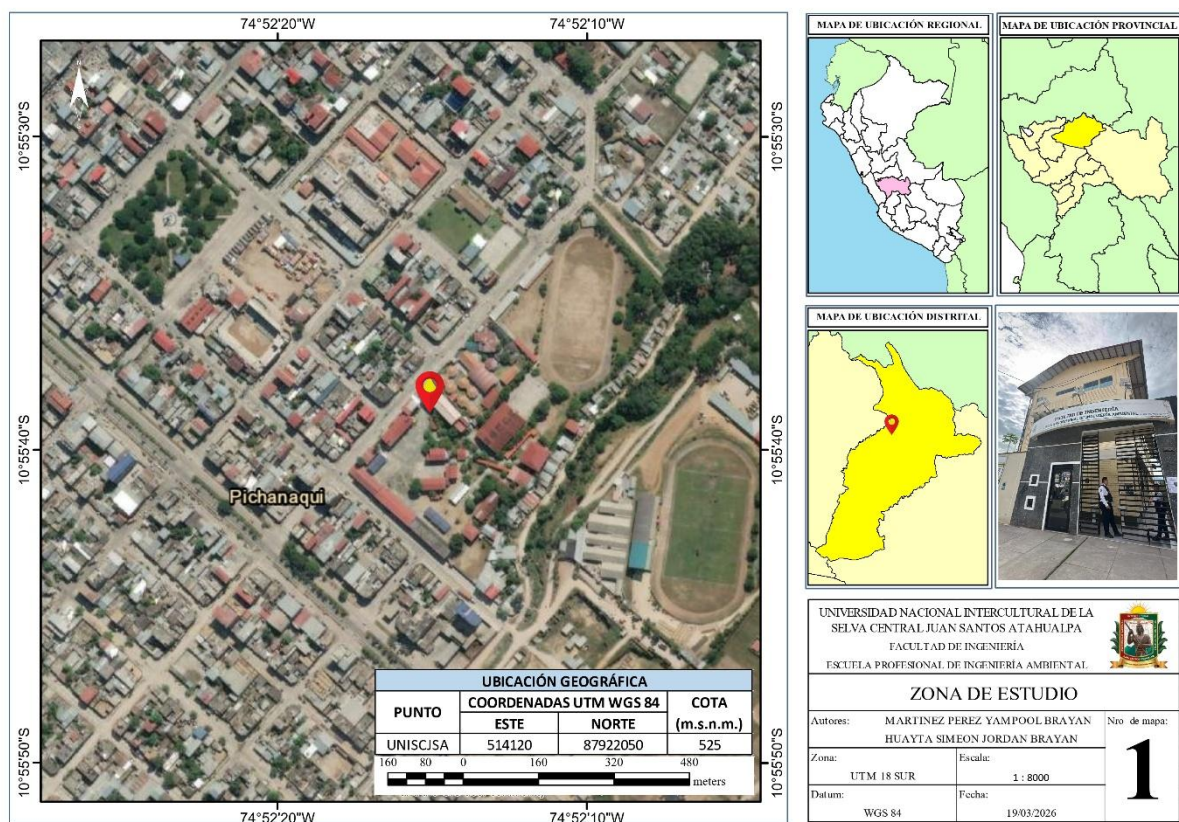
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito

El estudio se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, sede Pichanaki, ubicada en Jr. 7 de junio 1035, en el distrito de Pichanaki, provincia de Chanchamayo, Departamento de Junín, a una latitud de -10.927288° y una longitud de -74.870814° .

Figura 1

Zona de estudio



3.2. Nivel, Tipo Y Diseño De Investigación

3.2.1. Nivel De Investigación

Según Martínez (2020), las investigaciones de nivel descriptivo (a), son aquellas en las que se realizan observaciones con la intención de poder describir los resultados obtenidos respecto al problema del tema investigado.

Teniendo en cuenta esto, la presente investigación es de tipo descriptivo, ya que se realizarán descripciones de los valores de CO₂ obtenidos en los espacios de la UNISCJSA, con la intención de conocer la variabilidad de concentración de dicho contaminante.

3.2.2. Tipo De Investigación

Según Tarrillo et al., (2024), los estudios de tipo básico son aquellos que tienen por finalidad generar conocimientos teóricos y la comprensión conceptos conocidos y desconocidos, además de buscar ampliar la información del tema o variables de investigación.

Teniendo en cuenta este concepto la presente investigación es de tipo básica, ya que se generará información y obtención de datos respecto a la generación y variabilidad del CO₂ en cinco espacios de la UNISCJSA (salones).

3.2.3. Diseño De Investigación

Según Martínez (2020), el diseño descriptivo o también conocido como no experimental, es aquel que explica una realidad. También Martínez (2020), menciona que el diseño transversal es aquel que se da en un solo momento o en una sola etapa.

Teniendo en cuenta estas definiciones, el presente estudio es de diseño descriptivo ya que, se obtendrán datos del CO₂, respecto en espacios como salones y oficinas, además también tiene un diseño transversal, ya que se realizará en un solo periodo, pero con etapas de medición las cuales se adecuarán a la disponibilidad y el cronograma establecido.

3.3. Población Y Selección De Muestra

3.3.1. Población

La población corresponde al grupo humano, espacial u objetos a estudiar (Martínez, 2020).

Según la definición, la población de esta investigación son todos los espacios de la universidad Nacional Intercultural de la Selva Central, como son los salones de la Escuela Profesional Ingeniería Ambiental.

Teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Tabla 1

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios	Salones
	Salones con alumnos presentes.
Inclusión	Aire acondicionado encendido o apagado.
	Puertas y ventanas presentes (abiertas o cerradas).
	Presencia de alumnos durante la medición.

	Salones sin alumnos presentes.
	Aire acondicionado encendido o apagado.
Exclusión	Puertas y ventanas presentes (abiertas o cerradas)
	Sin presencia de alumnos durante la medición.

3.3.2. Muestra

Tarrillo et al., (2024), refiere que la muestra es el subconjunto que se elige para realizar la investigación, el cual está sujeta a un tipo de muestreo que puede ser probabilístico o no probabilístico.

Según Hadi et al., (2023), el muestreo no aleatorio es aquel que se utiliza para elegir a la muestra solo teniendo en cuenta ciertas características o también por un juicio tendencioso personal del investigador. El mismo autor define el muestreo intencional, se utiliza cuando el investigador aplica criterios personales para elegir a la muestra de estudio.

Teniendo estas definiciones, comprendemos que el estudio utiliza un muestreo no aleatorio intencional o por conveniencia, dado que se seleccionó la muestra de manera intencional sin aplicar ninguna fórmula estadística y la elección se dio mediante criterios personales tendenciosos para la investigación.

Siendo así que se eligió 5 salones de Ingeniería Ambiental, como espacios en los cuales se recolectaran los datos de concentraciones de (CO₂, PM₁₀ y PM_{2.5}).

3.4. Procedimientos, Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos

3.4.1. Procedimiento

Los datos de contaminantes gaseosos, material particulado atmosférico y parámetros meteorológicos serán obtenidos mediante el equipo automático de monitoreo de la calidad del aire Temtop M2000C. La recolección de esta información estará a cargo de los autores de este proyecto de tesis de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa.

El equipo Temtop M2000C proporcionará los siguientes datos:

- Concentración horaria de CO₂
- Concentración horaria de PM₁₀
- Concentración horaria de PM_{2.5}
- Temperatura °C.
- Humedad Relativa %

Figura 2

Temtop M2000C



3.4.2. Técnicas

Para medir (CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) en un ambiente cerrado, se verificará la calibración del equipo analizador y se asegurará de que el equipo esté completamente cargado. Se colocará el equipo Temtop M2000C en el centro del espacio a una altura de 1.10 metros del suelo y se configurará para registrar lecturas cada minuto. Se realizará la medición en 5 salones diferentes, efectuando mediciones tanto con alumnos presentes como sin ellos para establecer comparaciones de la calidad del aire. Cada hora, se cambiará la metodología de medición para obtener datos desde diferentes perspectivas y condiciones. Se documentarán los parámetros meteorológicos (temperatura y humedad), el número de ocupantes y cualquier actividad relevante durante la prueba. Al finalizar, se descargarán los datos y se analizarán los valores promedio, máximos y mínimos, comparándolos con los límites recomendados (CO_2 : <1000 ppm, $\text{PM}_{2.5}$: <12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} : <50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.4.3. Instrumento De Recolección De Datos

3.4.3.1. Equipo. Para cuantificar los datos de la concentración de contaminantes gaseosos (CO_2), material particulado (PM_{10} Y $\text{PM}_{2.5}$) y los parámetros meteorológicos (Temperatura y Humedad relativa) se usó:

- Equipo automático Tempop M2000C

3.4.3.2. Software. para realizar el análisis descriptivo, temporal y correlacional de las variables meteorológicas, material particulado y de concentración de los contaminantes gaseosos atmosféricos se empleó las siguientes herramientas:

- Microsoft Excel 2019, el cual servirá para ordenar los datos. Aquí los datos se ordenarán en función a su monitoreo horario, y donde los parámetros meteorológicos serán adicionados en sus respectivas líneas y columnas para tener una base de datos del contaminante horario y de su parámetro meteorológico correspondiente.
- El software libre R, en donde los datos ordenados serán alimentados, y a través del uso de paquetes se generarán tablas de resúmenes de las estadísticas descriptivas y de tendencia central. Asimismo, estos datos serán utilizados para generar gráficos.

3.4.4. Etapa De Planificación

Se establecerá horarios de obtención de datos, teniendo en cuenta, que solo se llevaran a cabo de lunes a viernes, considerando que cada espacio será analizado en la mañana y en la tarde durante una semana, a continuación, se muestra un ejemplo: Salón 1 (primera semana), Salón 2 (segunda semana), Salón 3 (tercera semana), Salón 4 (cuarta semana), Salón 5 (quinta semana), este ciclo de obtención de datos se realizará un periodo 6 meses.

Se realizará una breve inducción del uso y calibración del dispositivo Temptop M2000C, teniéndolo listo para proceder a la obtención de los datos con el dispositivo.

3.4.5. Etapa De Campo

Conociendo como se utiliza el dispositivo Temptop M2000C y también teniendo listo el cronograma y horarios establecidos, pasamos a la etapa de campo, en el que realizaremos lo siguiente:

Recolección de datos de las concentraciones de (CO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), tanto en la mañana como en la tarde, se ingresará a los espacios en estudio, en el que se prenderá el dispositivo y tomará los datos durante 4 horas, esto se realizará en 4 situaciones, 1 hora con el aire acondicionado apagado con puertas y ventanas cerradas, 1 hora con aire acondicionado encendido con puertas y ventanas cerradas, 1 hora con el aire acondicionado encendido con puertas cerradas y ventanas abiertas, 1 hora con el aire acondicionado apagado con puertas y ventanas abiertas.

También se utilizará una ficha en donde registraremos las observaciones de cómo se encuentra el espacio en el que se está realizando la obtención de datos de las concentraciones de CO_2 y malestares que sintieron los estudiantes durante las clases, las observaciones anotadas tales como: cantidad de estudiantes, dimensiones estimadas del salón, temperatura, humedad y la hora.

Este mismo procedimiento se llevará a cabo en cada espacio, teniendo una obtención de datos de cada espacio durante una semana.

3.5. Análisis Estadísticos

De los datos recolectados durante el periodo de 07:48 a.m. a 16:38 p.m. (datos más completos y para términos de comparación), se hizo una tabla descriptiva y gráficos para ver su comportamiento y a la vez estos serán comparados a los valores aceptables en interiores.

Para PM_{2.5} y PM₁₀: las organizaciones de la salud sugieren niveles función de (Ryan, 2023)

Tabla 2

Descriptivo del PM_{2.5} y PM₁₀

Opciones	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Observación
	15 o más bajo– 35		
Limites aceptables	(máximo aceptable)	50 o más bajo	Espacios ocupables
Limites aceptables	25 o más bajo	50 o más bajo	Construcciones con un PM _{2.5} externo igual o mayor a 35 µg/m ³

Para CO₂: fue evaluado en función del efecto de las diferentes concentraciones de CO₂ en interiores descrito por (Özgür Küçüküseyin, 2021)

Tabla 3

Descriptivo del CO₂

Concentración	Efecto
350 a 450 ppm	Típica concentración atmosférica
600 a 800 ppm	Calidad del aire interior confiable
1000 ppm	Rango superior de calidad del aire interior confiable
5000 ppm	Concentración máxima en el trabajo durante 8 horas
6000 a 30 000 ppm	Crítico, solo exposición a corto plazo

3.6. Consideraciones Éticas

Esta investigación respetará los siguientes principios éticos: petición para llevar a cabo el estudio en los espacios de la universidad, con el fin de no tener problemas y dilemas que afecten a la investigación, se solicitara permiso a las personas entrevistadas, aplicando el anonimato de los mismos para que no se vean involucrados directamente con la investigación, también se aplicara términos como no utilizar textos o información sin consentimiento de los autores, teniendo en consideración de que sean personas públicas o publicaciones gubernamentales o de uso público.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Estadística Descriptiva De PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂ Y Parámetros Meteorológicos (Temperatura Y Humedad Relativa)

En la Tabla 4 se presenta la estadística descriptiva del material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), CO₂ y parámetros meteorológicos (temperatura y humedad relativa) medidos en 05 salones (S1, S2, S3, S4, y S5) sin alumnos (SA) y con alumnos (CA).

Para el PM_{2.5}, se puede notar que la media varía de 8.19 µg/m³ a 11.76 µg/m³ para los salones sin estudiantes, mientras que en salones que tenían estudiantes fluctuó de 9.21 µg/m³ a 12.14 µg/m³. Asimismo, el valor mínimo para los salones medido fue 4.40 µg/m³ para los salones sin estudiantes y 2.20 µg/m³ para los salones con estudiantes. Los valores máximos alcanzados de PM_{2.5} varió de 11.48 µg/m³ a 29.20 µg/m³. Entre los salones con estudiantes y sin estudiantes no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$). Bisorca et al., (2025) reportó similares valores de PM_{2.5} (con valores entre 10 µg/m³ y 11 µg/m³) cuando monitoreo este contaminante durante 04 horas en un salón de clases de una universidad de Rumania utilizando un sensor por un periodo de 04 horas fue reportado en las instalaciones (salón de clase) de una universidad en Rumania. Collison et al., (2025) encontró la mediana de 16 salones medidos dentro de una universidad de Irlanda en 11 µg/m³, valor similar a la mediana reportada en esta investigación (~10 µg/m³).

La media del PM₁₀ para todos los salones sin estudiantes fluctuó de 13.21 µg/m³ a 18.67 µg/m³, mientras que para los salones con estudiantes varió de 13.19 µg/m³ a 17.30 µg/m³. Asimismo, el mínimo y máximo valor encontrado para este contaminante en ambos escenarios fue de 4.10 µg/m³ y 45.90 µg/m³, respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre los salones sin estudiantes y con estudiantes para este contaminante ($p < 0.05$). Similares valores (variando de aproximadamente 15 µg/m³ a 50 µg/m³) fue reportado por Bisorca et al., (2025), quienes midieron este contaminante en salones de una universidad de Rumania utilizando un sensor de medición en tiempo real. Pulimeno et al., (2020) reveló que las concentraciones de PM₁₀ en interiores estuvo en promedio de 40 µg/m³, alcanzando picos más altos que 75 µg/m³.

Bekierski and Kostyrko, (2021) indican que la contaminación por material particulado en interiores (edificios, oficinas, o salones) cuando no se tienen fuentes significativas de emisión dentro de estas, entre el 60 a 70% provienen de la contaminación por partículas del exterior. Asimismo, Othman et al., (2019) sostiene que las fuentes PM₁₀ y PM_{2.5} en interiores provienen de factores externos (tráfico vehicular, polvo de suelo, industrias cercanas, quema de biomasa, etc.) que ingresan por las ventanas/puertas u otros. Así, estos similares valores

reportados no muy altos y que no superan los límites para ambos contaminantes PM_{2.5} y PM₁₀ en los salones con estudiantes y sin estudiantes podría estar relacionado a que dentro de estos salones no se generan la emisión de partículas, y que gran parte del día estas puertas y ventanas se mantienen cerradas y que no se hacen actividades como cocinar, fumar, o limpiar mientras estos están en horario de clases.

La Unión Europea en función de sus directivas de la calidad de aire en interiores, indica que la concentración máxima permitida de CO₂ en ambientes interiores es 1000 ppm (EU-OSHA, 2012) y que valores que excedan este valor podrían traer influencia negativa sobre la salud (Mahyuddin and Essah, 2024). Los valores medios encontrados en los salones sin alumnos vario de 414 ppm a 451 ppm, y en salones con estudiantes de 1317 ppm a 1624 ppm. Los valores mínimos de CO₂ en los salones sin estudiantes fue de 388 ppm a 448 ppm, mientras en salones con estudiantes fluctuó de 2543 ppm a 3450 ppm. En este caso, fue observado diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los salones con estudiantes y salones sin estudiantes para el CO₂. Usualmente los salones de clases son concurridos por los estudiantes, están sobrecalentadas (más en esta región) y mal ventiladas, lo que probablemente generaría en un incremento de las concentraciones de CO₂ que implicaría en un efecto negativo sobre la salud de los estudiantes presentes si este excede el 0.15% (1500 ppm). Sin embargo, parte de la concentración de CO₂ podría provenir de los exteriores de la universidad, debido que hay una fuerte circulación sobre todo de mototaxis, motos lineales, y diferentes tipos de automóviles, quienes usan combustibles fósiles.

Tabla 4

Estadística descriptiva del material particulado (PM₁₀, PM_{2.5}), CO₂ y parámetros meteorológicos en 05 salones con alumnos y sin alumnos.

	S1 (n=3)		S2 (n=3)		S3 (n=3)		S4 (n=3)		S5 (n=3)	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
PM_{2.5} (µg. m⁻³)										
Media	10.12	12.14	10.13	9.21	11.76	11.15	10.14	10.14	8.19	10.57
Mediana	10.80	10.00	10.77	7.1	12.7	9.10	10.70	8.10	8.20	8.22
Min	5.50	5.30	5.50	2.20	4.40	4.20	5.30	3.20	4.66	2.60
Max	19.82	29.2	19.78	26.8	21.80	28.20	19.88	27.10	11.48	27.50
PM₁₀ (µg. m⁻³)										
Media	16.27	16.16	15.62	13.19	16.25	15.16	18.67	14.16	13.21	17.30
Mediana	17.36	14.20	16.44	11.20	17.32	13.20	16.88	12.20	13.22	13.24
Min	8.94	7.40	8.95	4.10	8.60	6.50	8.78	5.60	7.70	4.20

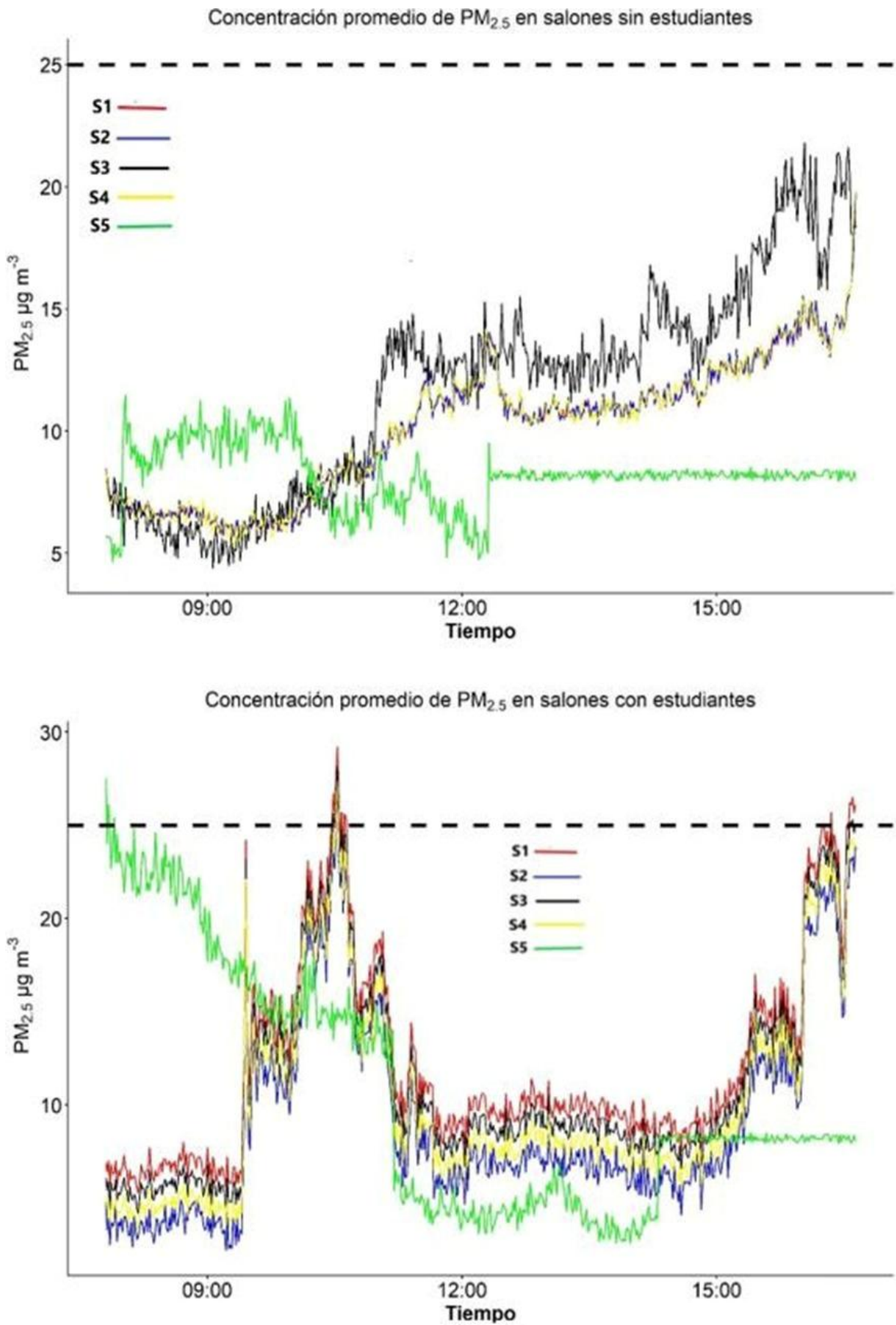
Max	32.24	45.90	32.91	42.90	32.52	45.00	34.10	43.90	22.98	45.80
CO ₂ (ppm)										
Media	406	1317	414	1317	413	1317	414	1317	451	1624
Mediana	401	1329	406	1334	407	1335	410	1332	454	1579
Min	393	446	392	444	388	446	383	448	404	451
Max	594	2543	627	2544	600	2544	635	2544	608	3450

T (°C)										
Media	26.92	27.22	26.74	28.20	27.07	25.20	27.26	27.20	27.20	28.48
Mediana	25.62	27.20	26.72	28.30	26.94	25.30	27.12	27.30	27.60	28.10
Min	24.10	24.90	23.64	26.00	23.68	23.20	24.06	25.30	23.64	25.70
Max	30.61	29.40	30.88	30.20	31.62	27.00	31.86	29.00	33.50	32.20
HR (%)										
Media	61.84	67.72	61.97	68.70	61.41	68.71	60.67	67.70	67.12	58.48
Mediana	62.60	67.60	62.55	68.60	62.42	68.50	62.48	67.40	67.12	59.60
Min	44.88	53.90	43.83	55.60	42.46	55.60	40.15	54.70	57.18	46.00
Max	75.20	83.80	75.78	83.60	75.88	83.50	75.53	82.40	84.96	74.50

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento del PM_{2.5} medidos en salones sin estudiantes y en salones con estudiantes. De la Figura 3 es observado que las concentraciones de los 05 salones con alumnos (CA) y sin alumnos (SA) tienen un similar comportamiento (excepto salón 05). Este similar comportamiento podría ser atribuido que estos salones tienen casi similar dimensión de tamaño, con ventanas casi siempre cerradas en el interior, 02 sistemas de aire acondicionado y 02 puertas cada uno, mientras el salón 05 es aquel que tiene una menor dimensión. Asimismo, es observado una variación de alrededor de 15 µg/m³ en el horario de la tarde iniciando aproximadamente desde las 10:00 a.m. a 16:30 p.m., para el caso de los salones sin alumnos. Para el caso de los salones con alumnos se observa un pico de PM_{2.5}, desde las 09:00 a.m. hasta aproximadamente 11:30 a.m., y otro iniciando a las 15:00 p.m. a 16:30 p.m. aproximadamente. El incremento de PM_{2.5} en el periodo de la tarde podría responder al mayor movimiento del parque automotor afuera de las instalaciones de la universidad. Además, se observa que en el caso de los salones sin estudiantes no se sobrepasó los límites para el PM_{2.5} en ambientes interiores, y que para los salones con alumnos sobrepasaron los límites en horario de 11:00 a.m., aproximadamente y en la tarde alrededor de la 4:30 p.m.

Figura 3

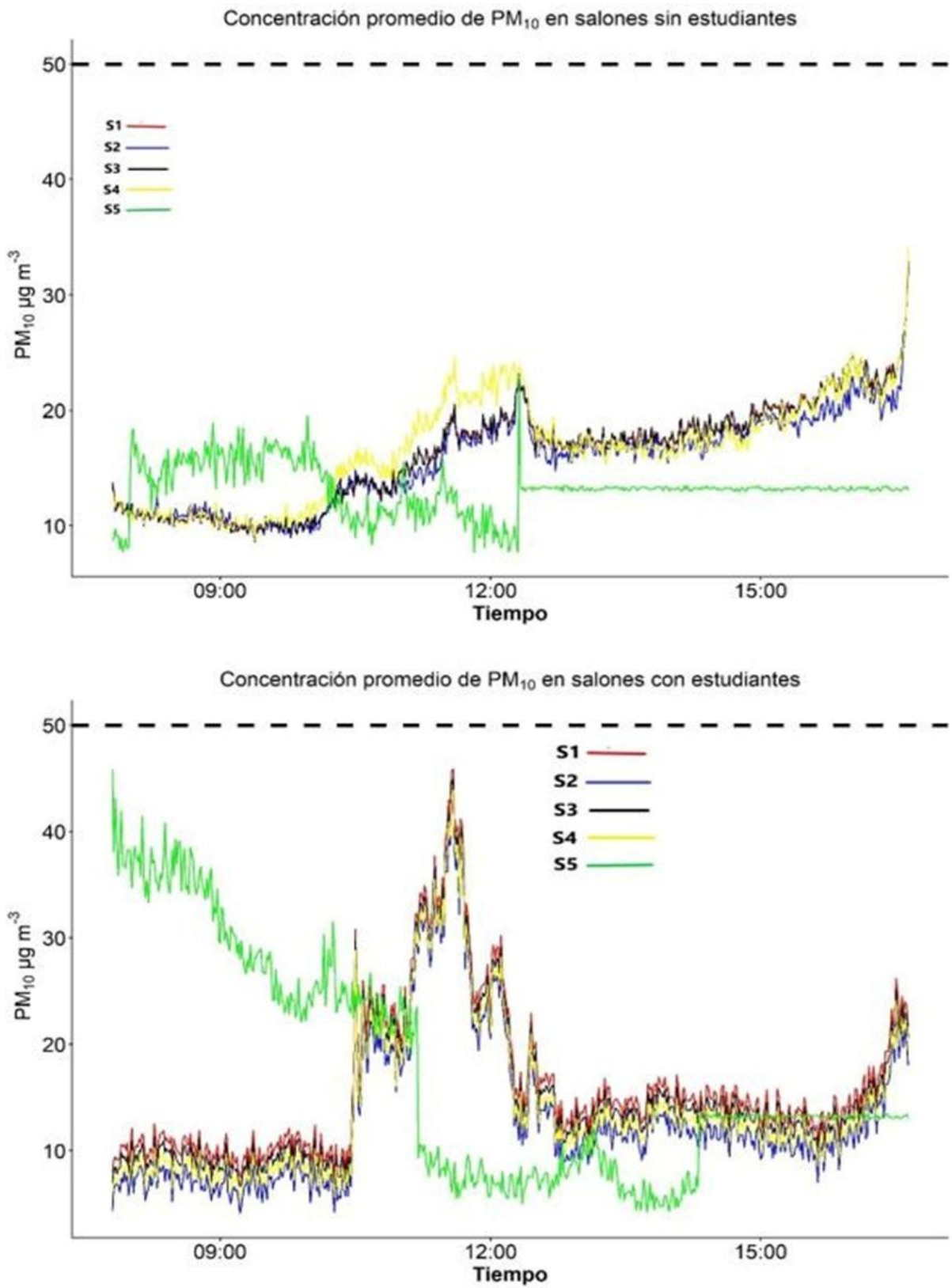
Comportamiento de $PM_{2.5}$ en salones con alumnos y sin alumnos



En la Figura 4 se puede observar el comportamiento del PM_{10} medidos en salones sin alumnos (SA) y en salones con alumnos (CA). De la Figura 4, se puede notar que hay un leve incremento de PM_{10} (alrededor de $10 \mu g/m^3$) en la mayoría de los salones (excepto salón 05) cuando no se tenía estudiantes asistiendo a clases. Este leve incremento podría atribuirse a que durante el día se generan mayor número de partículas del exterior y podrían ingresar a los salones y hacer que su concentración se incremente en el mínimo. En el caso de los salones con alumnos se observa un comportamiento anómalo del salón 05 en comparación a los demás salones (salones 01 al 04) que presentan un similar comportamiento. El comportamiento similar de los 04 salones estaría relacionado a que todos tienen similares características en tamaño, número de puertas, ventanas y sistema de ventilación. Por ejemplo, los cuatro primeros salones inician un incremento de concentración alrededor de las 11:00 a.m., y llegan a un pico aproximadamente a medio día (12:00 m) para después descender y volver a incrementarse en horas de la tarde (aproximadamente 16:00 p.m.). Este incremento de pico podría estar relacionado al mayor flujo de personas y vehículos en la calle marginal, porque al lado de la universidad está instalada un colegio con un grande número de alumnos y cuyos padres o familiares vienen a recogerlos, y que ello, muy probable estaría aportando con este material particulado, ya que dentro de las aulas no se tiene ninguna actividad antrópica.

Figura 4

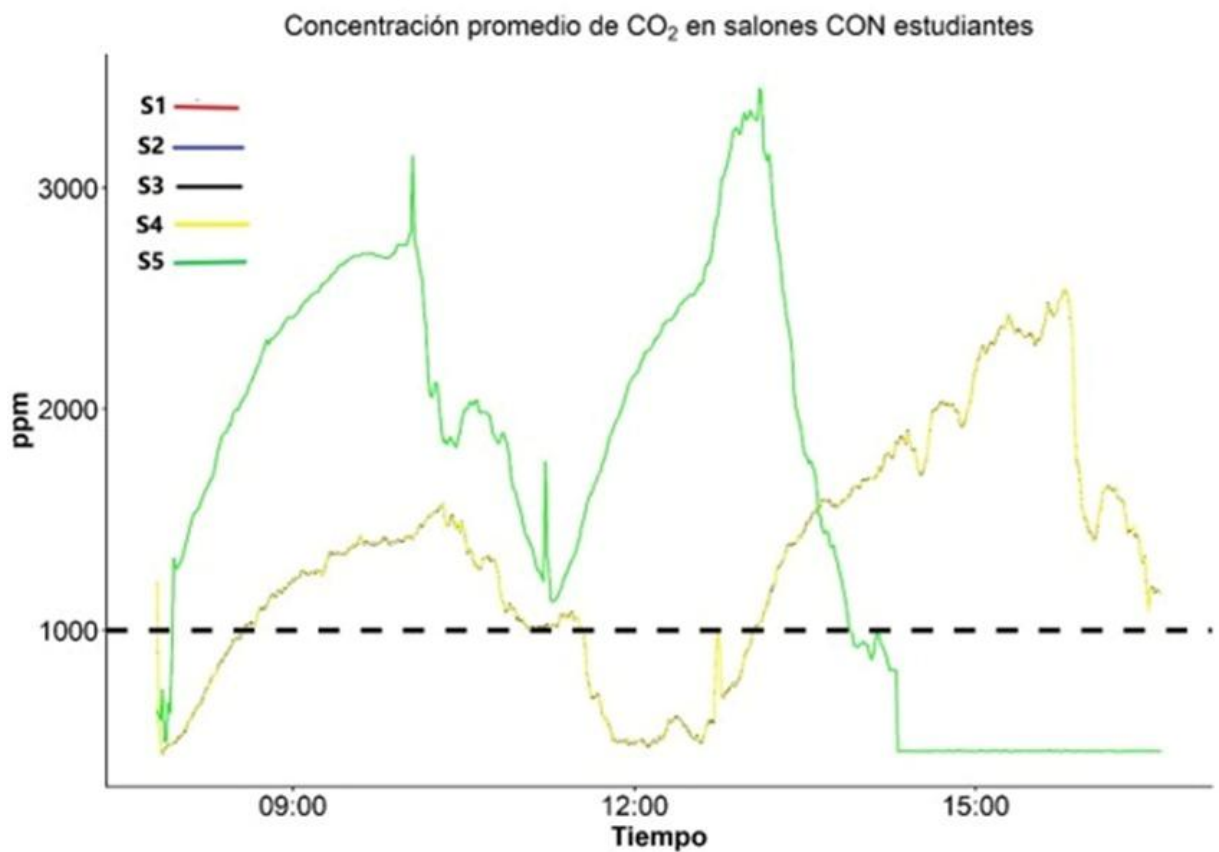
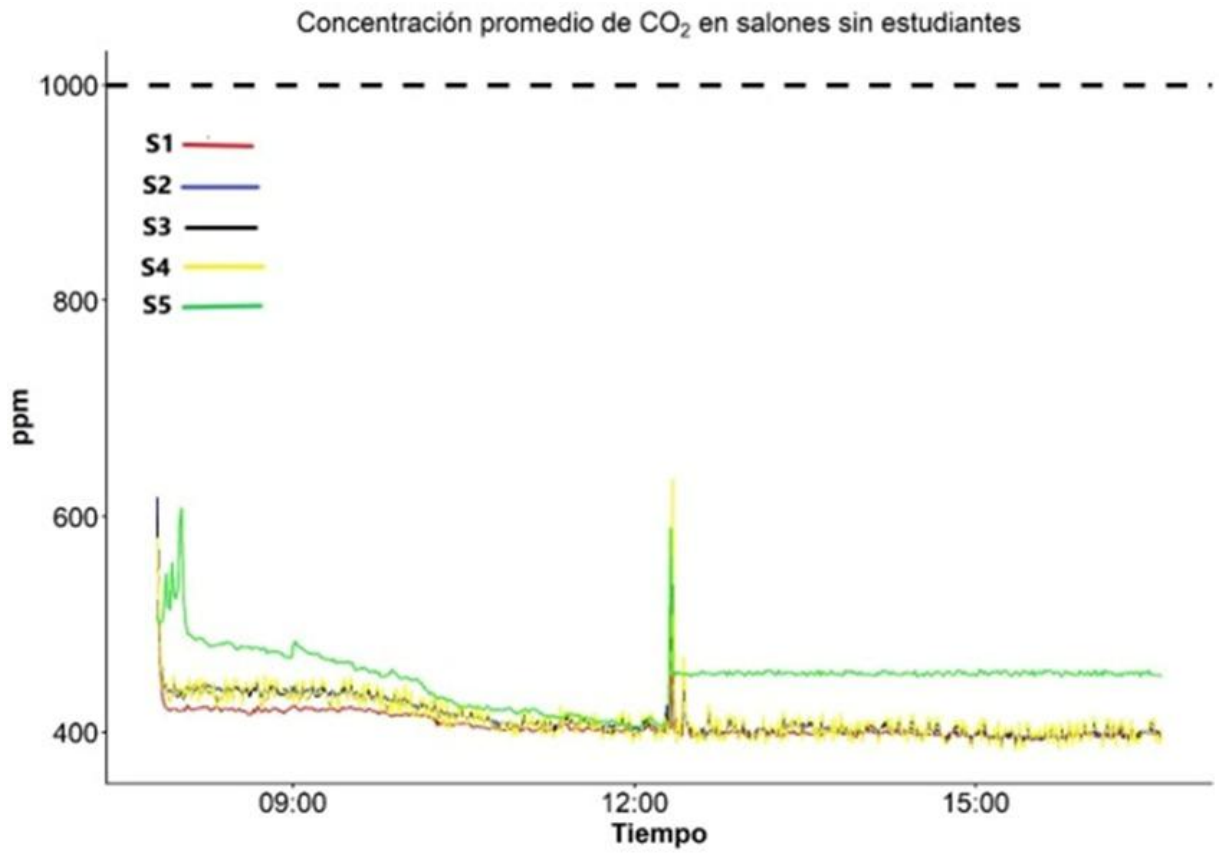
Comportamiento de PM_{10} en salones con alumnos y sin alumnos



En la Figura 5 se puede observar el comportamiento del CO₂ (ppm) medidos en salones sin alumnos (SA) y en salones con alumnos (CA) durante el periodo de 7:30 a.m. a 16:38 p.m. De la Figura 5, para todos los salones en que se monitorearon CO₂, todos mostraron un similar comportamiento con pico que se mostró entre las 12:00 m a 13:00 p.m., en los salones sin alumnos. En este caso en particular se nota que las concentraciones no superaron las normas establecidas de una exposición segura (> 1000 ppm), y que las concentraciones mediadas no presentaron diferencias significativas entre los salones ($p > 0.05$). En el caso de los salones con alumnos es posible evidenciar subidas de picos similares para cuatro salones, cuyos picos máximos alcanzados fueron entre las 10:00 a.m. y las 14:00 p.m. Algo similar, pero con mayores concentraciones se pudo observar en el salón 05, que también presentó más altas concentraciones de CO₂. Todos los salones sobrepasaron en gran parte del tiempo monitoreado (aproximadamente 9 horas) la concentración de exposición permitida de CO₂ en ambientes interiores, sugiriendo que los estudiantes podrían tener problemas de la salud si siguen en estas exposiciones a CO₂ altos. Similar resultado fue encontrado por Fantozzi et al., (2022), quienes monitorearon por una hora la concentración de CO₂ en cuatro salones de diferentes volumen y personas de la Universidad de Pisa y encontraron valores por encima de 1000 ppm, y valor máximo de aproximadamente 4400 ppm. Por ejemplo, los estudiantes podrían presentar mareos, falta de atención y concentración a los temas dictados, dolores de cabeza, fatiga etc, pero en concentraciones altas inclusive podría generar la muerte (Bushby, 2024). Por lo tanto, estas altas concentraciones que se encontraron en los 05 salones monitoreado de CO₂, sugiere una pobre ventilación de estos.

Figura 5

Comportamiento de CO₂ en salones con alumnos y sin alumnos

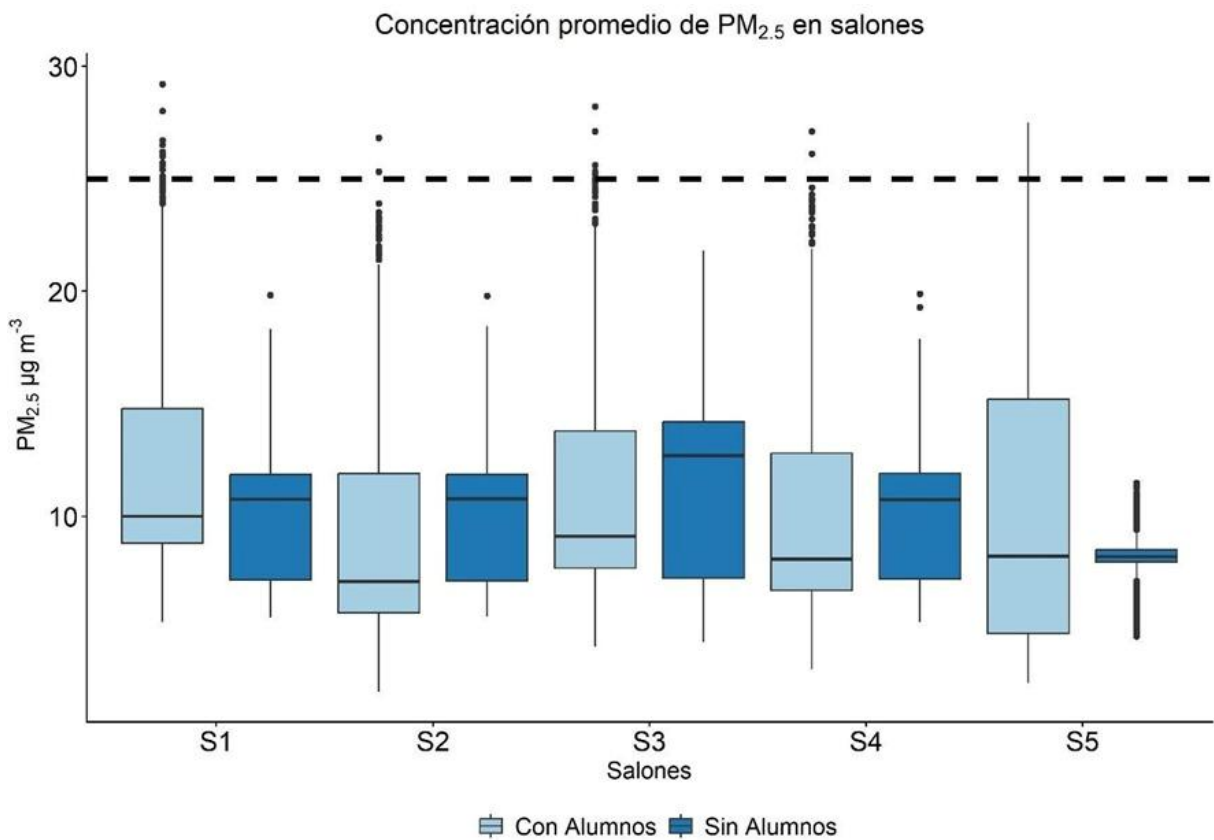


4.2. Comparación De PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂ Por Salones Sin Alumnos Y Salones Con Alumnos.

En la Figura 6 se presenta la comparación de PM_{2.5} monitoreado en los 05 salones con alumnos (CA) y sin alumnos (SA). De esta Figura es posible observar que entre los salones aparentemente no existen diferencias significativas, sin embargo, es observado que en todos los salones que se midieron PM_{2.5} hubo un incremento en la concentración de este material particulado, siendo que algunos valores sobrepasaron la normativa de PM_{2.5} en ambientes de interiores (25 µg/m³ en este caso salones de clases).

Figura 6

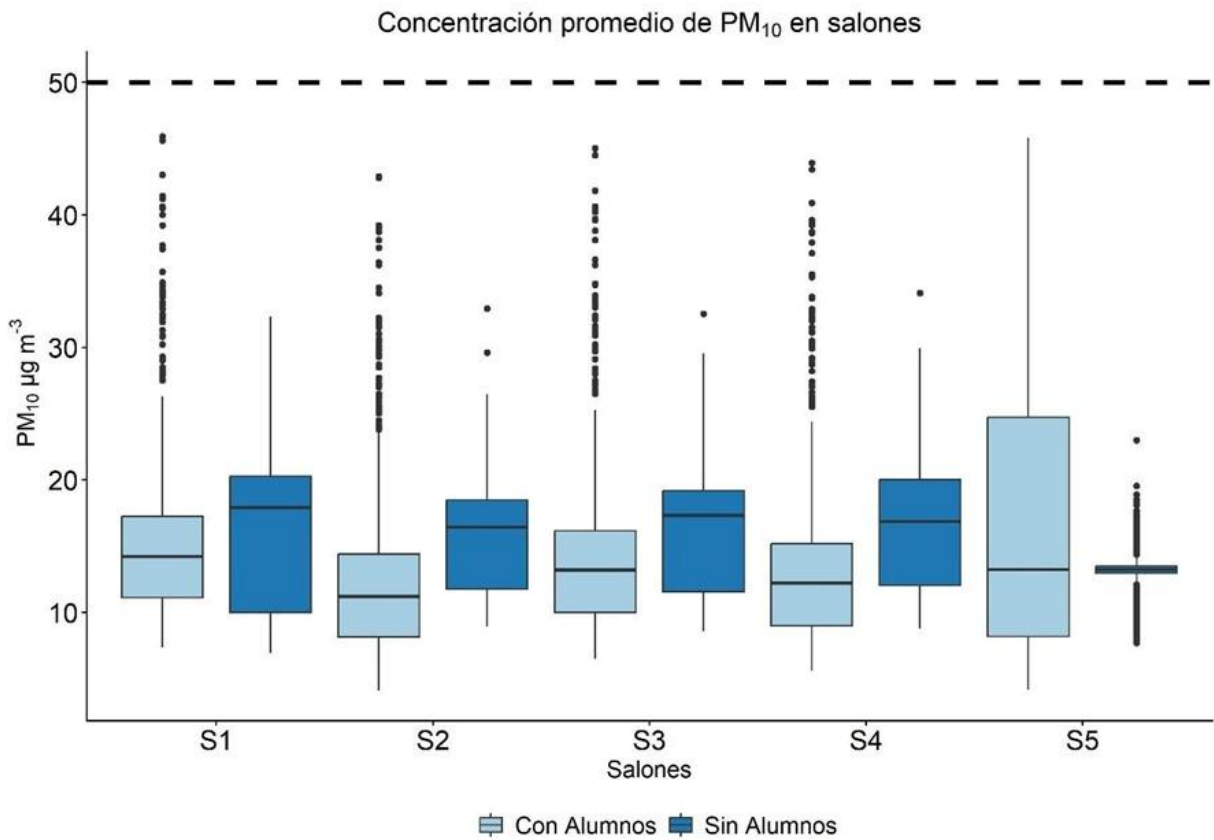
Boxplot de PM_{2.5} en salones con alumnos y salones sin alumnos



En la Figura 7 se presenta la comparación de PM₁₀ monitoreado en los 05 salones con alumnos (CA) y sin alumnos (SA). De esta Figura se observa que todos los salones donde hubo presencia de estudiantes dentro de las aulas hubo incremento de la concentración de PM₁₀. Sin embargo, este incremento no superó el valor recomendado para ambientes interiores (50 µg/m³ en este caso salones de clases).

Figura 7

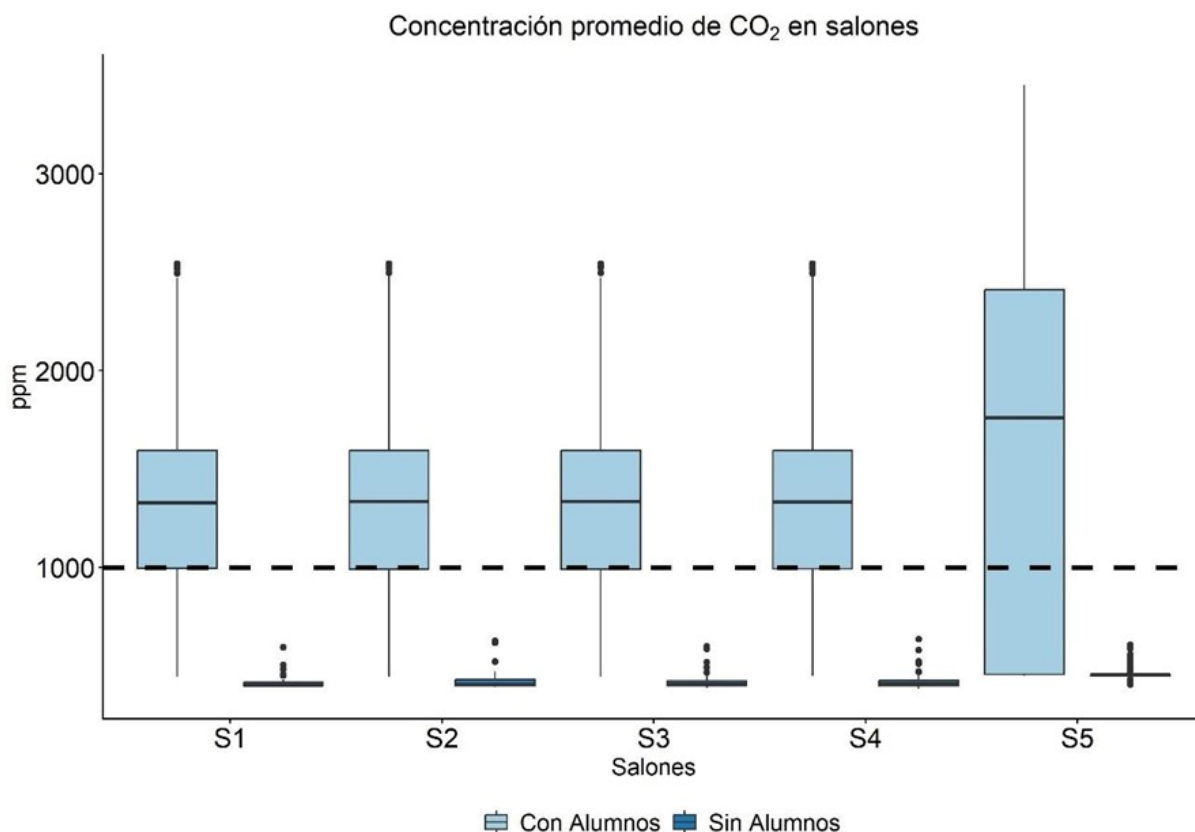
Boxplot de PM_{10} en salones con alumnos y salones sin alumnos



En la Figura 8, es presentado la comparación de CO_2 monitoreado en los 05 salones con alumnos (CA) y sin alumnos (SA). De esta Figura se observa que todos los salones donde hubo presencia de estudiantes dentro de las aulas, lograron sobrepasar el umbral permitido para CO_2 (1000 ppm). Este resultado indica que una alta concentración de estudiantes y la mala ventilación en los salones son factores que podrían hacer que estos alumnos estén expuestos y se vean afectados en su rendimiento y salud a largo plazo.

Figura 8

Boxplot de CO₂ en salones con alumnos y salones sin alumnos



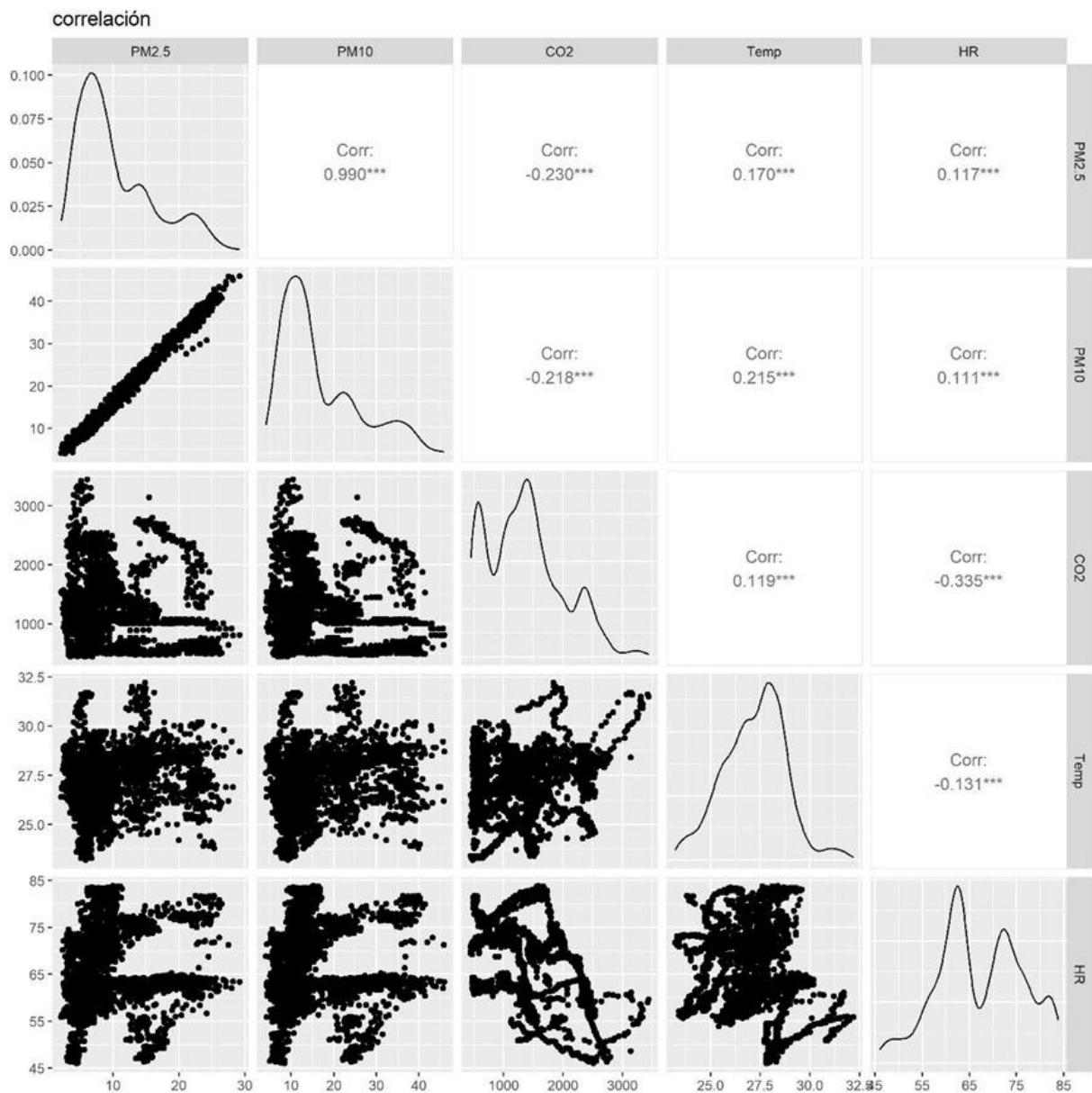
4.3. Correlación Del PM_{2.5}, PM₁₀, Y CO₂ Con Los Parámetros Meteorológicos

En la Figura 9 se presenta el análisis de correlación entre el PM_{2.5}, PM₁₀, CO₂ y los parámetros meteorológicos (temperatura y humedad relativa). Esta Figura, muestra que existe una correlación fuerte positiva entre el PM_{2.5} y PM₁₀, algo que se reporta también en diferentes investigaciones previas (Asif and Zeeshan, 2020; Mahyuddin and Essah, 2024). En la Figura se observa también correlaciones positivas entre el PM_{2.5} ($r = 0.117$) y PM₁₀ ($r = 0.111$) en relación a la humedad relativa. Esto es comprensible, porque dentro de las aulas no se tiene demasiada humedad y las partículas se encuentran más tiempo suspendidas en el aire de los salones. En contraste, ambos PM_{2.5} ($r = -0.230$) y PM₁₀ ($r = 0.218$) presentaron una correlación negativa en relación del CO₂. Este comportamiento podría explicarse porque la ventilación actúa en sentidos opuestos, es decir que el CO₂ se acumula cuando hay poca ventilación y usualmente el MP tiende a ingresar desde afuera y se incrementa, en pocas palabras a poca ventilación hay CO₂ a altas concentraciones y MP bajo. En ambientes cerrados, el CO₂ es usado como un indicador de ventilación y ocupación, mientras el MP actúa como un indicador del aire externo o algunos eventos específicos (Vorobioff et al., 2023). El CO₂ por su parte mostró una correlación positiva con la temperatura ($r = 0.119$) y una correlación negativa ($r = -0.335$) con la humedad relativa. Mahyuddin and Essah, (2024) reportó una correlación positiva del CO₂ y

la temperatura cuando midió este parámetro dentro de salones de una universidad, es decir cuando se incrementaba la temperatura había mayor concentración de CO₂ y viceversa, indicando que ambos se incrementan por las mismas causas. Este comportamiento podría explicarse que en ambientes cerrados existe la presencia de personas que exhalan el CO₂ y liberan el calor metabólico, que no se tenga ventilación suficiente (no hay renovación del CO₂ y el calor no se disipa) y haya equipos (computadoras, iluminación que generan calor) y actividades internas (Crosby and Rysanek, 2022).

Figura 9

Correlación de Spearman del material particulados, CO₂ y los parámetros meteorológicos.



CONCLUSIONES

Fue posible monitorear las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO_2 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) en diferentes espacios de una universidad pública, mediante mediciones continuas realizadas en cinco salones de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. El uso del equipo Temtop M2000C permitió obtener registros confiables en distintos horarios y condiciones de ocupación, evidenciando cambios en las concentraciones de los contaminantes evaluados.

El análisis de estas variaciones permitió identificar que las concentraciones de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ no presentaron diferencias significativas entre los salones evaluados, manteniéndose en su mayoría dentro de los límites recomendados para ambientes interiores. Sin embargo, se registraron incrementos puntuales asociados al horario, la ventilación y la influencia de fuentes externas.

En cuanto al CO_2 , los niveles sí superaron los límites diarios permisibles para ambientes interiores (1000 ppm) en los salones con presencia de estudiantes. Estas superaciones estuvieron directamente relacionadas con la alta ocupación y la deficiente ventilación de los ambientes, lo que evidencia un riesgo potencial para la salud y el rendimiento académico de los ocupantes.

RECOMENDACIONES

Se sugiere a la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa implementar un sistema permanente de monitoreo de la calidad del aire interior, priorizando la medición continua de CO₂, PM10 y PM2.5 en los salones de clase, especialmente en aquellos con mayor afluencia estudiantil. Esto permitirá contar con información actualizada para una adecuada gestión preventiva de la calidad del aire.

Asimismo, resulta necesario optimizar las condiciones de ventilación natural y mecánica en los ambientes universitarios, promoviendo la apertura controlada de puertas y ventanas durante los horarios de clases, así como evaluar la mejora o incorporación de sistemas de ventilación mecánica. Estas acciones contribuirán a reducir los incrementos temporales de CO₂, PM10 y PM2.5 asociados a la influencia del ambiente exterior.

De igual manera, es importante establecer protocolos institucionales de ventilación obligatoria en aulas con alta ocupación, tales como pausas de ventilación entre clases, reducción del aforo en salones cerrados y uso eficiente de sistemas de aire acondicionado con renovación de aire. El objetivo es mantener las concentraciones de CO₂ por debajo del límite máximo permisible y proteger la salud y el rendimiento académico de estudiantes y docentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andamon, M. M., Rajagopalan, P., & Woo, J. (2023). Evaluation of ventilation in Australian school classrooms using long-term indoor CO₂ concentration measurements. *Building and Environment*, 237, 110313. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110313>
- Arroyo, M., & Ramírez, A. (2020). Dióxido de carbono, sus dos caras. *Anales de Química de la RSEQ*, 116(2), Article 2.
- Asif, A., Zeeshan, M., 2020. Indoor temperature, relative humidity and CO₂ monitoring and air exchange rates simulation utilizing system dynamics tools for naturally ventilated classrooms. *Build. Environ.* 180, 106980. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106980>
- Azuma, K., Kagi, N., Yanagi, U., & Osawa, H. (2018). Effects of low-level inhalation exposure to carbon dioxide in indoor environments: A short review on human health and psychomotor performance. *Environment International*, 121, 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.059>
- Becerra, J. A., Lizana, J., Gil, M., Barrios-Padura, A., Blondeau, P., & Chacartegui, R. (2020). Identification of potential indoor air pollutants in schools. *Journal of Cleaner Production*, 242, 118420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118420>
- Bekierski, D., Kostyrko, K.B., 2021. The Influence of Outdoor Particulate Matter PM 2.5 on Indoor Air Quality: The Implementation of a New Assessment Method. *Energies* 14, 1–30. <https://doi.org/10.3390/en14196230>
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I. L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., & Tarlo, S. M. (2008). The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.045>
- Bisorca, D., Ionel, I., Adjal, A., 2025. Real-Time Insights into Indoor Air Quality in University Environments: PM and CO₂ Monitoring. *Atmosphere (Basel)*. 1, 1–14. <https://doi.org/10.3390/atmos16080972>
- Bushby, L., 2024. Air quality monitor helps protect public from CO₂ dangers [WWW Document]. Imperial. URL <https://www.imperial.ac.uk/news/258513/air-quality-monitor-helps-protect-public/> (accessed 12.29.25).
- Chipana, M., & Matos, N. (2020). Evaluación de las concentraciones de CO₂ en interiores y su influencia en la salud de los estudiantes de la Universidad Peruana Unión. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3196>
- Collison, A.K., Byrne, M.A., McGrath, J.A., 2025. Indoor air quality in naturally ventilated classrooms and offices in Ireland. *Build. Environ.* 279, 113023.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113023>

- Cornelio, S. J. A. (2023). Evaluación de CO₂ en los ambientes de estudio del nivel primario del Colegio Editum Huancayo, enfocado a la prevención y control de riesgo de exposición a SARS COV 2 en la actualidad 2023. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13781>
- Crosby, S., Rysanek, A., 2022. Predicting thermal satisfaction as a function of indoor CO₂ levels: Bayesian modelling of new field data. *Build. Environ.* 209, 108569. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108569>
- Daniel Contreras Zuloaga. (2023). Ahogándose en contaminación. Por qué es tan mala la calidad del aire en Lima y cómo puede mejorar. <https://inte.pucp.edu.pe/noticias-y-eventos/noticias/ahogandose-en-contaminacion-por-que-es-tan-mala-la-calidad-del-aire-en-lima-y-como-puede-mejorar/>
- Elbayoumi, M., Ramli, N. A., Md Yusof, N. F. F., Yahaya, A. S. Bin, Al Madhoun, W., & Ul-Saufie, A. Z. (2014). Multivariate methods for indoor PM₁₀ and PM_{2.5} modelling in naturally ventilated schools buildings. *Atmospheric Environment*, 94, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.007>
- EU-OSHA, 2012. Indoor air quality (IAQ) [WWW Document]. Eur. Agency Saf. Heal. Work. URL <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/indoor-air-quality-iaq> (accessed 12.16.25).
- Fantozzi, F., Lamberti, G., Leccese, F., Salvadori, G., Fantozzi, F., Lamberti, G., Leccese, F., Salvadori, G., Fantozzi, F., Lamberti, G., Leccese, F., Salvadori, G., 2022. Monitoring CO₂ concentration to control the infection probability due to airborne transmission in naturally ventilated university classrooms transmission in naturally ventilated university classrooms. *Archit. Sci. Rev.* 8628, 306–318. <https://doi.org/10.1080/00038628.2022.2080637>
- Franco, A., & Leccese, F. (2020). Measurement of CO₂ concentration for occupancy estimation in educational buildings with energy efficiency purposes. *Journal of Building Engineering*, 32, 101714. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101714>
- Guijarro, P., Estay, T., Patrón, L., & Tendero, R. (2021). The CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy The CO₂ assessment in a school classroom for an optimal natural ventilation strategy. https://polired.upm.es/index.php/building_management/article/view/4712
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, R., & Arias, J. (2023). Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis. En Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi

- Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.073>
- INSST. (2024). NTP 549: El dióxido de carbono en la evaluación de la calidad del aire interior. Portal INSST - INSST. Portal INSST. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/16-serie-ntp-numeros-541-a-575-ano-2001/ntp-549-el-dioxido-de-carbono-en-la-evaluacion-de-la-calidad-del-aire-interior>.
- IQAir. (2024, noviembre 21). Índice de calidad del aire (ICA) e Información sobre la contaminación del aire en Perú. <https://www.iqair.com/es/peru>
- López, K. D. A. (2022). Evaluación de la ventilación en aulas y otros espacios físicos de la Universidad Politécnica Salesiana «Campus Sur» utilizando como referencia la concentración interior de CO₂ [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22444>
- Mahyuddin, N., Essah, E.A., 2024. Spatial distribution of CO₂ Impact on the indoor air quality of classrooms within a University. *J. Build. Eng.* 89, 109246. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109246>
- Mannan, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2021). Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 3276. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063276>
- Martínez, R. (2020). El secreto detrás de una tesis: Cómo logré convertir mi experiencia al hacer una tesis en la solución que todo profesional necesita. Biblioteca Nacional del Perú.
- Mercado, M., Barea, G., Esteves, A., & Filippín, C. (2018). Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. Análisis y estudio mediante energy plus. *Hábitat Sustentable*, 54-67. <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.05>
- MINAM. (2023). Calidad de aire [Gubernamental]. Calidad de aire. <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=calidad-de-aire-aprendiendo>
- MITECO. (2022). Datos oficiales Calidad del Aire 2022. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/evaluacion-datos/datos/datos-oficiales-2022.html>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., & Altman, D. G. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2010.02.007>
- OMS. (2024, octubre 24). Calidad del aire ambiente (exterior) y salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact->

sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality- and-health

- Oscar Tarrillo Saldaña, Jhonner Mejía Huamán, José Stalin Dávila Mego, & William Martín Chilón Camacho. (2024, julio 16). Metodología de la investigación una mirada Global Ejemplos prácticos. ResearchGate. https://doi.org/10.37811/cli_w1078
- Othman, M., Talib, M., Matsumi, Y., 2019. The exposure of children to PM2.5 and dust in indoor and outdoor school classrooms in Kuala Lumpur City Centre. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 170, 739–749. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.042>
- Özgür Küçük Hüseyin, 2021. CO₂ monitoring and indoor air quality [WWW Document]. Fed. Eur. Heating, Vent. Air Cond. Assoc. URL <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/co2-monitoring-and-indoor-air-quality> (accessed 12.11.25).
- Persily, A., & de Jonge, L. (2017). Carbon dioxide generation rates for building occupants. *Indoor Air*, 27(5), 868–879. <https://doi.org/10.1111/ina.12383>
- Phiri, Z., Moja, N. T., Nkambule, T. T. I., & de Kock, L. A. (2024). Utilization of biochar for remediation of heavy metals in aqueous environments: A review and bibliometric analysis. *Heliyon*, 10(4), e25785. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25785>
- 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). *Heal. Promot. Perspect.* 10, 169–174. <https://doi.org/10.34172/hpp.2020.29>
- Querol, X. (2018). La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial. <https://www.miteco.gob.es/en/ceneam/recursos/pag-web/calidad-aire-ciudades- reto.html>
- Regueiro, N. (2022). Calidad del aire interior en viviendas: Determinación de las necesidades de ventilación por concentración de CO₂. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/54449>
- Repace, J. L. (1982). Indoor air pollution. *Environment International*, 8(1–6), 21–36. [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(82\)90007-1](https://doi.org/10.1016/0160-4120(82)90007-1)
- Retis, M., & Gutierrez, F. (2022). Evaluación del dióxido de carbono de la calidad de aire y su relación con la ventilación, temperatura y humedad en interiores para prevenir contagio del COVID 19. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_3a535491a76403aec13d48bd42dd0798
- Ryan, N., 2023. Interpreting WHO Air Quality Guidelines for PM2.5 & Comparing IAQ Targets by different Building Standards [WWW Document]. Reset Air. URL <https://reset.build/newsroom/371> (accessed 12.11.25).

- Sahu, V., & Gurjar, B. R. (2020). Spatial and seasonal variation of air quality in different microenvironments of a technical university in India. *Building and Environment*, 185, 107310. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107310>
- Sánchez-Soberón, F., Rovira, J., Sierra, J., Mari, M., Domingo, J. L., & Schuhmacher, M. (2019). Seasonal characterization and dosimetry-assisted risk assessment of indoor particulate matter (PM_{10-2.5}, PM_{2.5-0.25}, and PM_{0.25}) collected in different schools. *Environmental Research*, 175, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.035>
- Sandoval, M., Solano, N., Gualdron, L., & Meneses, J. (2020). Valoración de los niveles de calidad del aire de interiores en espacios de institución de educación superior | Revista Agunkuyâa. <https://doi.org/10.33132/27114260.1795>
- Smith, K. R. (2002). Indoor air pollution in developing countries: recommendations for research *Indoor Air*, 12(3), 198–207. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01137.x>
- Tran, V. Van, Park, D., & Lee, Y.-C. (2020). Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2927. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082927>
- Vorobioff, J., Checozzi, F.R., Rinaldi, C.A., 2023. Monitor de CO₂ para medida de la ventilación en ambientes cerrados, prevención del COVID-19 y mejora del rendimiento laboral. *Tecnura* 27, 142–156. <https://doi.org/10.14483/22487638.19522>
- WHO. (2018). 9 Out of 10 People Worldwide Breathe Polluted Air but More Countries Are F. Sánchez-Soberón, et al. *Environmental Research* 175 (2019) 287–296 295 Taking Action. <http://www.who.int/news-room/%0Adetail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-morecountries-are-taking-action>
- Yue, W., Li, X., Liu, J., Li, Y., Yu, X., Deng, B., Wan, T., Zhang, G., Huang, Y., He, W., Hua, W., Shao, L., Li, W., & Yang, S. (2006). Characterization of PM_{2.5} in the ambient air of Shanghai city by analyzing individual particles. *Science of The Total Environment*, 368(2–3), 916–925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.03.043>
- Zhang, X., Wargocki, P., Lian, Z., & Thyregod, C. (2017). Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance. *Indoor Air*, 27(1), 47–64. <https://doi.org/10.1111/ina.12284>

Anexo 01 Matriz de consistencia

VARIACIONES ESPACIO-TEMPORALES DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR (CO₂, PM₁₀ Y PM_{2.5}) EN UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE LA SELVA CENTRAL 2025

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	a) Variable	a) Tipo, Nivel y Diseño de Investigación
¿Existen variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en una universidad pública de la selva central?	Determinar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en una universidad pública de la Selva Central, 2025.	Determinar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en una universidad pública de la Selva Central, 2025.	Dependiente: Concentración de (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) Independiente: El espacio, lugar, tiempo	<p>Tipo: Básico Nivel: Descriptivo Diseño: No Experimental</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos			b) Población
¿Será posible monitorear las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública?	Monitorear las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública.			5 salones de Ingeniería ambiental de la UNISCJSA (población total)
¿Se podrá analizar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública?	Analizar las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) en diferentes espacios de una universidad pública.			Muestra
¿Como determinar si las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) superan los límites diarios?	Determinar si las variaciones espacio-temporales de la calidad del aire interior del (CO ₂ , PM ₁₀ y PM _{2.5}) superan los límites diarios.			c) Técnicas
			Registro de datos	
			Instrumentos de recolección de datos	
			Temtop M2000C	
			d) Análisis de datos	
			Los datos serán procesados en Excel, para su posterior comparación, los cuales serán analizados mediante el Software Benci.	

Anexo 02 Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Independiente: concentración de CO₂	La cantidad de CO ₂ presente en espacios cerrados como las aulas	Niveles de CO ₂	Concentración de CO ₂ (ppm)	Ppm (partes por millón)
		Condición ambiental	Temperatura del espacio (°C)	Grados Celsius (°C)
Dependiente: Calidad del aire interior	Estado de la pureza o contaminación del aire	Ventilación	Ventilación natural o mecánica (sí/no)	Cuantitativo
		Bienestar físico de los ocupantes	Síntomas de fatiga, somnolencia, mareos.	Encuestas (%)
	En un espacio cerrado, basado en parámetros establecidos por las normativas	Cumplimiento normativo	Valores de CO ₂ según NTP 549 (≤ 1000 ppm)	ppm





Latitud: -10.927174
Longitud: -74.870939
Elevación: 509.83±652.51 m
Precisión: 1022.02 m
Tiempo: 01-07-2025 11:47:28

NoteCam @ iOS