

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

## **Factores de riesgo del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores asociados a la ventilación**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Yosselin Suarez Tineo

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

**Lima, Junio del 2022**

# DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: “**Factores de riesgo del dióxido de carbono (CO2) en ambientes interiores asociados a la ventilación**” constituye la memoria que presenta el (la) Bachiller Yosselin Suarez Tineo para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 16 días del mes de junio del año 2022



---

Jackson Edgardo Perez Carpio

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **07 días** día(s) del mes de **junio** del año 2022 siendo **las 11:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez**, el secretario: **Ing. Cesar Asbel Aranda Castillo**, y los demás miembros: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga y el Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, y el asesor **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Factores de riesgo del dióxido de carbono (CO2) en ambientes interiores asociados a la ventilación"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **YOSSELIN SUAREZ TINEO**

.....b)

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a)..... **YOSSELIN SUAREZ TINEO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	Muy Bueno	Sobresaliente

Candidato (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Iliana Del  
Carmen Gutiérrez  
Rodríguez



\_\_\_\_\_  
Asesor  
Mg. Jackson  
Edgardo Pérez  
Carpio



\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Cesar Asbel  
Aranda Castillo



\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Joel Hugo  
Fernández Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Milda Amparo  
Cruz Huaranga



\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Yosselin Suarez  
Tineo

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

# **Factores de riesgo del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores asociados a la ventilación**

Risk factors for carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in indoor environments associated with ventilation

Fatores de risco para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em ambientes internos associados à ventilação

Yosselin Suarez Tineo<sup>1</sup>, Jackson Edgardo Perez Carpio<sup>2</sup>

## **Resumen**

La medición de CO<sub>2</sub> y ventilación en un ambiente de trabajo es una de las formas de bioseguridad más eficaz para la prevención de la propagación (contagio) del COVID-19 entre trabajadores, puesto que la mayoría de las personas tienden a pasar entre el 80 y 90 % de su tiempo en espacios cerrados. El artículo tiene como objetivo determinar la calidad de aire por la exposición al factor de riesgo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores asociado a la ventilación en tiempos de COVID-19. Las mediciones de concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) y ventilación (l/p/s) se desarrollaron en interiores de 16 oficinas de la Municipalidad Distrital de Santa Rosa, para ello se empleó un sensor de gases de marca ST-502 Infrarrojo no dispersivo (IRND) de lectura directa, asimismo se realizó un análisis observacional de las condiciones de trabajo de cada oficina. Concluyéndose que existe una asociación inversa muy alta entre los parámetros de CO<sub>2</sub> y ventilación, lo que explica que la propagación de contagio de COVID-19 es más rápida en un ambiente cerrado con concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores a los 1000 ppm.

**Palabras Claves:** Ambiente de trabajo; COVID-19; Dióxido de carbono; ventilación

## **Abstract**

The measurement of CO<sub>2</sub> and ventilation in a work environment is one of the most effective forms of biosecurity for the prevention of the spread (contagion) of COVID-19 among workers, since most people tend to spend between 80 and 90% of their time indoors. The article aims to determine the air quality due to exposure to the risk factor carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in indoor environments associated with ventilation in times of COVID-19. The measurements of CO<sub>2</sub> concentration (ppm) and ventilation (l/p/s) were carried out inside 16 offices of the District Municipality of Santa Rosa, for which an ST-502 Infra-red gas sensor was used. non-dispersive (IRND) of direct reading, likewise an observational analysis of the working conditions of each office was carried out. Concluding that there is a very high inverse association between the parameters of CO<sub>2</sub> and ventilation, which explains that the spread of COVID-19 contagion is faster in

a closed environment with CO<sub>2</sub> concentrations greater than 1000 ppm.

**Keywords:** Indoor work environment; COVID-19; Carbon dioxide; ventilation

## **Resumo**

A medição de CO<sub>2</sub> e ventilação em um ambiente de trabalho é uma das duas medidas de biossegurança mais eficazes para evitar a propagação do COVID-19 entre os trabalhadores, já que a maioria das pessoas tende a passar entre 80 e 90% do tempo em ambientes fechados. Os objetivos do artigo são determinar a qualidade da exposição ao fator de risco dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em ambientes internos associados à ventilação em tempos de COVID-19. As medições de concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) e ventilação (l/P/S) foram realizadas em 16 escritórios da Prefeitura do Distrito de Santa Rosa, para os quais foi utilizado o equipamento sensor de gases ST-502 Infra-vermelho. Dispersiva (IRND) de leitura direta, da mesma forma foi realizada uma análise observacional das condições de trabalho de cada mesa. Concluindo que existe uma relação inversa muito alta entre os parâmetros de CO<sub>2</sub> e ventilação, o que explica que a propagação do contágio COVID-19 é mais rápida em um ambiente datado com concentrações de CO<sub>2</sub> superiores a 1000 ppm.

**Palavras-chave:** Ambiente de trabalho; COVID-19; Dióxido de carbono; ventilação

Yosselin Suarez Tineo. Peruana, [yosselinsuarez@upeu.edu.pe](mailto:yosselinsuarez@upeu.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0001-7679->, Bachiller en Ingeniería Ambiental, EP Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima Perú.

Jackson Edgardo Perez Carpio, peruano, [jacksonperez@upeu.edu.pe](mailto:jacksonperez@upeu.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0002-6246-0155>, Magister en educación y docencia universitaria, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

## INTRODUCCIÓN

Una de las amenazas que viene aquejando a todo el mundo es la contaminación del aire (ONU 2021). No solo produce cambios climáticos fuertes, sino que también tiene una peculiar repercusión en la salud de millones de personas (Adonis and Hormazábal 2015). Debido a la exposición de contaminantes de aire en exteriores e interiores (Messina et al. 2006).

El nivel de concentración de contaminantes del aire que se encuentra dentro de ambientes interiores de trabajo tiende a ser más elevada a la concentración que se encuentra en exteriores (Chipana and Matos 2020). Los niveles de contaminación de aire en interiores son considerados más notables (Simanic et al. 2019), ya que la mayoría de las personas tienden a pasar entre el 80 y 90 % de su tiempo en espacios cerrados (lugar de trabajo, escuela, etc) (Svetslavov 2015).

Dentro de los ambientes de trabajo siempre se manifiestan factores direccionados a riesgos físicos, químicos, biológicos y ergonómicos (OMS 2010). Esto se debe principalmente a la afectación de calidad de aire que respiramos día a día (Paz Montero 2021). Los contaminantes que alteran la calidad de aire y que se relaciona entre los ocupantes de un área de trabajo suelen ser químicos los cuales pueden encontrarse en forma de gases o vapores (Quispe 2020). Dentro de los contaminantes más habituales se encuentra el polvo, los bioaerosoles, (CO<sub>2</sub>), perfume (Boldú and Pascal 2005).

Uno de los principales parámetros que caracteriza la calidad del aire y que es generado en los interiores de un ambiente de trabajo es el CO<sub>2</sub> dióxido de carbono (Paz Montero 2021). Este en ambientes interiores no industriales tiene como principal foco de afectación la respiración humana, ya que es un gas incoloro e inodoro (Berenguer and Bernal 2016).

Las concentraciones de CO<sub>2</sub> superiores a 1000 ppm en un ambiente, produce contaminación, lo que conlleva a la afectación sobre la salud de los trabajadores (Quispe 2020). Las enfermedades más típicas que se presentan son las respiratorias, reducción de la capacidad pulmonar, mareos, irritación y dolor de cabeza (Chipana and Matos 2020). Asimismo, también se ha confirmado que niveles altos de CO<sub>2</sub> causa somnolencia y llega a alterar la cognición (Allen 2021).

La OIT estima que cada año debido a enfermedades y accidente de trabajo muere 2,02 millones de personas, y que una cantidad de 317 millones sufren enfermedades relacionadas con su trabajo (Grave 2020). Por otro lado, el MTPE en el mes de setiembre se reporta un 96, 42% de notificaciones en el SAT, de los cuales los accidentes mortales alcanzan el 31 0.49 %, accidentes peligroso el 2,74% y enfermedades ocupacionales un 0.35% (MTPE 2021).

Los temas de seguridad y salud en los trabajadores es un área amplia de debate (Soares and Astrês 2020). Debido a la situación de emergencia actual que se vive por el coronavirus (COVID-19), los controles sobre la calidad del aire y la ventilación continua en

interiores se ha vuelto más exhaustiva (Paz Montero 2021). Diversos estudios han afirmado que los aerosoles son una vía de contagio del COVID-19, ya que las partículas que se emiten al hablar, estornudar o toser tienden a quedarse por unos minutos suspendidas en el aire y al encontrarse en ambientes de trabajos cerrados y con una deficiente ventilación la propagación del virus de esta enfermedad es aún más probable (Velarde, Mamani, and Flores 2020).

En los ambientes cerrados donde hay presencia e interacción de un grupo de personas se debe fomentar la ventilación (Ruiz et al. 2020). Ya que este parámetro es ampliamente reconocido como una medida para minimizar la transmisión aérea del SARS-CoV-2 y de cualquier otra microgotita que contenga virus en el aire (Monge et al. 2021). Por otra parte, la ventilación en un ambiente interior de trabajo es beneficioso, no obstante, para lograr una ventilación más eficaz y reducir el riesgo de contagio (propagación) rápido de COVID-19, se debe implementar un sistema de filtración y desinfección de partículas, de esa forma evitar la recirculación del aire, de estas medidas debe encargarse el empleador de cada empresa pública o privada (Covaci 2020).

En la Ley N°29783, de seguridad y salud en el trabajo en su artículo 56 indica que el empleador debe cumplir con vigilar que la exposición a los agentes físicos, químicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales concurrentes en un centro de trabajo no generen afectaciones en la salud de los trabajadores, es por ello que en artículo 57 señala que el empleador esta en la obligación de actualizar su evaluación de

riesgos de sus trabajadores cada año (Ley N°29783 2011).

El monitoreo de calidad de aire en interiores actualmente es poco estudiado pero muy relevante, y de mucha importancia, puesto que, la medición de CO<sub>2</sub> en un ambiente de trabajo es una de las medidas de bioseguridad más eficaces para la prevención de la propagación del COVID-19 entre trabajadores. El factor del riesgo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no es ajeno en los trabajadores de la Municipalidad Distrital de Santa Rosa, ya que su jornada laboral es de 8 horas diarias en interiores.

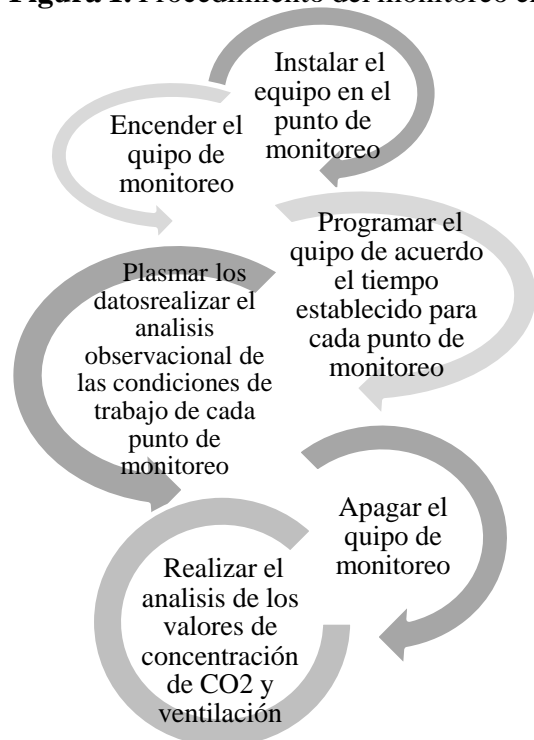
Ante esta perspectiva surge la necesidad de determinar mediante esta investigación que oficinas de la Municipalidad distrital de Santa Rosa se encuentran afectadas por valores elevados de concentraciones de CO<sub>2</sub>, y expuestas al riesgo de contagio (propagación) rápido de COVID-19, con el objeto de proponer alternativas que permitan mejorar la calidad de aire en los ambientes interiores de trabajo. ¿Será que la calidad de aire por la exposición al factor de riesgo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores estará asociado a la ventilación en tiempos del COVID-19?

## **MÉTODO Y MATERIALES**

El diseño de investigación es No-experimental, debido a que se realizó sin la manipulación deliberadamente de las variables, es de tipo correlacional, en vista de que se estudió la asociación que existe entre las variables de concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) y ventilación (l/p/s) durante el tiempo de la pandemia de COVID-19 (Hernández, Fernández, and Baptista 2014). Las mediciones de

concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) y ventilación (l/p/s) se desarrollaron en los interiores de 16 oficinas de la Municipalidad Distrital de Santa Rosa. La actividad de monitoreo en las oficinas se realizó durante un mes de forma consecutiva desde el 5 de enero hasta el 31 de enero del 2021, el periodo de tiempo establecido para el monitoreo por día fue de 8 horas comprendidas desde las 8 am-1 pm y 3 pm-6 pm. Durante la evaluación de los parámetros se consideró datos referidos a las condiciones de trabajo en cada oficina de trabajo tales como: N° de personas presentes durante el monitoreo, N° de ventanas, N° de puertas, N° de ventiladores y su estado, los cuales se resumen en la Tabla 2. Para determinar los valores de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (ppm) y niveles de ventilación (l/p/s) existentes en cada punto de monitoreo se empleó el equipo de sensor de gases ST-502 Infra-rojo no dispersivo (IRND), que tiene un rango de 0 a 9999 ppm y una precisión de  $\pm 5\%$  de lectura directa. Se muestra el procedimiento seguido en el monitoreo de calidad de aire en interiores en la figura 1.

**Figura 1.** Procedimiento del monitoreo en interiores.



Fuente: Adaptado de (Quispe 2020)

En los 16 puntos de monitoreo estudiados las mediciones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (ppm) fueron comparadas con los límites máximos permisibles (LMP) de la norma NTP 549 los cuales son detallados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** LMP permisibles por la norma NTP 549.

Parámetro	Unidad	Promedio de 8 horas		
		B	R	M
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	ppm	<800	<=1000	>1000

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la norma en ambientes interiores los valores de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> no deben superar los 1000 ppm, puesto que este valor es indicador de que el lugar monitoreado se encuentra contaminado, es decir la calidad de aire está afectado por las condiciones de trabajo, por ende, sus ocupantes se encuentran expuestos al riesgo de contagio (propagación) rápido de COVID-19. Las mediciones de CO<sub>2</sub> y ventilación se realizaron en los siguientes ambientes de trabajo:



**Tabla 2.** Características de las oficinas.

Puntos de monitoreo	Nombre de las oficinas	N° de ocupantes del lugar	N° de ventanas	N° de puertas	N° de ventiladores
PMU-01 (ST)	G. Abastecimiento	9	5	1	1-Prendido
PMU-02 (ST)	SG de Catastro	2	3	1	2-Prendido
PMU-03 (ST)	SG Registro Civil	2	2	1	1-Prendido
PMU-04 (ST)	SG Recursos Humanos	2	3	1	0
PMU-05 (ST)	Área mujer	1	1	2	1-Apagado
PMU-06 (ST)	Gerencia Municipal	2	0	2	1-Apagado
PMU-07 (ST)	SG planeamiento y presupuesto	8	2	2	1-Prendido
PMU-08 (ST)	G. Servicios Públicos	4	1	0	1-Apagado
PMU-09 (ST)	SG. Administración Tributaria y Rentas	2	0	2	1-Prendido
PMU-10 (ST)	G. Desarrollo Económico y Productivo	3	3	2	3-prendido
PMU-11 (ST)	Área caja	1	0	1	0
PMU-12 (ST)	Imagen Institucional	1	0	1	1-Apagado
PMU-13 (ST)	SG. Residuos y Transporte	4	1	1	1-Apagado
PMU-14 (ST)	G. Infraestructura	7	4	1	1-Prendido
PMU-15 (ST)	Secretaria General	2	1	2	1-prendido
PMU-16 (ST)	G. Desarrollo Social	5	0	2	1-Apagado

Fuente: Elaboración propia

**Análisis estadístico:** La ejecución del análisis estadístico se realizó con el programa SPS, donde se calculó los valores promedios del mínimo y máximo de concentraciones de Co<sub>2</sub>, también se desarrolló la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, y posterior a ello la prueba no paramétrica Rho de Spearman (correlación).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrolló el monitoreo de calidad de aire en

ambientes interiores de 16 oficinas de la Municipalidad Distrital de Santa Rosa. Se sacó valores promedios de los parámetros de concentración de CO<sub>2</sub> (min), CO<sub>2</sub> (máx.), CO<sub>2</sub> y ventilación en los 16 puntos de monitoreo. Se obtuvieron valores en que oscilan entre 444,10 ppm-1192,05 ppm de CO<sub>2</sub> (min), 482,15 ppm-1354,30 de CO<sub>2</sub> (Max), 462,55 ppm-1274,60 ppm de CO<sub>2</sub> y 0,715 l/p/s-7,620 l/p/s de ventilación, los que se visualizan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores promedios de los parámetros estudiados.

<b>Oficinas de monitoreo de la Municipalidad distrital de Santa Rosa</b>	<b>Co2 (min)</b>	<b>Co2 (MAX)</b>	<b>Dióxido de carbono</b>	<b>Ventilación</b>
	<b>Media</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>	<b>Media</b>
PMU-01 (ST)	654,25	914,75	800,75	1,520
PMU-02 (ST)	464,45	526,85	478,85	6,195
PMU-03 (ST)	444,10	482,15	462,55	7,620
PMU-04 (ST)	508,05	533,30	515,70	4,240
PMU-05 (ST)	469,40	506,35	497,00	5,465
PMU-06 (ST)	504,30	539,30	519,00	3,985
PMU-07 (ST)	669,10	806,25	757,15	1,730
PMU-08 (ST)	1192,05	1354,30	1274,60	0,725
PMU-09 (ST)	577,50	621,55	597,90	2,540
PMU-10 (ST)	476,90	511,60	489,60	6,110
PMU-11 (ST)	524,20	559,15	548,20	3,570
PMU-12 (ST)	531,75	555,60	541,05	3,590
PMU-13 (ST)	947,05	1324,65	1211,55	0,845
PMU-14 (ST)	503,85	531,85	520,60	4,060
PMU-15 (ST)	511,95	591,25	552,95	5,100
PMU-16 (ST)	997,25	1090,35	1028,75	0,715

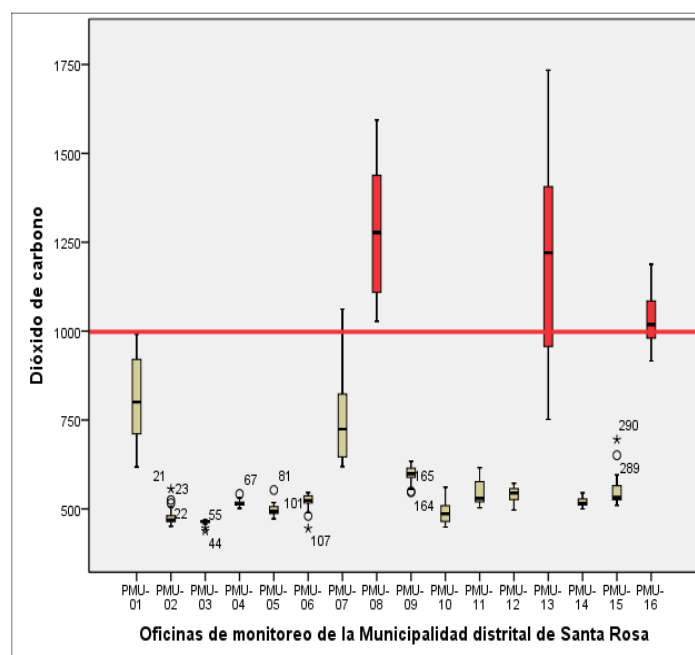
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2, se muestra los resultados del monitoreo ejecutado en 16 ambientes interiores de la Municipalidad Distrital de Santa Rosa. En los puntos de monitoreo PMU-02-PMU-07, PMU-09-PMU-12, PMU-14 y PMU-15 las concentraciones de CO2 alcanzados tienden a no superar los límites máximos permisibles (LMP) recomendados por la Norma NTP 549, el valor considerado como bueno en un ambiente de trabajo interior es de 800 ppm. Mientras que el valor máximo de concentración de CO2 permitido es de 1000 ppm (regular) y la superación de este valor es indicador de contaminación (malo). En el punto PMU-01 la concentración de CO2 supera los 800 ppm indicando que el área de trabajo ya no se encuentra con una calificación de bueno. Por otro lado, se observa que en los puntos de monitoreo PMU-08, PMU-13 y PMU-16, correspondiente a las oficinas de la G. de Servicios Públicos y Gestión Ambiental (1274,60 ppm (CO2)- 1354,30 ppm (CO2 máx.), SG. de Residuos Sólidos-Transporte (1211,55 ppm (CO2) -1324,65 ppm (CO2 máx.) y G. de Desarrollo Social (1028,75 ppm (CO2)- 1090,35 ppm (CO2 máx.), los valores de concentración de CO2 (ppm) exceden los LMP señalando que estas tres oficinas se encuentran en condiciones no óptimas para sus ocupantes por un periodo de 8 horas.

Durante la evaluación observacional realizada en los 3 puntos de monitoreo de las condiciones de trabajo de las oficinas se determinó que estas no presentaban ventilación natural suficiente, pues ninguna tenía ventanas, el número de ocupantes superaba las 4 personas, donde el distanciamiento de cada uno era menor a 1.5 m en un espacio

reducido de trabajo, contaban con un solo ventilador, pero no se encontraban prendidas, varios de los ocupantes no hacían uso de su mascarilla de manera correcta. Estas consideraciones son importantes resaltar en un ambiente de trabajo según la Resolución ministerial N° 1275-2021 MINSA y la directiva administrativa 321-MINSA/DGIESP-2021, porque ayuda a identificar a qué medida de riesgo se encuentran expuestos los trabajadores en su ambiente trabajo y tomar acciones de prevención con fines de reducir el riesgo de contagio de COVID-19 rápido.

**Figura 2.** Resultado de CO2 en interiores.



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, con los valores promedios de CO2 se realizó la prueba de normalidad con la cual se determinó que los datos analizados no tienen una distribución normal porque el P valor presentado en la Tabla 4 es menor que  $\alpha = 0.05$ .

**Tabla 4.** Prueba de normalidad

Shapiro-Wilk		
Estadístico	Gl.	P

Dióxido de carbono	de	,739	16	,000
Ventilación		,739	16	,000

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestra que  $P < 0.05$  lo que indica que los valores de concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores se encuentran asociados a la ventilación en tiempos del COVID-19. Se también se observa que el valor de Rho de Spearman es -0.944, lo cual señala que existe muy alta asociación inversa entre las de concentraciones de (CO<sub>2</sub>) y la ventilación en ambientes interiores de trabajo en tiempos del COVID-19.

**Tabla 5.** Correlación de las variables.

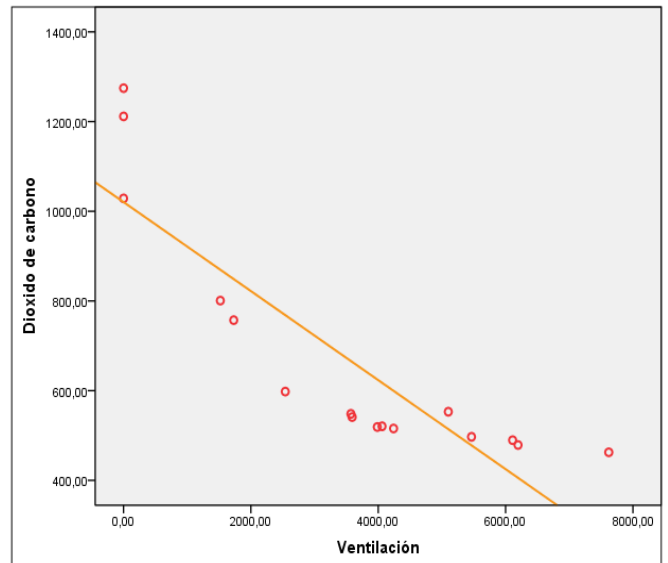
		Dióxido de carbono		
		Coeficiente de correlación		
		N	n	P
Rho de Spearman	Ventilación	16	-,944**	,000

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Elaboración propia

La presentación gráfica de la Figura 3 demuestra que en los resultados obtenidos hay presencia de una correlación muy alta en sentido inverso, es decir que a menor ventilación en un ambiente de trabajo las concentraciones de Co<sub>2</sub> son mayores, mientras que a mayor ventilación se presentan concentraciones de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> menores en un ambiente interior.

**Figura 3.** Gráfica de correlación entre el CO<sub>2</sub> y ventilación.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2, se muestra 12 puntos de monitoreo con valores de concentración de CO<sub>2</sub> inferiores a los 800 ppm, valor con calificativo de calidad de aire buena en un ambiente interior. Lovec en el 2021, reportó en dos de sus ambientes estudiados durante la pandemia de COVID-19 valores de concentración de CO<sub>2</sub> promedio que oscilan entre 624.8 ppm a 739.018 ppm, indicando que esto se debe principalmente a que en los edificios estudiados hubo presencia de buena ventilación natural y mecanizada, no obstante, también se debió al número de ocupantes de los edificios, porque durante la pandemia el aforo se redujo a 30% (Lovec, Premrov, and Leskovar 2021). Se extrajeron conclusiones similares en la investigación desarrollada por Villanueva et al en el 2020, quien evaluó las concentraciones de CO<sub>2</sub> durante la reapertura de escuelas aplicando nuevas estrategias de ventilación, sus resultados alcanzaron los 700 ppm de CO<sub>2</sub> en el 26 % de aulas estudiada (Villanueva et al. 2021). Meiss et al en el (2021), muestra concordancia con los estudios, debido a que concluye demostrando que una

ventilación cruzada con puertas y ventanas abierta proporciona en un ambiente valores de concentración de CO<sub>2</sub> bajos (Meiss et al. 2021). Por su parte Aguilar et al en el 2021 en su investigación también indica que en ambientes donde las puertas y ventanas se encuentran abiertas se presenta una mejor tasa de ventilación, por tanto, las concentraciones de CO<sub>2</sub> son mejores (Aguilar et al. 2021).

El estudio presenta en tres puntos de monitoreo concentraciones de CO<sub>2</sub> que exceden los límites máximos permisibles establecidos por la norma NTP 549 (1000 ppm). En este contexto el estudio realizado por Gilio et al en el 2021 basado en el monitoreo en tiempo real de los niveles de CO<sub>2</sub> como indicador del riesgo de transmisión de COVID-19 demuestra similitud con la investigación, ya que, en el 54% de sus aulas estudiadas se obtuvieron valores de CO<sub>2</sub> medios superiores a 1000 ppm, debido a que no se cumplieron con todos los protocolos establecidos en su plan de contingencia de regreso a clases ( Gilio et al. 2021). Por otra parte, en el (2021), también reportó en una de sus aulas estudiadas en el mes de octubre el valor de 1440 ppm de CO<sub>2</sub>, indicando a que en este ambiente durante el monitoreo todas sus ventanas existentes se encontraban cerradas (Kulo et al. 2021).

El valor del Rho -0.944 obtenido en la investigación indica que entre los parámetros estudiados existe una correlación inversa muy alta, con lo cual se demuestra que los valores de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> se encuentran asociadas a la ventilación en tiempos de COVID-19. Quispe en el (2020), en su investigación coincide con nuestro estudio, el valor de Rho que reporta es de -0.214, ello indica sus datos

presentaron una correlación en sentido inverso baja (Quispe 2020).

Con base a este estudio, de acuerdo a lo demostrado en la Figura 3 se contempla que a menor ventilación en un ambiente las concentraciones de CO<sub>2</sub> son mayores, y a mayor ventilación se presentan valores de concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> menores, con lo cual concordamos con lo descrito por Bazant et al en el 2021, al encontrar que el riesgo de transmisión de aerosoles en interiores para COVID-19, aumenta con el nivel de exceso de CO<sub>2</sub>, sin embargo al optimizar la ventilación de un espacio permite mantener el CO<sub>2</sub> lo más bajo posible, de tal manera se garantiza la protección de los ocupantes del ambiente interior expuestos al contagio de COVID-19 (Bazant et al. 2021). Por otro lado, Velarde, también indica que realizar la ventilación de ambientes cerrados es la acción más importante para minimizar el riesgo de contagio de COVID-19 (Velarde, Mamani, Flores 2020).

## CONCLUSIONES

A través de un análisis de los datos obtenidos en los puntos de monitoreos presentados en esta investigación, se evidencia que en 13 de las oficinas monitoreadas en la Municipalidad distrital de Santa Rosa correspondiente al PMU-01 hasta PMU-7, PMU-9-PMU-12, PMU-14 y PMU-15 los valores de concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> alcanzados no superan los límites máximos permisibles (LMP) recomendados por la Norma NTP 549, estos resultados se debieron a que en la mayoría de ambientes el número de ocupantes era de 2 personas, presentaban buena ventilación natural (ventanas abiertas), sus ventiladores se

encontraban prendidos, el distanciamiento interior y área de las oficinas eran amplias.

Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo en los ambientes interiores de los puntos de monitoreo PMU-08, PMU-13 y PMU-16, correspondiente a las oficinas de la G. de Servicios Públicos y Gestión Ambiental, SG. de Residuos Sólidos-Transporte y G. de Desarrollo Social, los valores de concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) obtenidos exceden los LMP, por tanto, estas tres oficinas se encuentran en condiciones no óptimas para sus ocupantes por un periodo de 8 horas, ya que, están expuestos al riesgo de contagio del COVID-19.

En la investigación existe una correlación inversa muy alta entre los parámetros estudiados, es decir que la calidad de aire por la exposición al factor de riesgo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en ambientes interiores se encuentra asociado a la ventilación en tiempos de COVID-19. En la Figura 3 se demuestra que a menor ventilación en un ambiente de trabajo las valores de Co<sub>2</sub> son mayores, y a mayor ventilación se presentan valores de concentración de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> menores.

Se recomienda realizar mediciones de CO<sub>2</sub> cada cierto tiempo, ya que gran parte de los casos de COVID-19 ocurren en ambientes cerrados, puesto que el CO<sub>2</sub> es considerado indicador del riesgo de transmisión de COVID-19.

En las tres oficinas que presentaron concentraciones de Co<sub>2</sub> que exceden los LMP se debe implementar y adoptar un plan de ventilación, donde se instalen ventiladores cerca de las puertas y ventanas, el sistema de ventilación permanezca constantemente prendido, donde se practique una

ventilación cruzada y reducir el número de ocupantes del ambiente de trabajo.

Se debe utilizar en un ambiente de trabajo donde el número de ocupantes constantemente es elevado purificadores de aire, para retener partículas presentes en el ambiente, que pueden ocasionar distintas enfermedades, de esa manera proporcionar a los trabajadores un aire más limpio.

Cuando se presente el diseño arquitectónico de una nueva infraestructura de la municipalidad, se requiere tomar en consideración aspectos de ventilación natural en cada oficina.

En todos los ambientes interiores monitoreados se recomienda el uso de mascarillas y cumplir con las normas de bioseguridad propuestas por la entidad para evitar el contagio de COVID-19.

Asimismo, durante estos tiempos de pandemia, para cuidar la salud de los trabajadores, es necesario la purificación del aire de su ambiente de trabajo, por tanto, se recomienda implementar en cada oficina plantas que absorben CO<sub>2</sub> tales como: Espatifilo, potos, lengua de tigre (*Sanseveria trifásica*) y palmera de bambú.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Adonis, Marta, and Lionel Hormazábal. 2015.

“Calidad de Aire En Interiores:Contaminantes y Sus Efectos En La Salud Humana.” *Revista Panamericana de Salud Pública* 4 (6).

<https://doi.org/10.1590/s1020-49891998001200019>.

Aguilar, Antonio J., María L. De La Hoz-Torres, Ma Dolores Martínez-Aires, and Diego P.

- Ruiz. 2021. "Monitoring and Assessment of Indoor Environmental Conditions after the Implementation of COVID-19-Based Ventilation Strategies in an Educational Building in Southern Spain." *Sensors* 21 (21). <https://doi.org/10.3390/s21217223>.
- Allen, Josep. 2021. "The Pandemic Has Made the Connection between Indoor Air Quality and Human Health Clearer than Ever." *Science* 373 (6555). <https://doi.org/10.1126/science.abl8715>.
- Bazant, Martin Z., Ousmane Kodio, Alexander E. Cohen, Kasim Khan, Zongyu Gu, and John W.M. Bush. 2021. "Monitoring Carbon Dioxide to Quantify the Risk of Indoor Airborne Transmission of COVID-19." *Flow* 1: 1–20. <https://doi.org/10.1017/flo.2021.10>.
- Berenguer, María José, and Félix Bernal. 2016. "El Dióxido de Carbono En La Evaluación de La Calidad Del Aire Interior." *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene En El Trabajo*, 1–6. [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp\\_549.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_549.pdf).
- Boldú, Joan, and I. Pascal. 2005. "Enfermedades Relacionadas Con Los Edificios." *Scielo* 28 (SUPPL. 1): 117–21. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272005000200015>.
- Chipana, Mayra, and Nataly Matos. 2020. "Evaluación de Las Concentraciones de Co2 En Interiores y Su Influencia En La Salud de Los Estudiantes de La Universidad Peruana Union." Uiversidad Peruana Unión. [https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3196/Mayra\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3196/Mayra_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Covaci, Adrian. 2020. "How Can Airborne Transmission of COVID-19 Indoors Be Minimised?" *Environment International* 142 (May). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020317876>.
- Gilio, Alessia Di, Jolanda Palmisani, Manuela Pulimeno, Fabio Cerino, Mirko Cacace, Alessandro Miani, and Gianluigi de Gennaro. 2021. "CO2 Concentration Monitoring inside Educational Buildings as a Strategic Tool to Reduce the Risk of Sars-CoV-2 Airborne Transmission." *Environmental Research* 202 (July): 111560. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111560>.
- Grave, Noralys. 2020. "Occupational Diseases as a Risk of the Security and Health at Work." *Revista de La Abogacía*, no. 64: 155–75. <https://ojs.onbc.cu/index.php/revistaonbc/article/view/53>.
- Hernández, Roberto, Carlos Fernández, and Pilar Baptista. 2014. *Metodología de La Investigación. Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Kulo, Aida, Jasna Kusturica, Sanela Klaric, and Amina Blekic. 2021. "School Children Exposure to Low Indoor Air Quality in Classrooms during Covid-19 Pandemic :Resul of a Pilot Study" 33 (1): 83–95. [https://www.psychiatria-danubina.com/UserDocsImages/pdf/dnb\\_vol33\\_noSuppl3/dnb\\_vol33\\_noSuppl3\\_83.pdf](https://www.psychiatria-danubina.com/UserDocsImages/pdf/dnb_vol33_noSuppl3/dnb_vol33_noSuppl3_83.pdf).
- Lovec, Vesna, Miroslav Premrov, and Vesna Žegarac Leskovar. 2021. "Practical Impact of

- the Covid-19 Pandemic on Indoor Air Quality and Thermal Comfort in Kindergartens. A Case Study of Slovenia.” *Environmental Research and Public Health* 18 (18).  
<https://doi.org/10.3390/ijerph18189712>.
- Meiss, Alberto, Héctor Jimeno-Merino, Irene Poza-Casado, Alfredo Llorente-álvarez, and Miguel Ángel Padilla-Marcos. 2021. “Indoor Air Quality in Naturally Ventilated Classrooms. Lessons Learned from a Case Study in a Covid-19 Scenario.” *Sustainability (Switzerland)* 13 (15).  
<https://doi.org/10.3390/su13158446>.
- Messina, Valeria, Maria Victoria Spinetto, Juan Carlos Aguirre, Carlos Romero, and Lucio De Oto. 2006. “Gestión de La Calidad Del Aire Por Impacto Del Tránsito Vehicular En Un Municipio de La Región Metropolitana de Buenos Aires.” *Acta Nova* 3 (2): 211–23.  
[http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v3n2/v3n2_a05.pdf).
- Monge, Aurora, Maira Bes, Sara Dorregaray, Purificación González, Martín Nerea, and Ana Sánchez. 2021. “Encouraging Natural Ventilation to Improve Indoor Environmental Conditions at Schools. Case Studies in the North of Spain before and during COVID.” *Energy and Buildings* 254.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111567>.
- MTPE. 2021. “Notificaciones de Accidentes de Trabajo , Incidentes Peligrosos y Enfermedades Ocupacionales - Marzo-2021.” *Boletín Estadístico Mensual Marzo 2021*. 03: 29.  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2400453/Boletín Notificaciones SETIEMBRE2021.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2400453/Boletín%20Notificaciones%20SETIEMBRE2021.pdf).
- Nº29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. 2011. “Ley de Seguridad y Salud En El Trabajo Nº29783.”  
[https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/LEY 29783 LEY DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/LEY%2029783%20LEY%20DE%20SEGURIDAD%20Y%20SALUD%20EN%20EL%20TRABAJO.pdf).
- OMS. 2010. “Entornos Laborales Saludables: Fundamentos y Modelo de La OMS.” *World Health Organization*, 1–144.  
[http://www.who.int/occupational\\_health/evelyn\\_hwp\\_spanish.pdf](http://www.who.int/occupational_health/evelyn_hwp_spanish.pdf).
- ONU. 2021. “OMS Ajusta a La Baja Los Niveles Aceptables de La Calidad Del Aire.” *Naciones Unidas Mexico*, September 22, 2021. <https://www.onu.org.mx/oms-ajusta-a-la-baja-los-niveles-aceptables-de-la-calidad-del-aire/>.
- Paz Montero, María. 2021. “Caracterización y Evaluación de La Calidad Del Aire En Espacios Interiores a Través Del Análisis Del Dióxido de Carbono.” Universidad de Cádiz. <https://masteringenieriaindustrial.uca.es/tfm-mariapaz-montero/>.
- Quispe, Aldair. 2020. “Calidad de Aire En Interiores Por Dióxido de Carbono y Su Relación Con La Ventilación de Las Oficinas de La Municipalidad Provincial de Tocache.” Universidad Peruana Unión.  
[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4235/Aldair\\_Tesis\\_Licenciatura\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/4235/Aldair_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Ruiz, Gerardo, Horacio Riojas, Iván Hernández, and Ángel García. 2020. “Coronavirus SARS-CoV-2, Contaminación Atmosférica y



- Riesgos a La Salud.” *Instituto Nacional de Salud Pública*, 5.  
<https://www.atmosfera.unam.mx/wp-content/uploads/2020/04/Coronavirus-postural.pdf>.
- Simanic, Branko, Birgitta Nordquist, Hans Bagge, and Dennis Johansson. 2019. “Indoor Air Temperatures, Co2 Concentrations and Ventilation Rates: Long-Term Measurements in Newly Built Low-Energy Schools in Sweden.” *Journal of Building Engineering* 25.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710219303407>.
- Soares, Joyce, and Márcia Astrês. 2020. “Discusión Del Síndrome Del Edificio Enfermo En Trabajadores de La Salud.” *Revista Cubana de Enfermería* 36 (2): 1–16.  
<https://doi.org/https://orcid.org/0000-0001-6544-9632> Márcia.
- Svetslavov, Peter. 2015. “Contaminación Del Aire y Los Problemas Respiratorios.” *Scielo* 50.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422015000500044](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422015000500044).
- Velarde, Fernando, Rubén Mamani-Paco, and Marcos Andrade-Flores. 2020. “Estimación de La Probabilidad de Contagio de Covid-19 Por Aerosoles En Ambientes Cerrados: Aplicaciones a Casos En La Ciudad de La Paz, Bolivia.” *Revista Boliviana de Física* 37 (37): 22–30.  
[http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37\\_a04.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/rbf/v37n37/v37n37_a04.pdf).
- Villanueva, Florentina, Alberto Notario, Beatriz Cabañas, Pilar Martín, Sagrario Salgado, and Marta Fonseca Gabriel. 2021. “Assessment of CO2 and Aerosol (PM2.5, PM10, UFP Concentrations during the Reopening of Schools in the COVID-19 Pandemic: The Case of a Metropolitan Area in Central-Southern Spain.” *Environmental Research Elsevier*, no. March.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111092>.