

# Analysis of the Relationship between Environmental Conditions and CO<sub>2</sub> Concentration in the Teaching Classrooms of a Secondary Educational Institution

Apaza Calla, Fernando Socarraz<sup>1</sup>; Gamarra Andía, Dana Sofía<sup>2</sup>; Gonzales Medina, Luz Eleana<sup>3</sup>; Paz Corrales, Olivia Anyelina<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [u20240208@utp.edu.pe](mailto:u20240208@utp.edu.pe), [u20220974@utp.edu.pe](mailto:u20220974@utp.edu.pe), [C16401@utp.edu.pe](mailto:C16401@utp.edu.pe), [c16306@utp.edu.pe](mailto:c16306@utp.edu.pe)

*Abstract– The arrival of COVID-19 posed a very important challenge for educational institutions, causing them to adopt different measures to guarantee healthy environments for a safe return to classes. However, knowledge about CO<sub>2</sub> as an indicator to know the conditions of air quality and the conditions it modifies with its presence was a mystery until the arrival of the pandemic. That is why, the objective of the present study seeks to analyze the relationship between environmental conditions and the concentration of this gas within the classrooms of a secondary educational institution, located in the city of Arequipa. The methodology used consisted of a non- experimental analysis, of correlational scope, obtaining the data through documentation, monitoring and observation of the 5 classrooms of the institution, finalizing its determination through the calculation of Pearson correlation coefficients. The results showed that there is a correlation between the variables, with temperature and CO<sub>2</sub> maintaining a strong positive relationship; unlike humidity, which demonstrates a strong negative relationship. Furthermore, about the percentage of occupancy and the opening of ventilation, the concentration of CO<sub>2</sub> varies in a direct and inverse proportion respectively. Finally, it is concluded that there is a relationship between the variables, where the measurement of the concentration of carbon dioxide turns out to be an adequate indicator to determine the quality of indoor air in classrooms by not exceeding the permitted threshold of 400 ppm, therefore special emphasis must be placed on the management of environmental conditions to avoid its variation.*

**Keywords-- Carbon dioxide, classroom, temperature, humidity.**

# Análisis de la relación entre las condiciones ambientales y la concentración de CO<sub>2</sub> en las aulas de dictado de clases de una Institución Educativa

Apaza Calla, Fernando Socarraz<sup>1</sup>; Gamarra Andía, Dana Sofía<sup>2</sup>; Gonzales Medina, Luz Eleana<sup>3</sup>; Paz Corrales, Olivia Anyelina<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universidad Tecnológica del Perú, Perú, [u20240208@utp.edu.pe](mailto:u20240208@utp.edu.pe), [u20220974@utp.edu.pe](mailto:u20220974@utp.edu.pe), [C16401@utp.edu.pe](mailto:C16401@utp.edu.pe), [c16306@utp.edu.pe](mailto:c16306@utp.edu.pe)

**Resumen**– La llegada del COVID-19 supuso un reto muy importante para las instituciones educativas, haciendo que se adoptaran diferentes medidas a fin de poder garantizar ambientes saludables para un retorno a clases seguro. No obstante, el conocimiento sobre el CO<sub>2</sub> como indicador para saber las condiciones de la calidad del aire y las condiciones que modifica con su presencia, era un misterio hasta la llegada de la pandemia. Es por ello que, el objetivo del presente estudio busca analizar la relación entre las condiciones ambientales y la concentración de este gas dentro de las aulas de dictado de clases de una institución educativa secundaria, ubicada en la ciudad de Arequipa. La metodología usada constó de un análisis no experimental, de alcance correlacional, obteniendo los datos por medio de la documentación, monitoreo y observación de las 5 aulas de la institución, finalizando su determinación por medio del cálculo de los coeficientes de correlación de Pearson. Los resultados demostraron que existe una correlación entre las variables, siendo que la temperatura y el CO<sub>2</sub> mantienen una relación fuerte positiva; a diferencia de la humedad, que demuestran una relación fuerte negativa. Además, en lo que respecta al porcentaje de ocupación y la apertura de aireación, la concentración de CO<sub>2</sub> varía de forma directa e inversamente proporcional respectivamente. Concluyendo finalmente que existe una relación entre las variables, donde la medición de la concentración de dióxido de carbono resulta ser un indicador adecuado para determinar la calidad de aire interior en las aulas por no superar el umbral permitido de 400 ppm, por ello se debe de poner especial énfasis en el manejo de las condiciones ambientales para evitar su variación.

**Palabras clave**-- Dióxido de carbono, aula, temperatura, humedad.

## I. INTRODUCCIÓN

Debido a la aparición de la pandemia del COVID-19, se evidenció una deficiencia en el manejo de la calidad de aire [1], [2], [3] que había en las diferentes actividades de la sociedad, siendo un caso particular e importante las actividades desarrolladas dentro de áreas interiores [3], [4], [5]; ya que estos ambientes muchas veces no poseían las medidas necesarias que garantizaran un trabajo seguro. No obstante, después de la pandemia diversas instituciones, en búsqueda de mejorar las condiciones laborales de sus instalaciones, implementaron medidas de control [4], [5] que pudieran evitar contagios de enfermedades respiratorias entre las personas; sin embargo, estos no enfatizaron la importancia de determinar y medir si las medidas implementadas estaban

cumpliendo de manera eficaz con el propósito por la cual fueron aplicadas [6]. De modo que, se evaluó un método viable para determinar dicha situación, el cual es el monitoreo de la concentración de CO<sub>2</sub> que ayuda a determinar si la calidad del aire interior es adecuada, siendo este un indicador para conocer la presencia de contaminantes provenientes del exterior que repercuten en la salud de los ocupantes [3], [5]. Pero el CO<sub>2</sub> puede variar a causa de otros factores ambientales, por lo cual se identificó las condiciones ambientales significativas que influían en el mismo; luego, mediante monitoreos y análisis con métodos estadísticos, se buscó la relación existente entre dichas condiciones ambientales, a fin de hallar la existencia de alguna correlación entre las mismas. Con lo cual, se demostró la existencia de dicha correspondencia de variables, llegando a concluir que para mantener la calidad de aire interior en un aula se debe controlar todas las variables mencionadas, sin olvidar el cumplimiento de los estándares dados por la normativa nacional. En definitiva, la presente investigación se justifica porque determinó la relación existente entre las condiciones ambientales de estudio como son la concentración de CO<sub>2</sub> [7], [8], [9], [11], [12], [13], [14], [15], [16]; temperatura [3], [5], [6], [7], [10], [11], [13], [14], [21]; humedad relativa [3], [6], [7], [11], [13], [21]; porcentaje de aireación [3], [5], [6], [7], [13], [14], [17], [18], [19], [21], [23] y porcentaje de ocupación [4], [5], [6], [8], [10], [13], [19], [23] en una institución educativa, así como se generó datos actuales y precisos que ayudaron a establecer si sus condiciones ambientales y calidad de aire eran adecuadas, también se generó datos y métodos referenciales que puedan ser utilizados en futuras investigaciones.

## II. METODOLOGÍA

La metodología empleada en esta investigación se diseñó para identificar y analizar las condiciones ambientales que afectan la calidad del aire interior en aulas. Considerando variables influyentes en la concentración de CO<sub>2</sub>, como: temperatura, humedad relativa, porcentaje de aireación y porcentaje de ocupación. Los equipos de medición, que incluían un medidor de CO<sub>2</sub> y un termohigrómetro. Realizaron mediciones continuas de la concentración de CO<sub>2</sub> en relación con las condiciones ambientales. Los datos que recolectados fue en diferentes momentos para capturar variabilidad, con

diferentes porcentajes de ocupación (número de estudiantes), en función de las condiciones de temperatura y humedad relativa y considerando la apertura de ventanas y puertas para la ventilación. Se realizó un análisis estadístico sobre los datos recolectados, buscando establecer correlaciones entre las variables medidas. Se utilizó software especializado (SPSS) para realizar pruebas de correlación, y determinar la relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> y las condiciones ambientales.

La Figura 1, resume la metodología.

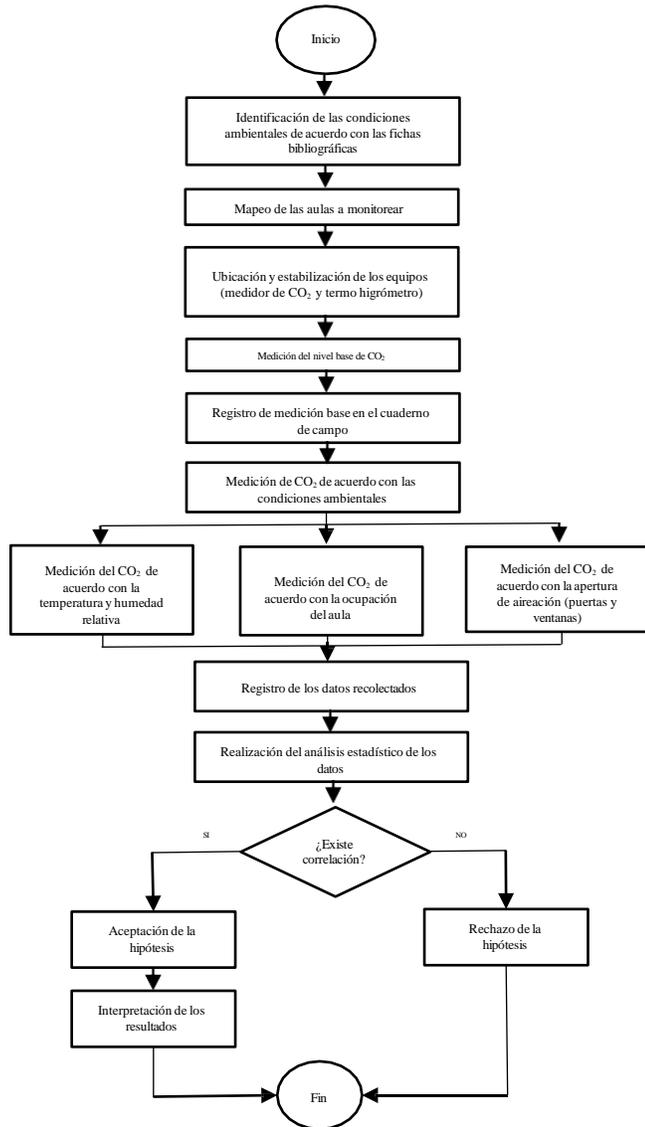


Figura 1 Diagrama de flujo de metodología

### III. RESULTADOS

#### A. Identificación de las condiciones ambientales presentes en las aulas de dictado

Por medio de la realización de una matriz de fichas bibliográficas, se identificó las variables a medir con relación a su influencia en la concentración de CO<sub>2</sub>, siendo estas: temperatura [3], [5], [6], [7], [10], [11], [13], [14], [21];

humedad relativa [3], [6], [7], [11], [13], [21]; porcentaje de aireación [3], [5], [6], [7], [13], [14], [17], [18], [19], [21], [23] y porcentaje de ocupación [4], [5], [6], [8], [10], [13], [19], [23].

TABLA 1  
MATRIZ DE FICHAS BIBLIOGRÁFICAS

TÍTULO	AUTOR	VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub>			
		T°	HR%	AIREACIÓN	% DE OCUPACIÓN
Evaluación de la calidad del aire interior y el riesgo de infección por COVID-19 en aulas de secundaria y universidades españolas	[3]	X	X	X	
Evaluación de estrategia de ventilación natural para disminuir el riesgo de infección por COVID 19 en una escuela primaria rural	[4]				X
Impacto de los requisitos de ventilación por COVID-19 en la temperatura y calidad del aire en aulas universitarias	[5]	X		X	X
Efectos de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire interior y el confort térmico de las escuelas primarias en invierno en un clima mediterráneo	[6]	X	X	X	X
Análisis del nivel del material particulado (PM2.5) y CO <sub>2</sub> en una institución de educación superior como parte de la estrategia de regreso seguro ante la COVID-19.	[7]	X	X	X	
Monitoreo de dióxido de carbono para cuantificar el riesgo de transmisión aérea interior de COVID-19	[8]				X
Uso de filtros y materiales especiales en aulas, basado en la evaluación de presencia de CO <sub>2</sub> como indicador de reducción y control de Covid en espacios cerrados	[10]	X			X
Aulas con ventilación natural: CO <sub>2</sub> y protección frente al COVID	[11]	X	X		
Impacto práctico de la pandemia de COVID-19 en la calidad del aire interior y el confort térmico en jardines de infancia. Un estudio de caso de Eslovenia	[13]	X	X	X	X
Asociación de la temperatura interior y la calidad del aire en aulas basada en mediciones de campo e intervención	[14]	X		X	
Estimación de la probabilidad de contagio de covid-19 por aerosoles en ambientes cerrados: Aplicaciones a casos en la ciudad de La Paz, Bolivia	[17]			X	
Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia	[18]			X	
Distribución espacial del CO <sub>2</sub> impacto en la calidad del aire interior de aulas dentro de una universidad	[19]			X	X

TÍTULO	AUTOR	VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub>			
		T°	RH%	AIREACIÓN	% DE OCUPACIÓN
Análisis de los parámetros del aire interior en un edificio educativo	[21]	X	X	X	
Implementación de una red inalámbrica de sensores de CO <sub>2</sub> usando IoT como sistema de alerta ante una ventilación deficiente frente al Covid-19 en aulas de clase	[23]			X	X
TOTAL		9	6	11	8
TOTAL PORCENTUAL (%)		26	18	32	24

A partir de la anterior matriz de fichas bibliográficas se puede inferir que en numerosas investigaciones se usaron las variables de temperatura, humedad relativa, apertura de aireación y porcentaje de ocupación para el análisis de la concentración de CO<sub>2</sub> en entornos académicos, por lo que realizando una revisión bibliográfica del contenido de cada investigación se halló que en el 26% de las fuentes se habían tomado como variable independiente a la temperatura; el 18% de las fuentes, a la humedad relativa; el 32%, a la apertura de aireación y en un 24% de las fuentes al porcentaje de ocupación. Todos estos resultados reforzaron el objetivo de identificación de las condiciones ambientales que influyen en la concentración de CO<sub>2</sub>, por lo que estas se consideraron significativas para monitoreo y análisis del presente trabajo de investigación.

### B. Medición de la concentración de CO<sub>2</sub> según condiciones ambientales

**Primer Monitoreo.** Después de la identificación de las condiciones ambientales a monitorear, se definieron los días 23 y 24 de setiembre para la realización del monitoreo dentro de la institución, cubriendo toda la jornada de estudio desde las 7:45 de la mañana hasta las 15:20 horas de la tarde. Así mismo, por disposición de las aulas y el horario, se hizo la medición dentro de 6 aulas elegidas de acuerdo con su disponibilidad, repartiéndolas en 3 cada día.

Sin embargo, este monitoreo no procede debido a que se encontró mucha variación en las mediciones debido a que las aulas que no contaban con las mismas características estructurales, evitando que se haga una comparación objetiva entre las variables. Adicionalmente, el medidor se ubicó muy cerca a las puertas y ventanas del aula, impidiendo recolectar los datos reales de la concentración de CO<sub>2</sub> por motivos de la interferencia de la velocidad del viento en la ventilación del aula; y, finalmente, la fluctuación en el porcentaje de ocupación con motivos del intercambio de alumnado durante el cambio de horas, hizo que hubiera picos muy altos en la concentración, que de repente descendían, haciendo que la concentración del gas incluso variara más, como se muestra en la siguiente tabla y el gráfico de la relación entre la temperatura y CO<sub>2</sub> adjuntado:

TABLA 2  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PRIMER MONITOREO

4	Matriz de recolección de datos							
	CO <sub>2</sub> base				445			
	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad (%)	% de ocupación			% de apertura de aireación
Monitoreo	Diferencia	N° de ocupantes			Aforo	Porcentaje		
09:20	651	206	22.56	19.4	30	48	62%	67.86%
09:25	613	168	22.57	19	30	48	62%	67.86%
09:30	573	128	22.51	18.6	30	48	62%	67.86%
09:35	612	167	22.64	18.8	30	48	62%	67.86%
09:40	670	225	22.72	18.2	30	48	62%	67.86%
09:45	561	116	22.86	19.8	30	48	62%	67.86%
09:50	556	111	22.89	20.7	30	48	62%	67.86%
09:55	554	109	22.99	20.3	30	48	62%	67.86%
10:00	561	116	23	20.4	30	48	62%	67.86%
10:05	641	196	23.28	20.5	35	48	73%	67.86%
10:10	610	165	23.47	19.3	36	48	75%	67.86%
10:15	584	139	23.52	19.6	36	48	75%	67.86%
10:20	556	111	23.49	18.2	36	48	75%	67.86%
10:25	565	120	23.54	18.6	36	48	75%	67.86%
10:30	546	101	23.57	18.4	36	48	75%	67.86%
10:35	550	105	23.61	18.1	36	48	75%	67.86%
10:40	553	108	23.65	18	36	48	75%	67.86%
<b>Observaciones</b>								
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de horario</li> </ul>								

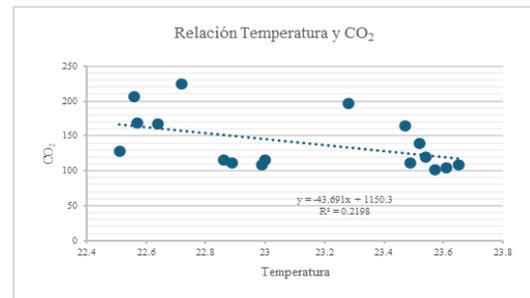


Figura 2 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de primer monitoreo

Como se observa, los datos votan una relación muy dispersa por lo que, con las observaciones anteriores, se optará por hacer un segundo monitoreo, controlando la variable de porcentaje de ocupación y haciendo una elección de aulas con las mismas características estructurales (cantidad de puertas y ventanas) para facilitar la observación de la apertura de aireación.

**Segundo Monitoreo.** El segundo monitoreo se llevó a cabo el día 30 de setiembre, cubriendo la misma jornada definida en el anterior monitoreo. De igual forma, por disponibilidad, se hizo la medición dentro de 5 aulas.

Antes de que el alumnado ingresara a las aulas de dictado, se hizo la medición de la concentración de CO<sub>2</sub> base de los ambientes a monitorear y se midió el área con un flexómetro para posteriormente calcular el aforo por aula.

Así mismo, para definir como se manejaría la variable referida a la apertura de aireación, se realizó un baremo para el cálculo de esta apertura de acuerdo con la cantidad de ventanas y puertas que contuvieran las aulas, como se muestra a continuación:

TABLA 3  
BAREMO PARA CÁLCULO DE APERTURA DE AIREACIÓN

DESCRIPCIÓN	Nº	PORCENTAJE
PUERTA	2	50%
VENTANA	28	50%

Finalmente, se hizo la anotación de los datos de monitoreo obtenidos del detector de gases y el termohigrómetro en matrices de recolección de datos por aula adjuntadas por medio de las tablas 4, 5, 6, 7 y 8.

Por medio de la tabla 4, se observa una variación directa entre el umbral de CO<sub>2</sub> y la temperatura, mientras que la humedad y el CO<sub>2</sub> actúan de manera inversa, lo cual brinda ligeros indicios del comportamiento de dichas variables en la primera aula.

TABLA 4  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE PRIMERA AULA

Hora	Matriz de recolección de datos			
	CO <sub>2</sub> base (ppm)		452	
	Ocupación (%)		61	
	Apertura de aireación (%)		75	
	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	Monitoreo	Umbral		
08:00	467	15	21.39	18.1
08:05	479	27	21.72	17.7
08:10	498	46	22.01	17
08:15	519	67	22.40	16.5
08:20	537	85	22.57	16.3
08:25	541	89	22.67	16.1
08:30	543	91	22.71	16.1
08:35	544	92	22.78	16
08:40	553	101	22.81	15.9
08:45	555	103	22.85	15.6
Observaciones				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de ocupantes del aula 29 personas.</li> <li>Aforo del salón 48.</li> </ul>				

Por medio de la tabla 5, se observa una variación directa entre el umbral de CO<sub>2</sub> y la temperatura, mientras que la humedad y el CO<sub>2</sub> actúan de manera inversa, lo cual brinda ligeros indicios del comportamiento de dichas variables en la segunda aula.

TABLA 5  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE SEGUNDA AULA

2	Matriz de recolección de datos			
	CO <sub>2</sub> base (ppm)		442	
	Ocupación (%)		66	
	Apertura de aireación (%)		50	
Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	Monitoreo	Umbral		
09:30	497	55	22.35	18.6
09:35	534	92	23.06	17.9
09:40	553	111	23.49	17.5
09:45	578	136	23.72	17.4
09:50	589	147	23.82	17.2
09:55	598	156	23.85	17
10:00	598	156	23.9	16.9
10:05	602	160	23.91	16.7
10:10	607	165	24.01	16.5
10:15	613	171	24.04	16.4
Observaciones				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de ocupantes del aula 31 personas.</li> <li>Aforo del salón 47.</li> </ul>				

Por medio de la tabla 6, se observa una variación directa entre el umbral de CO<sub>2</sub> y la temperatura, mientras que la humedad y el CO<sub>2</sub> actúan de manera inversa, lo cual brinda ligeros indicios del comportamiento de dichas variables en la tercera aula.

TABLA 6  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE TERCERA AULA

3	Matriz de recolección de datos			
	CO <sub>2</sub> base (ppm)		457	
	Ocupación (%)		68	
	Apertura de aireación (%)		64.29	
Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	Monitoreo	Umbral		
11:00	478	21	23.56	19
11:05	508	51	23.71	18.9
11:10	531	74	23.89	18.4
11:15	544	87	24.05	18.1
11:20	561	104	24.09	17.5

11:25	575	118	24.11	17.4
11:30	583	126	24.08	17.2
11:35	586	129	24.13	17.2
11:40	591	134	24.27	17
11:45	597	140	24.31	16.8
<b>Observaciones</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de ocupantes del aula 32 personas.</li> <li>Aforo del salón 47.</li> </ul>				

Por medio de la tabla 7, se observa una variación directa entre el umbral de CO<sub>2</sub> y la temperatura, mientras que la humedad y el CO<sub>2</sub> actúan de manera inversa, lo cual brinda ligeros indicios del comportamiento de dichas variables en la cuarta aula.

TABLA 7  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CUARTA AULA

Matriz de recolección de datos				
<b>4</b>	<b>CO<sub>2</sub> base (ppm)</b>		449	
	<b>Ocupación (%)</b>		79	
	<b>Apertura de aireación (%)</b>		71.43	
Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	Monitoreo	Umbral		
12:30	481	32	24.87	19.5
12:35	509	60	25.26	19.2
12:40	523	74	25.48	19
12:45	545	96	25.78	18.7
12:50	555	106	25.88	18.4
12:55	567	118	25.91	18.4
13:00	568	119	25.94	18.1
13:05	581	132	26.01	18
13:10	586	137	26.1	17.8
13:15	594	145	26.17	17.7
<b>Observaciones</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de ocupantes del aula 38 personas.</li> <li>Aforo del salón 48.</li> </ul>				

Por medio de la tabla 8, se observa una variación directa entre el umbral de CO<sub>2</sub> y la temperatura, mientras que la humedad y el CO<sub>2</sub> actúan de manera inversa, lo cual brinda ligeros indicios del comportamiento de dichas variables en la quinta aula.

TABLA 8  
MATRIZ DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE QUINTA AULA

Matriz de recolección de datos				
<b>5</b>	<b>CO<sub>2</sub> base (ppm)</b>		478	
	<b>Ocupación (%)</b>		83	
	<b>Apertura de aireación (%)</b>		67.86	
Hora	Concentración de CO <sub>2</sub> (ppm)		Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
	Monitoreo	Umbral		
02:15	541	63	26	21.7
02:20	571	93	26.16	21.3
02:25	599	121	26.31	21
02:30	618	140	26.46	20.5
02:35	633	155	26.49	20
02:40	647	169	26.53	19.8
02:45	655	177	26.57	19.5
02:50	669	191	26.61	19.1
02:55	687	209	26.65	19
03:00	691	213	26.7	18.8
<b>Observaciones</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de ocupantes del aula 40 personas.</li> <li>Aforo del salón 48.</li> </ul>				

De esta forma se evidencia que los datos obtenidos a partir del segundo monitoreo no tienen mucha variación, permitiendo el análisis correcto posterior. Concluyendo que, después de haber controlado las variables de porcentaje de ocupación y eligiendo aulas con características similares, se obtuvieron datos que permitirán hallar la correlación entre las variables. Además, se debe tener en cuenta que el umbral de CO<sub>2</sub> no sobrepasó los 400 ppm.

### B. Determinación estadística de la relación entre variables

**Correlación de Pearson de T° y CO<sub>2</sub>.** A partir de los datos obtenidos, se hicieron gráficas de dispersión entre la temperatura y CO<sub>2</sub> de las aulas evaluadas, como se muestra a través de las figuras 3, 4, 5, 6 y 7 presentadas a continuación y la tabla 9, con la finalidad de hallar la correlación entre ambas variables.

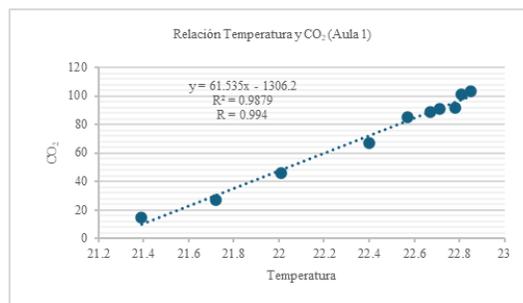


Figura 3 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de primera aula

Por medio de la figura 3 se infiere que las variables de temperatura y CO<sub>2</sub> de la primera aula tienen correlación fuerte positiva, ya que los resultados dieron como valor 0.994.

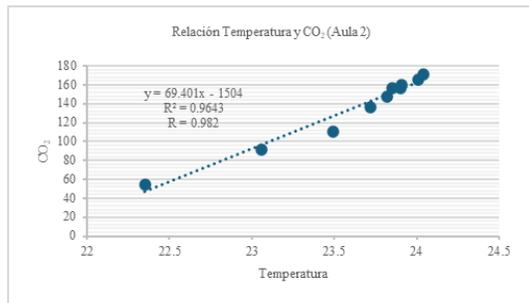


Figura 4 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de segunda aula

Por medio de la figura 4 se infiere que las variables de temperatura y CO<sub>2</sub> de la segunda aula tienen correlación fuerte positiva, ya que los resultados dieron como valor 0.982.

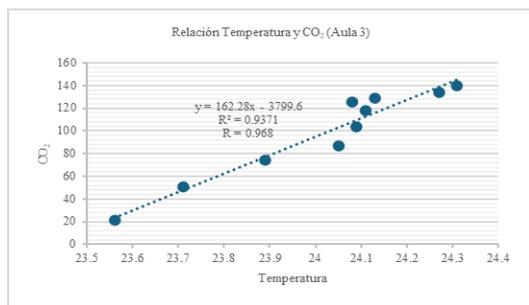


Figura 5 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de tercera aula

Por medio de la figura 5 se infiere que las variables de temperatura y CO<sub>2</sub> de la tercera aula tienen correlación fuerte positiva, ya que los resultados dieron como valor 0.968.

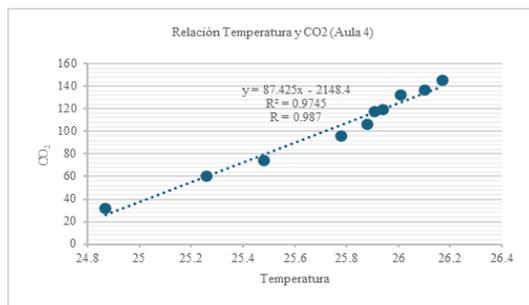


Figura 6 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de cuarta aula

Por medio de la figura 6 se infiere que las variables de temperatura y CO<sub>2</sub> de la cuarta aula tienen correlación fuerte positiva, ya que los resultados dieron como valor 0.987.

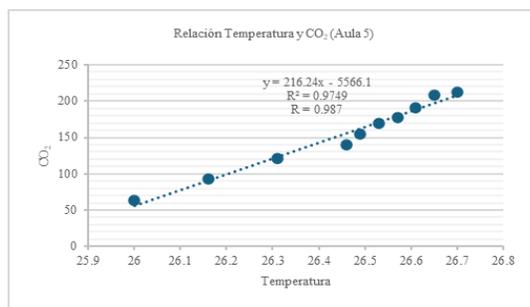


Fig. 7 Gráfica de dispersión de relación entre T° y CO<sub>2</sub> de quinta aula

Por medio de la figura 7 se infiere que las variables de temperatura y CO<sub>2</sub> de la quinta aula tienen correlación fuerte positiva, ya que los resultados dieron como valor 0.987.

Mediante la tabla 9 se muestra el resumen de los coeficientes obtenidos por medio de la correlación temperatura y CO<sub>2</sub> para las 5 aulas:

TABLA 9  
RESUMEN DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE T° Y CO<sub>2</sub>

Tabla de correlación de Pearson (T° y CO <sub>2</sub> )					
Aula	1	2	3	4	5
Valor	0.994	0.982	0.968	0.987	0.987

Es así como, a partir de los resultados y de la observación de las figuras mencionadas, se puede inferir que existe correlación entre las variables presentadas. Esto debido a que, en todos los resultados de los salones monitoreados, se obtuvo un valor de Correlación de Pearson mayor a 0.95 como se observa en la tabla resumen, lo cual indica una correlación fuerte positiva que es similar a una distribución directamente proporcional, donde si aumenta la temperatura en el salón de clases también aumenta la concentración de CO<sub>2</sub>.

Asimismo, a partir de los puntos de dispersión se puede concluir que los cinco ambientes monitoreados sufren alteraciones significativas al inicio de cada monitoreo, esto debido a la ocupación repentina de dichas áreas de estudio; sin embargo, con el tiempo dichos puntos se van homogenizando en busca de un nuevo equilibrio, por lo cual los puntos finales del monitoreo son cuasi-similares.

**Correlación de Pearson de RH% y CO<sub>2</sub>.** Por otra parte, los gráficos de dispersión 8, 9, 10, 11 y 12 mostrados posteriormente y la tabla 10, muestran la relación entre la humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub> encontrada en las aulas evaluadas.

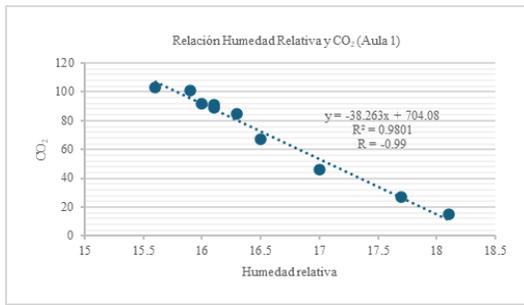


Figura 8 Gráfica de dispersión de relación entre RH% y CO<sub>2</sub> de primera aula

Por medio de la figura 8 se infiere que las variables de humedad relativa y CO<sub>2</sub> de la primera aula tienen correlación fuerte negativa, ya que los resultados dieron como valor -0.99.

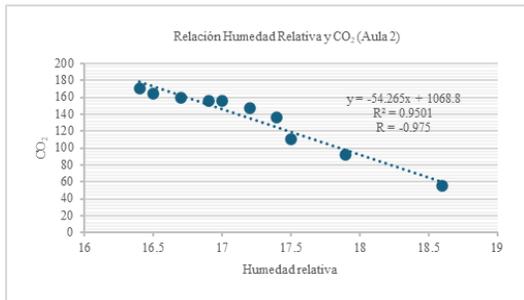


Figura 9 Gráfica de dispersión de relación entre RH% y CO<sub>2</sub> de segunda aula

Por medio de la figura 9 se infiere que las variables de humedad relativa y CO<sub>2</sub> de la segunda aula tienen correlación fuerte negativa, ya que los resultados dieron como valor -0.975.

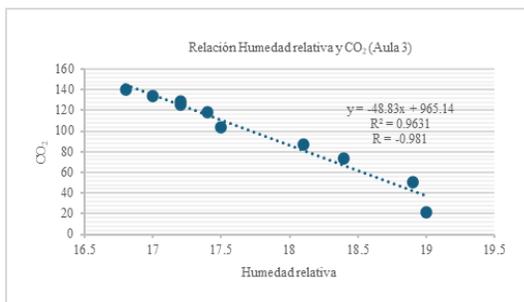


Figura 10 Gráfica de dispersión de relación entre RH% y CO<sub>2</sub> de tercera aula

Por medio de la figura 10 se infiere que las variables de humedad relativa y CO<sub>2</sub> de la tercera aula tienen correlación fuerte negativa, ya que los resultados dieron como valor -0.981.

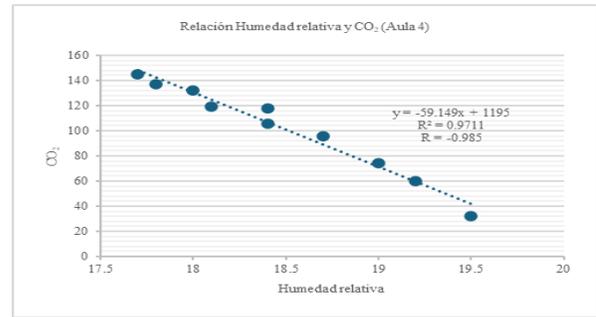


Figura 11 Gráfica de dispersión de relación entre RH% y CO<sub>2</sub> de cuarta aula

Por medio de la figura 11 se infiere que las variables de humedad relativa y CO<sub>2</sub> de la cuarta aula tienen correlación fuerte negativa, ya que los resultados dieron como valor -0.985.

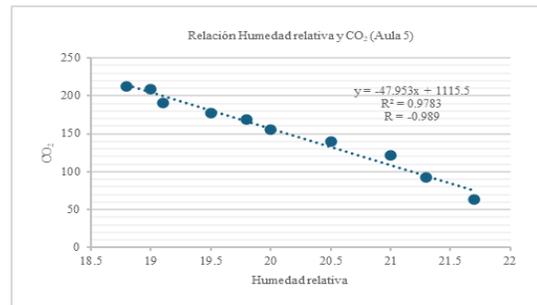


Figura 12 Gráfica de dispersión de relación entre RH% y CO<sub>2</sub> de quinta aula

Por medio de la figura 12 se infiere que las variables de humedad relativa y CO<sub>2</sub> de la quinta aula tienen correlación fuerte negativa, ya que los resultados dieron como valor -0.989.

Mediante la Tabla 10 se muestra el resumen de los coeficientes obtenidos por medio de la correlación humedad relativa y CO<sub>2</sub> para las 5 aulas:

TABLA 10  
RESUMEN DE CORRELACIÓN DE PEARSON ENTRE RH% Y CO<sub>2</sub>

Tabla de correlación de Pearson (RH% y CO <sub>2</sub> )					
Aula	1	2	3	4	5
Valor	-0.99	-0.975	-0.981	-0.985	-0.989

De esta forma, se concluye que existe una correlación entre la humedad relativa y la concentración de CO<sub>2</sub>; que, de forma opuesta a la correlación que existe entre esta última variable y la temperatura, refiere a una correlación fuerte negativa. Esto debido a que, los resultados obtenidos de las aulas monitoreadas arrojan valores de correlación de Pearson oscilantes a -1 como se observa en la tabla resumen adjunta con anterioridad, lo cual indica que las variables analizadas poseen una relación inversa, donde el aumento de una, simboliza la disminución de la otra.

De forma similar, el ambiente sufre alteraciones debido a la ocupación repentina de las aulas a causa del cambio de horario que maneja la institución, haciendo que la humedad

relativa disminuya drásticamente en los primeros minutos y después se establece conforme vaya aumentando la cantidad

de CO<sub>2</sub>, buscando no romper el equilibrio inicial del lugar.

### Relación entre CO<sub>2</sub>, ocupación y apertura de aireación.

La relación de estas tres variables se puede observar en las tablas 11, 12, 13, 14 y 15 adjuntas a continuación:

De acuerdo con las anteriores tablas, la variación en los valores de ocupación y apertura de aireación influyen en el cambio de la concentración de CO<sub>2</sub>, puesto que mientras el porcentaje de ocupación aumenta y la apertura de aireación disminuye como en las tablas 12, 13, 14 y 15, la concentración de CO<sub>2</sub> se incrementa en gran medida en comparación a los otros monitoreos, llegando a valores umbrales mayores a 140 ppm de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, si el porcentaje de ocupación se disminuye y se aumenta la apertura de aireación como en la tabla 11, la concentración de CO<sub>2</sub> umbral disminuye y llega apenas a 100 ppm. Entonces, a partir de dicha información se puede inferir que existe una relación directamente proporcional entre la concentración de CO<sub>2</sub> y el porcentaje de ocupación, ya que se evidencia que mientras uno aumenta el otro también lo hace, contrario a la relación inversamente proporcional que poseen el CO<sub>2</sub> y la apertura de aireación, debido a que se observó que mientras se aumenta la aireación en un salón la concentración de CO<sub>2</sub> disminuye en comparación a otras mediciones

TABLA 11  
RELACIÓN DE CO<sub>2</sub>, OCUPACIÓN Y APERTURA DE AIREACIÓN DE PRIMERA AULA

Muestreo 1		
Umbral (ppm)	Porcentaje de ocupación (%)	Apertura de aireación (%)
15, 27, 46, 67, 85, 89, 91, 92, 101, 103	61	75

TABLA 12  
RELACIÓN DE CO<sub>2</sub>, OCUPACIÓN Y APERTURA DE AIREACIÓN DE SEGUNDA AULA

Muestreo 2		
Umbral (ppm)	Porcentaje de ocupación (%)	Apertura de aireación (%)
55, 92, 111, 136, 147, 156, 160, 165, 171	66	50

TABLA 13  
RELACIÓN DE CO<sub>2</sub>, OCUPACIÓN Y APERTURA DE AIREACIÓN DE TERCERA AULA

Muestreo 3		
Umbral (ppm)	Porcentaje de ocupación (%)	Apertura de aireación (%)
21, 51 74, 87, 104, 118, 126, 129, 134, 140	68	64.29

TABLA 14  
RELACIÓN DE CO<sub>2</sub>, OCUPACIÓN Y APERTURA DE AIREACIÓN DE CUARTA AULA

Muestreo 4		
Umbral (ppm)	Porcentaje de ocupación (%)	Apertura de aireación (%)
32, 60, 74, 96, 106, 118, 119, 132, 137, 145	79	71.43

TABLA 15  
RELACIÓN DE CO<sub>2</sub>, OCUPACIÓN Y APERTURA DE AIREACIÓN DE QUINTA AULA

Muestreo 5		
Umbral (ppm)	Porcentaje de ocupación (%)	Apertura de aireación (%)
63, 93, 121, 140, 155, 169, 177, 191, 209, 213	83	67.86

## IV. DISCUSIÓN

Para la identificación de las condiciones ambientales que inflúan en la concentración de CO<sub>2</sub> presente en las aulas de dictado de clases, se evaluó 15 artículos de investigación de manera detallada, y a través de fichas bibliográficas se halló que en 7 de dichas fuentes se mencionaba que el factor de temperatura era una condición ambiental que inflúa en gran medida en la concentración de CO<sub>2</sub>, llegando incluso a influenciar en la disminución de este último si se manipulaba adecuadamente en un entorno cerrado, como lo menciona según Lovec, Premrov y Leskovar [13]. Asimismo, la humedad fue otro factor recurrente que se determinó por medio de 5 fuentes donde se mencionaba que esta, al igual que la temperatura, tenía una influencia en el cambio de concentración de CO<sub>2</sub> en áreas cerradas; sin embargo, según Krawczyk y Wadolowska [21] esta inflúa de manera inversa. De igual manera, otro factor determinante usado constantemente en 12 de las 15 fuentes evaluadas fue la aireación, de la cual se mencionaba que esta debía ser manejada adecuadamente ya que inflúa en gran medida en el movimiento y renovación del aire de los espacios cerrados como las aulas; según Alonso, Llanos, Escadón y Sendra [6], el uso de medidas de prevención tanto artificiales como naturales ayudan en el control de la aireación disminuyendo en gran medida la concentración de CO<sub>2</sub> en tales espacios. Por último, 4 de las fuentes evaluadas en las fichas bibliográficas determinaron que el factor de ocupación influye en la concentración de CO<sub>2</sub> ya que, según Alegría *et al* [5], mientras un espacio tiende a tener mayor cantidad de ocupantes, la concentración de CO<sub>2</sub> presente en el entorno aumenta con el tiempo, por lo cual es necesario manejar adecuadamente dicho factor. Por ende, a partir de la evaluación de las fichas bibliográficas y sus resultados se demuestra que las variables usadas para la presente investigación son significativas y los resultados determinados anteriormente son consistentes.

Por otra parte, el monitoreo de la concentración de CO<sub>2</sub> se llevó a cabo en una institución educativa secundaria teniendo

en cuenta las 4 condiciones ambientales previamente identificadas, haciendo uso de la metodología brindada por la guía anexada 10 de la R.M. 675-2022-MINSA [22] para el uso de medidores en escuelas que, similar a investigaciones como la de Vide y Rodriguez [15], se realiza la toma de datos tanto antes como durante el dictado de clase, sin modificar las condiciones habituales en las que se impartían y se obtienen valores que no sobrepasan el umbral de CO<sub>2</sub> permitido para la calidad de aire interior en estos ambientes, siendo en este caso 500 ppm. Sin embargo, la investigación hecha por Bohorquez *et al* [10] hace uso de cuatro sensores ubicados en la proximidad de las áreas de ventilación que, contrario a lo estipulado por la norma, debería ser lo más alejado posible de estas áreas para no verse afectada la medición por factores externos, por lo que sus valores obtenidos resultaron ser mayores a 700 ppm. No obstante, la técnica de medición no es errónea, ya que lo que se buscaba principalmente en esta investigación era determinar el tiempo de renovación del aire interior como medida para la reducción de riesgo de contagio. Así mismo, existen otros tipos de metodologías como las expuestas por Barrios [23] y Peng y Jimenez [20], que plantean como buena alternativa para determinar el riesgo de contagio la aplicación de un sistema de ecuaciones y expresiones analíticas, que permitan calcular el umbral permisible de CO<sub>2</sub> para diferentes ambientes y la relación que existe entre la transmisión y la concentración de CO<sub>2</sub>; pese a eso, estos estudios matemáticos no consideran todas las condiciones ambientales consideradas en el presente estudio que influyen en los niveles de este gas. Por ello, la metodología proporcionada por la guía fue adecuada para la aplicación del estudio, por permitir abordar las condiciones ambientales identificadas con relación a la concentración de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, los resultados correlativos de la concentración de CO<sub>2</sub> y las condiciones ambientales del presente trabajo de investigación resultaron óptimos, ya que de acuerdo al procesamiento estadístico de datos en el caso de la temperatura y el CO<sub>2</sub>, se obtuvo una correlación mayor a 0.95 en todas las aulas evaluadas, lo cual demuestra una relación directamente proporcional entre ambas variables dándonos a entender que, para controlar el CO<sub>2</sub> se debe controlar también la temperatura. Dicho resultado es reforzado por Lovec, Premrov y Leskovar [13], ya que estos mencionan que al controlar la temperatura en un área cerrada y disminuirla hasta aproximadamente 26°C, la concentración de CO<sub>2</sub> también disminuye en un 30% aproximadamente, beneficiando a las personas que se desenvuelven en sus interiores. Asimismo, en el caso de correlación entre la humedad relativa y el CO<sub>2</sub> se obtuvieron resultados de correlación mayores a -0.97 en todas las aulas, lo cual demuestra que existe una relación inversamente proporcional entre ambas variables, para lo cual se debe evitar que la humedad relativa decaiga en un área cerrada ya que indicaría que la concentración de CO<sub>2</sub> estaría aumentando. Esto es reforzado por Krawczyk y Wadolowska [21], los cuales afirman en su investigación que durante su estudio, la concentración de CO<sub>2</sub> en un área académica aumentaba con el tiempo sobrepasando los 1000 ppm, mientras que la humedad

relativa disminuía con el tiempo por debajo del 40%, observando una relación inversa entre ambas variables, para lo cual se debía controlar ambos factores a nivel óptimo. Por otro lado, en el caso de la correlación entre el porcentaje de aireación y CO<sub>2</sub> se obtuvo que existe una relación inversamente proporcional entre ambas variables ya que, de acuerdo a los monitoreos, mientras el porcentaje de aireación en un aula era mayor (>75%), la concentración de CO<sub>2</sub> era menor (<104 ppm) lo cual resulta ideal para los ocupantes. Estos resultados se ven reforzados según Bohórquez, Chapa, López, Manrique, Miranda y Caballero [10], dado que mencionan que si el porcentaje de aireación se aumenta cada vez más en un área cerrada, la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> varía entre 300 y 400 ppm, lo cual beneficia en el desarrollo académico. Por último, en el caso de correlación entre la ocupación y el CO<sub>2</sub>, se obtuvo que dichas variables tenían una relación directamente proporcional puesto que, se observó durante el monitoreo que mientras más personas estaban en las aulas mayor era la concentración de CO<sub>2</sub>.

Lo cual es reforzado por Bazant, Kodio, Cohen, Khan, Gu y Bush [8], los cuales afirman que según sus estudios matemáticos (Rin) y datos históricos usados para su investigación, mientras un espacio este más ocupado este tiende a concentrar mayor cantidad de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes, lo cual afecta a los ocupantes y es necesario la implementación de medidas. Por ende, de acuerdo con el análisis estadístico y la comparación con las conclusiones de otros investigadores, se observa que los resultados hallados estadísticamente son consistentes y demuestran de manera veraz y eficaz la correlación existente entre las variables de estudio, como son la concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad relativa, porcentaje de aireación y porcentaje de ocupación.

## V. CONCLUSIONES

- Mediante la revisión de 15 fichas bibliográficas, se logró identificar que las condiciones ambientales que influyen en la concentración de CO<sub>2</sub> son la temperatura, humedad relativa, apertura de aireación y porcentaje de ocupación.
- Los resultados del monitoreo fueron obtenidos por medio de equipos de medición calibrados, que demostraron que el umbral de CO<sub>2</sub> en las 5 aulas evaluadas no excedían los 400 ppm definidos por el anexo 10 de la R.M. 675-2022-MINSA sobre el umbral de ventilación adecuada.
- Hallar la correlación de Pearson de las variables permitió comprender que la temperatura guarda una relación directamente proporcional con el gas; lo cual no sucede con la humedad, ya que se obtuvo que su relación es inversamente proporcional. Así mismo, la variación de este gas se ve estrechamente relacionada con el porcentaje de ocupación y el porcentaje de apertura de aireación de los ambientes, puesto que mantienen de igual forma una relación directa e inversa respectivamente, evidenciando que, por medio del control de estas dos condiciones, se

podrían obtener ambientes con un umbral adecuado para la realización normal de las actividades de dictado.

- El análisis realizado demuestra que, por medio de la identificación de las condiciones ambientales que afectan la concentración de CO<sub>2</sub>, tales como: la temperatura, humedad relativa, apertura de aireación y porcentaje de ocupación; permitieron la realización del monitoreo basado en la normativa vigente peruana que, finalmente, facilitó determinar la correlación entre las variables, obteniendo que tanto la temperatura como el porcentaje de ocupación muestran una relación directamente proporcional, mientras que la humedad relativa y el porcentaje de apertura de aireación tienen una relación inversamente proporcional. Por ello, se sugiere un control adecuado de estas condiciones para facilitar un ambiente saludable para los estudiantes y docentes durante la realización de sus actividades académicas.

#### REFERENCIAS

- [1] M. Cascales Monreal, "Determinación del Síndrome del Edificio Enfermo," 2009, Accessed: May 18, 2024. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10272/4846>
- [2] "Guía de Calidad del Aire Interior."
- [3] D. Rodríguez, I. R. Urbieto, Á. Velasco, M. Á. Campano-Laborda, and E. Jiménez, "Assessment of indoor air quality and risk of COVID-19 infection in Spanish secondary school and university classrooms," *Build Environ*, vol. 226, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109717.
- [4] J. M. Rey-Hernández, Y. Arroyo-Gómez, J. F. San José-Alonso, and F. J. Rey-Martínez, "Assessment of natural ventilation strategy to decrease the risk of COVID 19 infection at a rural elementary school," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18271.
- [5] Alegría-Sala et al., "THE IMPACT OF COVID-19 VENTILATION REQUIREMENTS ON THE TEMPERATURE AND AIR QUALITY IN UNIVERSITY CLASSROOMS," 2022.
- [6] A. Alonso, J. Llanos, R. Escandón, and J. J. Sendra, "Effects of the covid-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort of primary schools in winter in a mediterranean climate," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 5, pp. 1–17, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13052699.
- [7] A. C. Sandoval Dueñas, "Análisis del nivel del material particulado (PM2.5) y CO<sub>2</sub> en una institución de educación superior como parte de la estrategia de regreso seguro ante la COVID-19," 2021.
- [8] M. Z. Bazant, O. Kodio, A. E. Cohen, K. Khan, Z. Gu, and J. W. M. Bush, "Monitoring carbon dioxide to quantify the risk of indoor airborne transmission of COVID-19," *Flow*, vol. 1, Oct. 2021, doi: 10.1017/flo.2021.10.
- [9] M. Z. Bazant and J. W. M. Bush, "A guideline to limit indoor airborne transmission of COVID-19," 2021, doi: 10.1073/pnas.2018995118/-/DCSupplemental.y.
- [10] M. C. Bohorquez, J. L. Chapa, D. López, M. A. Manrique, C. Miranda, and R. Tendero Caballero, "Use of filters and special materials in classrooms, based on the assessment of the presence of CO<sub>2</sub> as an indicator of Covid reduction and control in closed spaces = Uso de filtros y materiales especiales en aulas, basado en la evaluación de presencia de CO<sub>2</sub> como indicador de reducción y control de Covid en espacios cerrados," *Building & Management*, vol. 5, no. 3, p. 51, Oct. 2021, doi: 10.20868/bma.2021.3.4714.
- [11] J. Franquelo Soler, E. B. Blázquez Parra, O. De Cozar Macias, M. D. Marin Granados, and F. J. Soto Villaran, "NATURALLY VENTILATED CLASSROOMS: CO<sub>2</sub> AND COVID PROTECTION," *DYNA ENERGIA Y SOSTENIBILIDAD*, vol. 11, no. 1, p. [12]-[12], Feb. 2022, doi: 10.6036/es10341.
- [12] J. M. Rey Hernández, Y. Arroyo Gómez, J. F. San José Alonso, and F. J. Rey Martínez, "Assessment of natural ventilation strategy to decrease the risk of COVID 19 infection at a rural elementary school," *Heliyon*, vol. 9, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e18271.
- [13] V. Lovce, M. Premrov, and V. Ž. Leskovar, "Practical impact of the covid-19 pandemic on indoor air quality and thermal comfort in kindergartens. A case study of slovenia," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 18, Sep. 2021, doi: 10.3390/ijerph18189712.
- [14] X. Zhang, C. Zhao, T. Zhang, J. Xie, J. Liu, and N. Zhang, "Association of indoor temperature and air quality in classrooms based on field and intervention measurements," *Build Environ*, vol. 229, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109925.
- [15] M. Videa Galo and N. Rodríguez Corea, "Evaluación de medidas para reducir la transmisión de COVID-19 en espacios cerrados, Tegucigalpa, Honduras," *Rev Med Hondur*, vol. 91, no. 2, pp. 94–99, Dec. 2023, doi: 10.5377/rmh.v91i2.16614.
- [16] W. Schade, V. Reimer, M. Seipenbusch, and U. Willer, "Experimental investigation of aerosol and CO<sub>2</sub> dispersion for evaluation of covid-19 infection risk in a concert hall," *Int J Environ Res Public Health*, vol. 18, no. 6, pp. 1–11, Mar. 2021, doi: 10.3390/ijerph18063037.
- [17] F. Velarde, R. Rubí, R. Mamani-Paco, and M. Andrade-Flores, "ESTIMATION OF THE PROBABILITY OF CONTAGION OF COVID-19 BY AEROSOLS IN CLOSED ENVIRONMENTS: APPLICATIONS TO CASES IN THE CITY OF LA PAZ, BOLIVIA," vol. 37, pp. 22–30, 2020, [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/transmi>
- [18] R. Carlos Vera, H. Chirveches Salguero, A. Veizaga Valencia, and G. Reynaga Marín, "Monitoreo en el nivel de concentración de aerosoles en ambientes académicos para evitar el contagio del COVID-19 en la Ciudad de Potosí, Bolivia," *Revista Ciencia & Sociedad*, 2(2), 95-110, 2022, [Online]. Available: <https://orcid.org/000-0002-3335-9832>
- [19] N. Mahyuddin and E. A. Essah, "Spatial distribution of CO<sub>2</sub> Impact on the indoor air quality of classrooms within a University," *Journal of Building Engineering*, vol. 89, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2024.109246.
- [20] Z. Peng and J. L. Jimenez, "Exhaled CO<sub>2</sub> as COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities."
- [21] D. A. Krawczyk and B. Wadolowska, "Analysis of indoor air parameters in an education building," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2018, pp. 96–103. doi: 10.1016/j.egypro.2018.07.038.
- [22] Ministerio de Salud, Resolución Ministerial N.º 675-2022-MINSA. Perú, 2022.
- [23] D. A. Quiroga Barrios, "Implementación de una red inalámbrica de sensores de CO<sub>2</sub> usando IoT como sistema de alerta ante una ventilación deficiente frente al Covid-19 en aulas de clase," 2023.