



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

**ANÁLISIS DE CONTAMINANTES
ATMOSFÉRICOS COMO INDICADORES DE LA
CALIDAD DEL AIRE EN COMERCIOS DE
INSUMOS QUÍMICOS AGRÍCOLAS EN EL
CANTÓN QUEVEDO, ECUADOR**

**ANALYSIS OF ATMOSPHERIC POLLUTANTS AS INDICATORS
OF AIR QUALITY IN AGRICULTURAL CHEMICAL INPUT
STORES IN THE QUEVEDO CANTON, ECUADOR**

Johanna Lilibeth Ramírez Ruiz

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Mishel Estefania Bustos Fonseca

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jessica Alexandra Gomez Moyano

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Bismarck Nicolay Jimenez Cazar

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rm.v8i5.13552

Análisis de Contaminantes Atmosféricos como Indicadores de la Calidad del Aire en Comercios de Insumos Químicos Agrícolas en el Cantón Quevedo, Ecuador

Johanna Lilibeth Ramírez Ruiz¹johanna.rami30@gmail.com<https://orcid.org/0009-0006-1612-9740>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Mishel Estefania Bustos Fonsecafonsecatefy@gmail.com<https://orcid.org/0009-0000-2509-0901>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Jessica Alexandra Gomez Moyanojessicagomezmoiano@gmail.com<https://orcid.org/0009-0005-1431-0020>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Bismarck Nicolay Jimenez Cazarsolrobi1@gmail.com<https://orcid.org/0000-0003-3470-1414>

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

RESUMEN

El monitoreo de la calidad del aire en entornos comerciales es fundamental para garantizar la salud pública, especialmente en zonas con alta actividad industrial y comercial. Este estudio tuvo como objetivo general analizar las concentraciones de contaminantes criterio como indicador de la calidad del aire en establecimientos comerciales de productos químicos industriales en el cantón Quevedo, Ecuador. Se realizó un estudio cuantitativo no experimental, de tipo transversal, utilizando el software InfoStat para procesar los datos. Las concentraciones de monóxido de carbono (CO), material particulado fino (PM_{2.5}), material particulado grueso (PM₁₀), y formaldehído (HCHO) fueron medidas durante seis semanas, en tres horarios diarios, tanto en la parroquia San Camilo como en el centro de Quevedo. Para el análisis estadístico, se empleó el ANOVA y la prueba de Tukey cuando los datos presentaron una distribución normal, y el test de Kruskal-Wallis para los datos con distribución no normal. Los resultados indicaron que las concentraciones de CO, PM_{2.5}, PM₁₀ y HCHO excedieron los límites permisibles establecidos por el Índice de Calidad del Aire (ICA), clasificándose en su mayoría como peligrosas para la salud. Esto fue más evidente durante las horas de mayor actividad comercial en ambos sectores. En conclusión, la investigación confirma que la calidad del aire en estos establecimientos representa un riesgo significativo para la salud pública, lo que subraya la necesidad de implementar medidas de control más estrictas y políticas en Quevedo y sus zonas de influencia.

Palabras Clave: contaminantes, calidad del aire, concentraciones, insumos químicos

¹ Autor Principal

Correspondencia: johanna.rami30@gmail.com

Analysis of Atmospheric Pollutants as Indicators of Air Quality in Agricultural Chemical Input Stores in the Quevedo Canton, Ecuador

ABSTRACT

Air quality monitoring in commercial environments is essential to ensure public health, especially in areas with high industrial and commercial activity. The general objective of this study was to analyze the concentrations of criteria pollutants as an indicator of air quality in commercial establishments of industrial chemical products in the Quevedo canton, Ecuador. A non-experimental, quantitative, cross-sectional study was conducted, using InfoStat software to process the data. Concentrations of carbon monoxide (CO), fine particulate matter (PM_{2.5}), coarse particulate matter (PM₁₀), and formaldehyde (HCHO) were measured for six weeks, at three daily times, both in the San Camilo parish and in downtown Quevedo. For statistical analysis, ANOVA and the Tukey test were used when the data presented a normal distribution, and the Kruskal-Wallis test for data with a non-normal distribution. The results indicated that concentrations of CO, PM_{2.5}, PM₁₀ and HCHO exceeded the permissible limits established by the Air Quality Index (AQI), mostly classified as hazardous to health. This was most evident during peak business hours in both sectors. In conclusion, the research confirms that air quality in these establishments represents a significant risk to public health, underlining the need to implement stricter control measures and policies in Quevedo and its areas of influence.

Keywords: pollutants, air quality, concentrations, chemical inputs

*Artículo recibido 16 agosto 2024
Aceptado para publicación: 19 septiembre 2024*



INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la contaminación del aire es un problema creciente que afecta la salud y el bienestar de millones de personas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor del 91% de la población mundial vive en lugares donde la calidad del aire supera los límites recomendados por esta entidad (OMS, 2017). La exposición prolongada a contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO), las partículas finas (PM_{2.5}), y otros compuestos tóxicos como el formaldehído, ha sido vinculada con un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares (OMS, 2018). En 2021, la contaminación del aire fue responsable de 4.2 millones de muertes prematuras en todo el mundo, lo que subraya la importancia de monitorear y reducir los niveles de estos contaminantes. En Ecuador, la contaminación del aire también ha tomado relevancia en diversas regiones, especialmente en áreas urbanas y comerciales. Estudios realizados por el Ministerio del Ambiente de Ecuador en 2020 revelaron que, en ciudades como Quito y Guayaquil, los niveles de material particulado (PM₁₀) exceden los límites permisibles en hasta un 35% de los días del año (López y Piñón, 2023). En la provincia de Los Ríos, donde se encuentra el cantón Quevedo, el crecimiento de actividades comerciales y agrícolas ha generado una preocupación creciente sobre la calidad del aire (Moreira, 2018). Esto ha llevado a que se realicen estudios locales para medir las concentraciones de contaminantes en zonas de alta actividad comercial, como los establecimientos de productos químicos industriales.

El problema radica en que la exposición continua a altos niveles de contaminantes atmosféricos en estos entornos comerciales puede afectar gravemente la salud de la población. Flores et al., (2023) señalan que la exposición prolongada a partículas finas está directamente relacionada con un aumento en la mortalidad por enfermedades respiratorias. Guerra y Torres (2022) encontraron que el material particulado grueso también puede exacerbar enfermedades respiratorias crónicas. Asimismo, Granada et al., (2014) indican que el formaldehído, presente en estos entornos, puede causar irritación y aumentar el riesgo de cáncer a largo plazo. Estos estudios refuerzan la necesidad de un monitoreo riguroso y constante de la calidad del aire en áreas comerciales, especialmente aquellas que manejan productos químicos.



El estado del arte en el análisis de la calidad del aire ha evolucionado considerablemente en los últimos años. Sellers (2017) explican que el desarrollo de equipos más precisos para la medición de partículas y gases ha permitido obtener datos más fiables sobre la contaminación en diversas áreas. Por otro lado, Bermejo et al., (2022) menciona que el uso de índices como el Índice de Calidad del Aire (ICA) facilita la interpretación de estos datos, proporcionando una clasificación clara de los niveles de contaminación. Represa (2020) subraya la importancia de implementar políticas públicas basadas en estos análisis para mejorar la calidad del aire en entornos urbanos. Finalmente, Magan et al., (2022) destacan el papel de la tecnología en el desarrollo de soluciones sostenibles para reducir la contaminación en áreas comerciales.

El fin de esta investigación es gestionar los insumos químicos industriales y evaluar su impacto en la seguridad y calidad ambiental en el cantón Quevedo, Ecuador. Específicamente, se busca analizar las concentraciones de contaminantes criterio como indicador de la calidad del aire en establecimientos comerciales de productos químicos industriales en el cantón. Esto permitió identificar los niveles de contaminación y su relación con los riesgos para la salud pública, ofreciendo bases sólidas para proponer estrategias de mitigación que garanticen ambientes más seguros para los trabajadores y clientes.

La relevancia social, económica y ambiental de esta investigación es indiscutible. En el ámbito social, garantizar una mejor calidad del aire contribuirá a la reducción de enfermedades respiratorias y mejorará la calidad de vida de los habitantes del cantón. Desde una perspectiva económica, la implementación de medidas que reduzcan la contaminación puede generar ahorros significativos en los costos asociados con el tratamiento de enfermedades derivadas de la exposición a contaminantes. Finalmente, desde el punto de vista ambiental, este estudio promueve prácticas comerciales más sostenibles, reduciendo la huella ecológica de los establecimientos que manejan productos químicos en la zona de Quevedo y áreas de influencia.

METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó en el cantón Quevedo, ubicado en la provincia de los Ríos. El clima varía entre el cálido seco y cálido húmedo y la temperatura promedio es de 25 °C. Es un territorio en el que las precipitaciones son abundantes y suelen producirse entre diciembre y mayo (PDOT 2019). La figura 1 muestra la ubicación geográfica de los dos lugares comerciales de productos químicos

industriales objeto de estudio. Uno de estos establecimientos se localiza en la parroquia San Camilo, el segundo local se encuentra en el área comercial del cantón Quevedo.

Figura 1. Zona de localización



Nota: elaboración propia mediante ArcGIS, 2024.

Tipo de Investigación

Se utilizó un enfoque cuantitativo para analizar las concentraciones de contaminantes atmosféricos en establecimientos comerciales de productos químicos industriales en el cantón Quevedo, Ecuador. Se centró en la recopilación y análisis de datos numéricos de manera sistemática, lo que permitió evaluar la calidad del aire en términos de monóxido de carbono (CO), partículas finas (PM_{2.5}) y partículas gruesas (PM₁₀), entre otros contaminantes. Este enfoque permitió una comprensión detallada de los niveles de contaminación y su variación a lo largo del tiempo, respaldada por herramientas de análisis estadístico como ANOVA, que facilitaron la identificación de diferencias significativas entre los días y horarios de muestreo.

Modalidad de Investigación

La modalidad de la investigación fue de campo, se recolectaron datos directamente en los sitios seleccionados, utilizando equipos especializados para la medición de contaminantes. El diseño de la investigación fue no experimental y transversal, lo que implica que las mediciones se realizaron sin manipular las variables de estudio y en un período determinado de seis semanas. De acuerdo con Guevara et al., (2020) este tipo de diseño es ideal para estudios observacionales en los que se busca describir el estado actual de una situación o fenómeno sin influir en las condiciones existentes

Población y Muestra

En la ciudad de Quevedo, se identificaron siete establecimientos comerciales dedicados a la venta de productos químicos, distribuidos en áreas como el centro y la parroquia San Camilo. Para este estudio, se seleccionaron dos locales mediante un muestreo por conveniencia: Químicos la Fórmula, ubicado en la parroquia San Camilo, y otro establecimiento de la misma cadena en el centro de la ciudad. Aunque algunos comercios no participaron debido a políticas internas o preocupaciones de seguridad, la información obtenida de los dos locales seleccionados proporciona una base sólida para analizar la gestión de insumos químicos y su impacto en la seguridad y el ambiente en el cantón Quevedo.

Proceso metodológico de la investigación

El análisis de las concentraciones de contaminantes como indicador de la calidad del aire en establecimientos comerciales de productos químicos industriales en Quevedo, Ecuador, se centró en la medición de partículas finas (PM_{2.5}), partículas gruesas (PM₁₀), monóxido de carbono (CO), y otros contaminantes. Estas mediciones se realizaron durante seis semanas, entre noviembre de 2023 y enero de 2024, en tres intervalos diarios (mañana, tarde y noche). Los niveles de concentración fueron evaluados conforme a estándares internacionales, como los establecidos por la EPA en el Código de Regulaciones Federales (40 CFR), utilizando equipos especializados que permitieron obtener datos precisos sobre la calidad del aire.

Los procedimientos de medición siguieron métodos rigurosos reconocidos internacionalmente. Se utilizaron equipos como el muestreador de alto y bajo caudal para las partículas y un analizador infrarrojo no dispersivo para el monóxido de carbono. Estos dispositivos cumplen con los métodos de referencia establecidos, garantizando la fiabilidad de los datos obtenidos. A través de este análisis, fue posible identificar la calidad del aire en los establecimientos evaluados, proporcionando información clave para evaluar posibles impactos en la salud.

Se utilizó el índice de calidad del aire (ICA), mismo que es un valor adimensional que se asocia con un código de colores para indicar el estado de la calidad del aire y su impacto en la salud de la población (Coelli et al., 2023). Este índice se utiliza tanto para evaluar la calidad del aire actual como para predecirla en el futuro. El ICA se calcula en función de seis contaminantes clave, incluidos el monóxido

de carbono (CO), el material particulado fino (PM2.5) y el material particulado grueso (PM10), tomando en cuenta intervalos de exposición que van de una hora a 24 horas

La tabla 1 presenta los límites permitidos de los contaminantes CO, PM2.5 y PM10 según el ICA, dividido en seis niveles que van desde "buena" hasta "peligrosa". Este índice fue empleado para comparar las concentraciones de los contaminantes registrados en establecimientos comerciales de productos químicos y analizar el impacto en la salud de las personas expuestas.

Tabla 1. Límites permitidos de los contaminantes criterio del ICA

ICA	Color	Clasificación	PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (24 h)	PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (24 h)	CO (ppm) (8 h)
0-50	Verde	Buena	0-12 (24 h)	0-54 (24 h)	0,0-4,4 (8 h)
51-100	Amarillo	Moderada	12,1-35,4 (24 h)	55-154 (24 h)	4,5-9,4 (8 h)
101-150	Anaranjado	Dañina para la salud/grupos sensibles	35,5-55,4 (24 h)	155-254 (24 h)	9,5-12,4 (8 h)
151-200	Rojo	Dañina para la salud	55,5-150,4 (24 h)	255-354 (24 h)	12,5-15,4 (8 h)
201-300	Morado	Muy dañina para la salud	150,5-250,4 (24 h)	355-424 (24 h)	15,5-30,4 (8 h)
301-500	Marrón	Peligrosa	250,5-350,4 (24 h)	425-504 (24 h)	30,5-40,4 (8 h)

Fuente: (EPA 2016).

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos relacionados con la calidad del aire se utilizó el software InfoStat. Se analizaron las concentraciones de los contaminantes para verificar la existencia de diferencias significativas entre los días de la semana y los horarios de medición. En primer lugar, se realizó una prueba de normalidad para evaluar la distribución de las concentraciones. En los casos donde los resultados mostraron una distribución anormal, se aplicó un análisis no paramétrico de la varianza mediante el test de Kruskal-Wallis. Si los datos presentaban una distribución normal, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA), seguido de un test de Tukey con un nivel de significancia del 0.05, para identificar diferencias estadísticamente significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan las concentraciones de contaminantes atmosféricos medidos en dos ubicaciones comerciales de productos químicos industriales en el cantón Quevedo. Los datos recopilados a lo largo de varias semanas incluyen contaminantes clave: monóxido de carbono (CO),

material particulado fino (PM 2.5), material particulado grueso (PM 10), y formaldehído (HCHO), considerados indicadores críticos de la calidad del aire.

Evaluación de la Calidad del Aire en la parroquia San Camilo

Durante la primera semana, las concentraciones de CO alcanzaron un pico de 739 ppm, claramente dentro de la categoría de peligrosa según los límites del ICA (30,5-40,4 ppm para CO en 8 horas). El análisis ANOVA indicó diferencias significativas entre los distintos días y momentos del día ($p < 0.05$), con picos elevados durante la tarde, lo que sugiere que la actividad comercial y el tráfico contribuyen al aumento de este contaminante. Oduber (2022) enfatizan que la exposición prolongada al monóxido de carbono a niveles elevados está asociada con mayores riesgos de eventos cardiovasculares. Además, las concentraciones de PM 2.5 alcanzaron un alarmante 12,697 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mucho más allá de los límites establecidos, lo que también coincide con la categoría de peligrosa. Flores et al., (2023) demostraron que el material particulado fino afecta negativamente la función pulmonar y está relacionado con un aumento en la mortalidad por causas respiratorias. El PM 10 también mostró niveles peligrosos, con 19,973 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, apoyando las conclusiones de Magan et al., (2022), quienes señalaron que el material particulado grueso está directamente asociado con el empeoramiento de condiciones respiratorias, especialmente en poblaciones sensibles. El formaldehído (HCHO), con un máximo de 1,85200 ppm, también excede los límites seguros. Sellers (2017) sugiere que la exposición prolongada a formaldehído puede causar irritación ocular y respiratoria, además de aumentar el riesgo de cáncer a largo plazo.

Tabla 2. Semana 1: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	739 ppm	Lunes (tarde)	515 ppm	Miércoles (mañana)
PM 2.5	12,697 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	3,013 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)
PM 10	19,973 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	4,360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)
HCHO	1.85200 ppm	Martes (mañana)	0.010 ppm	Miércoles (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la segunda semana, el análisis ANOVA continuó mostrando diferencias significativas entre los días y horarios ($p < 0.05$), con concentraciones máximas de CO de 708 ppm, todavía dentro de la categoría de peligrosa según los límites del ICA. Los niveles de PM 2.5 alcanzaron los 6,607 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que PM 10 registró 9,977 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos dentro de la categoría de peligrosa. Las pruebas ANOVA también demostraron una variación significativa en la distribución de estos contaminantes a lo largo de la semana

($p < 0.05$), lo que refleja la influencia directa de las actividades comerciales sobre la calidad del aire en el local. El formaldehído mostró una ligera disminución a 0.01852 ppm, pero todavía representa un riesgo moderado según Sellers (2017).

Tabla 3. Semana 2: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	708 ppm	Jueves (noche)	495 ppm	Miércoles (mañana)
PM 2.5	6,607 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (noche)	3,011 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
PM 10	9,977 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	4,358 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Miércoles (mañana)
HCHO	0.01852 ppm	Jueves (mañana)	0.006 ppm	Miércoles (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

Durante la tercera semana, los resultados del ANOVA mostraron que, aunque las concentraciones de CO disminuyeron a 626 ppm, todavía presentaban variaciones significativas a lo largo del día ($p < 0.05$). El PM 2.5 se mantuvo elevado, con 5,603 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el PM 10 registró 8,387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos dentro de la clasificación de peligrosa. El análisis ANOVA indicó que tanto el PM 2.5 como el PM 10 presentaron diferencias significativas entre los días ($p < 0.05$), lo que sugiere que las condiciones específicas de la semana afectaron los niveles de material particulado. El formaldehído también mostró concentraciones preocupantes, con un máximo de 0.71540 ppm, lo que coincide con estudios como los de Oduber (2022) que advierten sobre los efectos a largo plazo de la exposición acumulativa.

Tabla 4. Semana 3: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	626 ppm	Lunes (noche)	516 ppm	Jueves (mañana)
PM 2.5	5,603 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (tarde)	3,009 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
PM 10	8,387 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (tarde)	4,360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
HCHO	0.71540 ppm	Miércoles (mañana)	0.017 ppm	Miércoles (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la cuarta semana, el análisis ANOVA nuevamente reveló diferencias significativas en las concentraciones de CO y material particulado ($p < 0.05$), con el CO alcanzando un máximo de 715 ppm. Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 también mostraron picos significativos de 7,680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 11,510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, lo que los sitúa dentro de la categoría de peligrosa. Estos valores son consistentes con estudios de Flores et al., (2023) que indican que la exposición a estos niveles de material particulado puede aumentar el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias crónicas. El formaldehído se redujo a 0.38600 ppm, pero el ANOVA confirmó que las variaciones entre los días de

la semana fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$), sugiriendo que las actividades comerciales y las condiciones ambientales siguen influyendo en los niveles de este contaminante.

Tabla 5. Semana 4: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	715 ppm	Lunes (noche)	516 ppm	Miércoles (mañana)
PM 2.5	7,680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (noche)	4,010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
PM 10	11,510 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (noche)	5,010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
HCHO	0.38600 ppm	Lunes (mañana)	0.009 ppm	Viernes (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la quinta semana, el CO volvió a aumentar a 738 ppm, y el análisis ANOVA mostró que las concentraciones no variaron significativamente entre los distintos momentos del día, manteniéndose en niveles uniformemente peligrosos ($p > 0.05$). Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 también se mantuvieron en niveles peligrosos, con 5,193 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 7,950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Aunque el formaldehído mostró una ligera reducción a 0.012 ppm, sigue representando un riesgo considerable, según estudios de Represa (2020).

Tabla 6. Semana 5: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	738 ppm	Lunes (noche)	495 ppm	Jueves (mañana)
PM 2.5	5,193 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)	3,200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)
PM 10	7,950 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	4,810 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Miércoles (mañana)
HCHO	0.012 ppm	Jueves (mañana)	0.005 ppm	Miércoles (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

Finalmente, en la sexta semana, el análisis ANOVA mostró una reducción significativa en las concentraciones de CO ($p < 0.05$), que alcanzaron un máximo de 681 ppm, aunque todavía dentro de la categoría de peligrosa. Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 también disminuyeron ligeramente, pero se mantuvieron en niveles peligrosos, con 6,047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 9,017 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. El formaldehído mostró un pico de 0.71540 ppm, lo que sigue siendo un riesgo para la salud a largo plazo según estudios como los de Flores et al., (2023).

Tabla 7. Semana 6: Concentraciones en San Camilo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	681 ppm	Lunes (noche)	520 ppm	Miércoles (mañana)
PM 2.5	6,047 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	3,400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)
PM 10	9,017 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (noche)	5,030 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (mañana)
HCHO	0.71540 ppm	Martes (mañana)	0.017 ppm	Miércoles (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

Evaluación de la Calidad del Aire en el Centro Comercial de Quevedo

Durante la primera semana, el monóxido de carbono (CO) alcanzó un máximo de 571 ppm en la tarde del martes, una cifra que excede los límites permisibles establecidos por el ICA (40.4 ppm para 8 horas) y clasifica este nivel como peligroso. El análisis ANOVA indicó que había diferencias significativas entre los distintos momentos del día ($p < 0.05$), lo que sugiere que las actividades comerciales influyeron en el aumento de las concentraciones. Según Guerra y Torres (2022), la exposición a estos niveles de CO puede afectar gravemente la salud cardiovascular. Además, las concentraciones de PM 2.5 alcanzaron $6,543 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que clasifica esta medición como peligrosa, coincidiendo con los estudios de Pacho y Gavilan (2020), quienes mencionan que el material particulado fino está relacionado con un aumento en la mortalidad por enfermedades respiratorias. El PM 10, con un valor máximo de $9,830 \mu\text{g}/\text{m}^3$, también es preocupante. Granada et al., (2014) señalan que la exposición prolongada a partículas gruesas puede incrementar la prevalencia de enfermedades respiratorias crónicas. En cuanto al formaldehído, aunque las concentraciones fueron relativamente bajas (0.005 ppm), sigue siendo un compuesto tóxico que puede tener efectos adversos en la salud a largo plazo, como lo explica Ortiz et al., (2018).

Tabla 8. Semana 1: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	571 ppm	Martes (tarde)	495 ppm	Jueves (noche)
PM 2.5	$6,543 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (mañana)	$2,640 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (tarde)
PM 10	$9,830 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (mañana)	$3,783 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
HCHO	0.005 ppm	Lunes (mañana)	0.003 ppm	Viernes (tarde)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la segunda semana, el ANOVA mostró diferencias significativas en las concentraciones de CO entre distintos momentos del día ($p < 0.05$), con un máximo de 636 ppm, lo que sigue siendo peligroso para la salud. Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 se mantuvieron altas, con valores de $4,980 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $7,437 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Estas concentraciones de material particulado se asocian, según Rosso et al., (2022), con un aumento en las tasas de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como con un aumento en la mortalidad prematura. El formaldehído presentó una concentración máxima de 0.010 ppm, lo que, aunque no es extremadamente alto, sigue siendo un riesgo para la salud, especialmente en espacios cerrados, como lo afirman Oduber (2022).

Tabla 9. Semana 2: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	636 ppm	Lunes (tarde)	495 ppm	Viernes (noche)
PM 2.5	4,980 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (noche)	2,310 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Miércoles (mañana)
PM 10	7,437 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Lunes (mañana)	4,010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
HCHO	0.010 ppm	Jueves (mañana)	0.005 ppm	Martes (noche)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

Durante la tercera semana, las concentraciones de CO disminuyeron a 567 ppm, aunque el ANOVA continuó mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los días, lo que indica que el tráfico y la actividad comercial siguen siendo factores importantes en la contaminación. Las concentraciones de PM 2.5 alcanzaron 12,567 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, y el PM 10 llegó a 19,373 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos valores clasificados como peligrosos según el ICA. Oduber (2022) advierten que la exposición continua a estos niveles de partículas puede provocar la aparición de enfermedades pulmonares crónicas y agravar condiciones como el asma. El formaldehído, con un máximo de 0.035 ppm, continúa representando un riesgo, dado que Flores et al., (2023) mencionan que incluso exposiciones a niveles bajos pueden tener efectos acumulativos en la salud respiratoria.

Tabla 10. Semana 3: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/ $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	567 ppm	Lunes (tarde)	515 ppm	Jueves (mañana)
PM 2.5	12,567 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	4,010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Miércoles (noche)
PM 10	19,373 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	8,010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)
HCHO	0.035 ppm	Martes (mañana)	0.011 ppm	Viernes (noche)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la cuarta semana, el ANOVA reveló diferencias significativas en las concentraciones de CO y material particulado ($p < 0.05$), con un máximo de 558 ppm. Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 alcanzaron 4,297 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 6,320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Estos niveles, aunque más bajos que en semanas anteriores, siguen clasificándose como dañinos para la salud según el ICA. Guerra y Torres (2022) concluyeron que la exposición continua a material particulado se asocia con un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias crónicas. El formaldehído mostró una concentración máxima de 0.049 ppm, lo que refuerza la necesidad de controlar su emisión en espacios comerciales, como sugieren Pacho

y Gavilan (2020), quienes encontraron que la exposición prolongada a formaldehído puede estar relacionada con un aumento en los casos de asma.

Tabla 11. Semana 4: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	558 ppm	Viernes (mañana)	510 ppm	Miércoles (noche)
PM 2.5	4,297 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	2,100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (noche)
PM 10	6,320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	3,783 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
HCHO	0.049 ppm	Miércoles (tarde)	0.010 ppm	Lunes (mañana)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

En la quinta semana, las concentraciones de CO aumentaron nuevamente a 589 ppm, y el análisis ANOVA no mostró variaciones significativas entre los distintos momentos del día ($p > 0.05$). Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10 aumentaron drásticamente, con valores máximos de 21,883 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 34,363 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, ambos muy por encima de los límites permisibles y clasificados como peligrosos. Según Ortiz et al., (2018), la exposición crónica a estos niveles de material particulado puede tener graves consecuencias para la salud, incluyendo el desarrollo de enfermedades respiratorias crónicas y el aumento en la mortalidad por causas cardiovasculares. El formaldehído mostró una concentración máxima de 0.016 ppm, lo que sigue siendo un riesgo en espacios con poca ventilación, como indica Granada et al., (2014).

Tabla 12. Semana 5: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	589 ppm	Jueves (mañana)	530 ppm	Viernes (tarde)
PM 2.5	21,883 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)	13,622 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
PM 10	34,363 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jueves (mañana)	21,306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Miércoles (mañana)
HCHO	0.016 ppm	Jueves (mañana)	0.010 ppm	Miércoles (noche)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

Finalmente, en la sexta semana, el ANOVA mostró una disminución significativa en las concentraciones de CO ($p < 0.05$), que alcanzaron un máximo de 699 ppm, lo que sigue siendo peligroso según los límites

del ICA. Las concentraciones de PM 2.5 y PM 10, aunque más bajas que en semanas anteriores, se mantuvieron en niveles peligrosos, con 11,073 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 17,107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Pacho y Gavilan (2020) destacan que la exposición prolongada a material particulado, especialmente a niveles tan elevados, puede aumentar significativamente el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. El formaldehído presentó un pico de 0.049 ppm, lo que refuerza las advertencias de Granada et al., (2014) sobre los riesgos de exposición prolongada incluso a concentraciones moderadas.

Tabla 13. Semana 6: Concentraciones en el Centro Comercial de Quevedo

Contaminante	Máximo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora	Mínimo (ppm/$\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Día y Hora
CO	699 ppm	Miércoles (mañana)	520 ppm	Viernes (tarde)
PM 2.5	11,073 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	8,598 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
PM 10	17,107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Martes (mañana)	13,160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Viernes (noche)
HCHO	0.049 ppm	Miércoles (tarde)	0.010 ppm	Lunes (mañana)

Nota. Datos obtenidos mediante monitoreo ambiental In-Situ.

CONCLUSIONES

El análisis de la calidad del aire en la parroquia San Camilo mostró concentraciones peligrosamente altas de monóxido de carbono (CO), material particulado fino (PM2.5), material particulado grueso (PM10) y formaldehído (HCHO), especialmente durante los momentos de mayor actividad comercial.

A lo largo de las semanas evaluadas, los niveles de estos contaminantes excedieron consistentemente los límites permisibles establecidos por el Índice de Calidad del Aire (ICA), lo que pone en riesgo la salud de los trabajadores y clientes que frecuentan los establecimientos comerciales de la parroquia.

En el centro de la ciudad de Quevedo, las concentraciones de contaminantes atmosféricos, incluidos CO, PM2.5, PM10 y HCHO, también alcanzaron niveles peligrosos, particularmente durante las horas pico de actividad comercial. Las mediciones revelaron que las concentraciones de estos contaminantes excedieron los límites recomendados y se clasificaron como "peligrosas" según el ICA. Este nivel de exposición puede tener efectos graves en la salud respiratoria y general de la población expuesta, destacando la necesidad urgente de implementar medidas de control y reducción de emisiones.

La investigación demostró que tanto en la parroquia San Camilo como en el centro de Quevedo, la calidad del aire se ve comprometida debido a las actividades comerciales relacionadas con productos químicos industriales. Las concentraciones elevadas de CO, PM2.5, PM10 y HCHO representan un riesgo significativo para la salud pública, lo que subraya la importancia de adoptar políticas ambientales más estrictas que regulen la emisión de estos contaminantes. La implementación de tecnologías de monitoreo y estrategias de mitigación es esencial para garantizar un ambiente más saludable y seguro para los habitantes de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermejo-Bermejo, V., Rabago, I., Ben Amor, A., García-Gómez, H., Nagaz, K., Alonso, R., & González-Fernández, I. (2022). Cooperación internacional e intergubernamental para abordar la mejora de la calidad del aire en el marco del cambio climático: el ozono troposférico y sus efectos en cultivos. *Revista Española de Desarrollo y Cooperación*, 48. <https://doi.org/10.5209/redc.81181>
- Coelli, S., Medina Villalon, S., Bonini, F., Velmurugan, J., López-Madrona, V. J., Carron, R., Bartolomei, F., Badier, J. M., & Bénar, C. G. (2023). Comparison of beamformer and ICA for dynamic connectivity analysis: A simultaneous MEG-SEEG study. *NeuroImage*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119806>
- Flores Gutiérrez, J., Conde Velásquez, E. R., Carrillo Morales, J., Canda, J. L., & Cruz Sánchez, S. (2023). Evaluación de la calidad del aire en la Universidad Nacional de Ingeniería, agosto-septiembre 2023. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 13(2). <https://doi.org/10.5377/elhigo.v13i2.17383>
- Granada-Aguirre, L. F., Pérez-Vergara, I., Valencia-Rodríguez, M., Rojas-Alvarado, R., & Herrera-Orozco, I. (2014). Sistema para el manejo de la calidad del aire en la ciudad de Cali-Colombia. *Ingeniería Industrial*, 35(1).
- Guerra Rangel, Y., & Torres Osorio, V. (2022). Contaminantes atmosféricos y su incidencia sobre la reproducción en murinos y humanos. *Actualidades Biológicas*, 45(118). <https://doi.org/10.17533/udea.acbi/v45n118a02>



- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*, 4(3), 163–173. <http://dx.doi.org/10.26820/recimundo>
- López-Zambrano, A. J., & Piñón-Gámez, A. (2023). Estrategia para disminuir afecciones de salud producidas por la contaminación del aire en la ciudad de Milagro, Ecuador. *MQRInvestigar*, 7(4). <https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.4.2023.1549-1570>
- Magan Vargas, K. P., Mau Ayala, R. F., & Contreras Tovar, L. A. (2022). Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la Comunidad Nativa Shawan Rama, San Ramón (Perú). *Yotantsipanko*, 2(2). <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v2i2.20>
- Moreira-Romero, Á. F. (2018). Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador. *Polo Del Conocimiento*, 3(7). <https://doi.org/10.23857/pc.v3i7.553>
- Oduber Pérez, F. I. (2022). calidad del aire que respiramos. *Ambiociencias*, 20. <https://doi.org/10.18002/ambioc.i20.7489>
- OMS. (2017). OMS | Contaminación del aire. *WHO*.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). OMS | Contaminación del aire de interiores y salud. In *Contaminación del aire de interiores y salud*.
- Ortiz, E., Vasquez, J., Blanco, K., & Gomez, D. (2018). Inventario de emisiones de Bogotá, contaminantes atmosféricos 2020. *Secretaria de Ambiente - Bogotá- Colombia*, 3(1).
- Pacho, J. D. A., & Gavilan, L. N. V. (2020). Análisis de dispersión de contaminantes utilizando el Modelo Gaussiano en chimeneas. *Universidad Peruana Unión*.
- Represa, N. (2020). Elaboración E Implementacion De Una Propuesta Metodológica Para La Evaluación Y Gestion De La Calidad De Aire Mediante El Enfoque De La Ciencia De Datos. *Universitat Politècnica de València*.
- Rosso Pinto, M. J., Pérez Peñate, A. K., Méndez Nobles, Y., Tavera Quiroz, H., Cárdenas de La Ossa, J., Martínez Macea, M. A., & Torres Sena, S. (2022). Análisis de la fragilidad ecosistémica como estrategia para la estimación del riesgo asociado a la contaminación atmosférica en el Alto San

Jorge, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 31(2).
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v31n2.95774>

Sellers Walden, C. A. (2017). Publicación de contaminantes atmosféricos de la estación de monitoreo de la ciudad de Cuenca, utilizando servicios estándares OGC. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 9(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v9i15.300>

